

Rapport Onderzoek naar vergunningvrij gebruik in de 2100 MHz band

Versie v1.1, 8 september 2017



Colofon

Documentnaam Rapport Vergunningvrij Gebruik 2100 MHz band

Titel Onderzoek naar vergunningvrij gebruik in de 2100 MHz band

Referentienummer 17099

Versie, datum 1.1, 8 september 2017

Samengesteld door E. van Dijken, H. Groothoff, D. Martens, A. van der Sijs, K. van der Tang

Afdeling Mobile Communications

Project 100-1143801

This is an open access article, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial.

Contactadres voor deze **Strict Consultancy**
publicatie Lange Dreef 11-f
4131 NJ Vianen
Postbus 12
4130 EA Vianen
T. 088 55 55 800
F. 088 55 55 801
www.strict.nl

INHOUDSOPGAVE

MANAGEMENT SUMMARY	5
MANAGEMENT SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	17
1.1 Aanleiding	17
1.2 Vraagstelling	17
1.3 Leeswijzer	17
1.4 Definities	18
1.5 Achtergrond vergunningvrij gebruik in de 1800 MHz band	18
1.6 Visie op vraagstelling	19
2 OPZET ONDERZOEK	20
2.1 Interviews	20
3 HUIDIGE SITUATIE	21
3.1 Spelers in de markt	21
3.2 Gebruikers.....	21
3.3 Huidige leveranciers en marktsituatie 1800 MHz band	24
3.4 Metingen Agentschap Telecom: gebruik van de 1800 MHz band	28
4 VOORZIENE ONTWIKKELINGEN	33
4.1 Introductie	33
4.2 Ontwikkelingen gebruik	33
4.3 Conclusie Behoeftontwikkeling.....	35
4.4 Verwachting van leveranciers & integratoren	36
4.5 Conclusies leveranciers & integrators.....	37
4.6 Ontwikkelingen Technologie.....	37
4.7 Conclusie Technologie	43
5 IS 2 X 10 MHZ VOLDOENDE	44
5.1 Verwachting capaciteitsbehoefte	44
5.2 Alternatieve frequentieruimte.....	47
5.3 Conclusie benodigd spectrum volume.....	48
6 VERGUNNINGVRIJ VERSUS GEREGULEERD GEBRUIK	49
6.1 Algemeen	49
6.2 Verstoringen in DECT guardband	49
6.3 Visie verstoringen	49
6.4 Conclusie geschiktheid vergunningvrij.....	51
7 VAN INDOOR NAAR CAMPUS GEBRUIK	53
7.1 Achtergrond	53
1.1 Radiodekking.....	53
8 ECOSYSTEEM	54
8.1 Definitie ecosysteem	54

8.2	Beschikbaarheid apparatuur.....	54
8.3	Spectrum situatie buiten Nederland.....	57
8.4	Conclusie ecosysteem.....	57
9	GEVOLGEN VOOR MNOS.....	58
9.1	Inleiding	58
9.2	Belang van 2100 MHz band	59
9.3	Vergunningvrij gebruik van 2100 MHz.....	59
9.4	Behoeft van kritische gebruikers	60
9.5	Gebruik van nieuwe technologie en vergunningvrij	60
9.6	Bevindingen vanuit MNO perspectief.....	60
9.7	Conclusies gevolgen voor MNOS.....	61
10	SPECTRUM ALTERNATIEVEN	62
10.1	Inleiding	62
10.2	Huidig vergunningvrij spectrum.....	62
10.3	Andere spectrum alternatieven.....	64
10.4	Conclusies spectrum alternatieven.....	72
11	SYNTHESE ONDERZOEKSRESULTATEN	73
11.1	Onderzoeksvragen	73
11.2	Beantwoording vraag 1. Huidige situatie en voornemen 2100 MHz.....	73
11.3	Beantwoording vraag 2. Voorziene ontwikkelingen	76
11.4	Beantwoording vraag 3. Spectrum behoefte en alternatieven	77
11.5	Beantwoording vraag 4. Bestemmen van 2100 MHz vs alternatieven	78
12	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	79
12.1	Conclusies	79
12.2	Aanbevelingen	79
	ANNEX 1 - REFERENTIES	80
	ANNEX 2 – 3GPP 4G FREQUENTIEBANDEN	81

MANAGEMENT SUMMARY

Introduction

In The Netherlands, the 2100 MHz frequency band is used for public mobile communication networks, and licenses have been granted to the mobile operators. Recently these licenses have been extended to January 1, 2021. The Ministry of Economic Affairs currently is preparing for an auction of which the 2100 MHz band will be part. In preparing for that auction, the Ministry has proposed in its “Note on Mobile Communications 2017” to make 2x10 MHz out of the 2100 MHz band available on a license free basis for mobile communications. This license free spectrum would be an addition to the 2x5 MHz of the 1800 MHz band (the so-called DECT guardband) that has already been available on a license free basis since 2008.

The Ministry of Economic Affairs has tasked Strict Consultancy to investigate the license free usage of 2x10 MHz in the 2100 MHz band.

This task can be split into three coherent research questions:

1. By which parties and for what services and applications is the currently available license free 2x5 MHz of the 1800 MHz band actually being used?
To what extent have these services and applications been shown to augment other market offerings? What would be the benefits for users of making 2x10 MHz available in the 2100 MHz band on a license free basis? What would be the impact on Mobile Network Operators (MNOs) if they could not obtain this spectrum exclusively, in view of continuing the current usage of the 2100 MHz band? Are there challenges or questions related to the current license free usage where the government could play a role other than making additional spectrum available?
2. What developments are foreseen for both the usage of private networks as well as the technology applied?
3. Is 2x10 MHz in the 2100 MHz band sufficient, taking into account the growth foreseen for the demand, as well as the technology development? If not, what alternative frequency spectrum could provide a solution?

During the course of this work, the researchers have added the following research question:

4. Is the intention of the Ministry of Economic Affairs to allocate 2x10 MHz in the 2100 MHz band on a license free basis to be recommended? For that, address the license free usage and possible spectrum alternatives and technologies that will become available on the market in the near future.

The purpose of the Dutch Ministry of Economy Affairs’ proposal for making 2x10 MHz in the 2100 MHz band available as license free spectrum is to enable other parties than the Mobile Network Operators to use this for innovation and further development of niche market segments that otherwise might be missed. This implies that the new license free spectrum is targeted for private networks in companies and other organizations, similar to the situation in the current license free DECT guardband.

In order to respond to the research questions, Strict interviewed current users of private GSM (pGSM) and private LTE (pLTE) systems using the DECT guardband, suppliers and system integrators for pGSM and pLTE solutions, and three suppliers of operator-grade mobile (macro) networks. Also, the 4 MNOs operating in the Netherlands have been interviewed. In addition to this, desk research was used to complete the view of the Dutch market, as well of developments on a more global scale.

Research results

Over the past years, in The Netherlands, a supply and demand market has been developed for private mobile networks. In total, we estimate that somewhere between 500 and 700 private networks have been implemented, mainly with 2G (GSM/GPRS) technology. The dominant application of these pGSM networks is voice communications. The healthcare sector is the largest user of these solutions. Such private networks are considered to be alternatives for the MNO market offerings. Instead of an MNO best effort type service, the private network offers its users higher reliability, availability, better radio coverage, and the option of customizations for their mission/business critical processes.

The market development of pGSM may be considered successful as it has created a certain market volume, and its users are largely happy with these solutions. Currently, however, the market is awaiting availability of pLTE solutions, being the new technology to respond to the growing mobile data traffic demand.

An important benefit of the usage of a license free part of the 2100 MHz band for private networks is the existence of an ecosystem in this frequency band. On a global scale, multiple parties can provide pLTE solutions or parts thereof for the network core, radio, and peripherals. It is unclear, however, which of these parties are willing and able to step into the Dutch market, in addition to those suppliers already present. An essential aspect is the necessary level of knowledge. pLTE has a significantly higher complexity level than pGSM. This could introduce the risk that such pLTE implementations become less successful in the market.

The Netherlands appears to be the only European Union country that potentially could assign part of the 2100 MHz band for license free usage. But as an ecosystem already exists for this band, the researchers do not regard this to be an obstacle. On the contrary, this initiative could place The Netherlands in a leading role, similar to its previous choice for making the DECT guardband license free.

The ecosystem is based on 4G LTE technology and supports many other 3GPP defined frequency bands, in addition to the 2100 MHz band. Further to that, alternative ecosystems are being introduced into the market using technology variants such as LTE-License Assisted Access (LTE-LAA) and MulteFire. These solutions could also be used for private networks. The major network suppliers furthermore advise to make license free spectrum available in another frequency band, as those are also supported by existing ecosystems, and thus avoiding to affect the current usage of the 2100 MHz band.

According to the researchers, therefore no decisive reason appears to exist for selecting the 2100 MHz band for mission/business critical applications, other than the fact that this band may be restructured due to the upcoming spectrum auction.

From the MNO perspective, it seems clear that the entire 2100 MHz band should remain licensed to the MNOs. For this they provided several arguments. To support the predicted growth for generic and specific mobile communication demands in the Netherlands, significantly more spectrum is needed than currently available. By assigning a portion of the 2100 MHz band as license free, extra scarcity of highly usable spectrum would be created. This may also have implications for the spectrum auction in 2019. The MNOs claim that their usage of spectrum is much more efficient than what private networks do. Efficient usage of spectrum should be a crucial factor for spectrum allocations. They also point out that in The Netherlands a situation would be created that deviates for the CEPT/EU agreements, and they indicate that they would suffer from disinvestments in their existing radio networks.

With regard to the specific critical mobile business communications demand in the Dutch market, the MNOs believe they can fulfil this to a larger part based on specific services in their macro networks.

The researchers have some remarks on the above. For the upcoming auction of the 2100 MHz band, the possibility exists that the total of 2x60 MHz available in the band, will be divided over 4 MNOs, instead of the current 3. This will potentially result in 1, 2, or even 3 of the current licensees losing a part of their current spectrum. This will create some disinvestment anyhow. Also, the 2x10 MHz is only a limited portion of the total range of spectrum already licensed to the MNOs. Therefore, the effects of 2x10 MHz license free allocation could be countered by increased usage of e.g. spectrum in the unpaired 2600 MHz band or the paired 2600 MHz band, or by densification of the existing networks.

The research furthermore shows that users of mission/business critical communications, have specific needs for availability, reliability, and radio coverage that are currently not offered by the MNOs. Both users and suppliers, integrators as well as MNOs deem license free spectrum not suited for mission/business critical networks, as that cannot meet the requirements for reliability, availability, capacity and quality. For this reason, the current proposal for 2x10 MHz license free spectrum should not be recommended.

License free spectrum also results in an investment risk for the private networks, due to the lack of measures available to resolve cases of disturbances, e.g. due to congestion and interference. From a technical perspective, the standard 4G LTE technology is not suitable for usage in license free spectrum. LTE does not support Listen Before Talk (LBT), and due to that, requires detailed coordination between neighboring networks. This necessitates some licensing regime, possibly as a light version. The purpose of such a light regime would be to avoid mutual disturbances. This may be achieved on the basis of mandatory exchange of network characteristics. And the regime should include options to resolve disturbances, should they occur, by the intervention of Agentschap Telecom.

As a result of the continuous digital transformation in companies, mobile data traffic is of growing importance for both primary and supporting business processes. Instead of 'nice to have', these more and more become 'need to have', and as such, mission- or business-critical. For example, in a hospital, as an entry condition for surgery, the latest patient status information is transferred via mobile communication to a tablet. When the information is not available, the surgery will be cancelled. The market demands such solutions to be available soon, and not only as of 2021 as per the proposed availability of 2x10 MHz in the 2100 MHz band.

In addition to this, some users see their data traffic growing to such an extent that they want to move from a public to a private solution. At their current usage levels, the MNO network is perfectly capable to handle the traffic. However, the risk of congestion in the MNO network is growing. Problems in the data connectivity would disturb the business process to such an extent that users see themselves forced to implement a private network.

Both the MNOs and the major network suppliers state that due to the capabilities of new technologies, such as network slicing, the MNO macro networks can provide a good alternative for private networks. The MNOs indicate that they will implement this in the near future (possibly already before 2021). With that, they could offer specific services to those users with special or critical mobile communications needs. On the other hand, the suppliers and integrators specialized in pGSM / pLTE indicate their uncertainty as to the actual delivery of the desired service capabilities by the MNOs. These parties indicate their expectation to continue to serve the market with private networks, but based on pLTE instead of pGSM.

The main question for the next three to five years, thus, is if users having specific mobile communication needs can assume that market offerings will be available that sufficiently respond to their needs. These users will increasingly be placed in a position where they need to choose between investing in the purchase and support for a private network, or to use the services provided by the MNOs. In the current situation, both options are insufficient to meet the needs of the market demand. For private solutions, spectrum is needed for which an ecosystem exists. For the MNO solution, specific mobile communication services need to be supported, in tune with the user needs.

The technology basis for both MNO and private networks is determined by the 3GPP standardization organization, which develops on a global scale the mobile communications technology for 4G-LTE and 5G, which in principle is based on licensed spectrum. However, 3GPP is now also standardizing solutions that use both licensed and unlicensed spectrum such as LTE – Wi-Fi link aggregation (LWA) and LTE-LAA. Furthermore, alternatives from technology developers introduce novel solutions such as MulteFire that use unlicensed spectrum. Due to this, multiple solutions are becoming available in the market, both for license free and for licensed spectrum, which each can realize their own ecosystem. The question then becomes what market success these will have on a global scale.

Other researched aspects are related to the size of the spectrum demand and the availability of alternative spectrum bands. For larger organizations, such as large hospitals and industrial complexes with several hundred to a few thousand personnel, more spectrum than 2x5 MHz (1800 MHz) plus 2x10 MHz (2100 MHz) will be needed. Most certainly, in view of the digitization of business processes, the transition from fixed to mobile communications (voice, data, video, internet) and the expectation that data traffic will keep growing exponentially, also beyond 2021. It is the researchers' opinion therefore that instead of 2x10 MHz, a spectrum volume of 2x20 MHz or 2x40 MHz for usage with Frequency Division Duplex (FDD), respectively 1x40 MHz or 1x80 MHz for Time Division Duplex (TDD) usage, will be needed. As this amount of spectrum is not available in the 2100 MHz band, this also is a reason to investigate if other frequency bands can be an alternative for the 2100 MHz band. An essential condition for such alternative band is the existence of an ecosystem.

Of the various spectrum options examined, band 40 (2300 MHz) and the combination of band 42 with band 43 (3400 – 3800 MHz) could be an alternative for the proposed 2100 MHz band. In addition, the 5 GHz 'WiFi band' could be regarded as an alternative, with the constraints of the disadvantages already mentioned of this being a license free band. For these bands, also the usage of License Shared Access (LSA) could be considered.

	Network equipment available?	Peripherals available?	Not in use by MNO's?	Sufficient spectrum available ?	FDD or TDD	For further analysis?
LTE TDD Band 40 - 2300 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
LTE TDD Band 42 - 3600 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
LTE TDD Band 43 - 3700 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
5 GHz						✓

Figure 1. Alternative frequency bands.

Given the results of this investigation, the researchers consider the intention of the Dutch Ministry of Economic Affairs to allocate 2x10 MHz in the 2100 MHz band to be used for mobile communications in private critical networks, as not to be recommended. There are several key reasons for this:

- No reasons have been identified to choose the 2100 MHz band for this, other than the upcoming spectrum auction;
- The spectrum need for private networks is larger than the proposed 2x10 MHz. It then is more logical to select a frequency band with the potential for allocating a larger amount of spectrum;
- The worldwide ecosystem for LTE supports multiple frequency bands that are currently not in use by the Dutch MNOs;
- The market demand is for solutions to be available soon, and not only after 2021;
- It is conceivable that with these frequency bands it may be possible to deploy these frequencies sooner than 2021;
- The market requests a light licensing regime when allocating spectrum for use in private network, as it is considered that license free spectrum is not suitable for mission / business critical applications;
- The 2100 MHz band currently is being used by the Dutch MNOs. Reassurance that the entire band will remain allocated for MNO usage, would limit the MNOs investment risks.

Conclusions

The following conclusions have been drawn from the research:

- The supply and demand market for private mobile networks in the 1800 MHz DECT guardband has been developed quite successfully over the past years. Solutions have been created in the market that respond to the specific needs of users, with most developments in the healthcare sector;
- An LTE ecosystem exists that could support private networks in the 2100 MHz band;
- The use of license free spectrum as response to the needs for critical communications is considered to be undesirable by both supply and demand side of the market. The market requests a light licensing regime when allocating spectrum for use in private networks, in order to minimize the probability of interferences, and to enable corrective actions for interferences still occurring;
- In The Netherlands, a genuine market demand exists for specific critical mobile (broadband) communications. The market demand is for solutions to be available soon, not only after 2021. That demand however has not yet been sufficiently articulated to enable the supply side of the market to create appropriate responses;
- The future supply market is based on LTE technology. This can be deployed both for private networks and for MNO macro networks. As LTE spin-off, technologies such as LTE-LAA and MulteFire may also be used for private network solutions;
- The spectrum needs for private solutions are larger than the 2x10 MHz proposed by the Ministry of Economic Affairs. The total amount of spectrum to be identified should be 2x20 MHz or 2x40 MHz when using FDD, respectively 1x40 MHz or 1x80 MHz for TDD;
- The Ministries' intent to allocate 2x10 MHz in the 2100 MHz band for license free usage, is strongly discouraged by the MNOs.
- Alternative frequency bands exist that could meet the needs for private network usage:
 - Sufficiently large ecosystem.
 - Not in use by the Dutch MNOs.
 - A light licensing regime.

Furthermore, some recommendations have been formulated:

1. The demand side of the market for critical mobile communications needs to articulate their needs in the near future, to enable development of the supply side. The Ministry of Economic Affairs should facilitate this process;
2. Assign the full 2x60 MHz of the 2100 MHz frequency band for exclusive MNO usage.
3. The market requests to assign frequency spectrum for private network usage with a light licensing regime. Meet this market request by assigning spectrum outside of the 2100 MHz band with a light licensing regime. Perform further analyses on opportunities using LSA.
4. Perform additional analyses on alternative frequency bands (band, 40, 42, and 43), addressing:
 - a. Current usage and weighing of interests;
 - b. Available capacity up to 2x40 MHz FDD respectively 80 MHz TDD;
 - c. Timing of availability.

MANAGEMENT SAMENVATTING

Inleiding

De 2100 MHz band is in Nederland thans in gebruik voor openbare mobiele telecommunicatie, en vergund aan drie mobiele operators. De vergunningen voor het gebruik van deze frequentieband zijn recent verlengd tot 1 januari 2021. Het ministerie van Economische Zaken bereidt momenteel een veiling voor waarvan de 2100 MHz band onderdeel zal zijn. In de voorbereiding van deze veiling is in de consultatie voor de Nota Mobiele Communicatie 2017 door het ministerie voorgesteld om 2 x 10 MHz uit de 2100 MHz band vergunningvrij beschikbaar te stellen voor mobiele communicatie. Deze vergunningvrije frequentieruimte zou een aanvulling vormen op de 2 x 5 MHz die in de 1800 MHz band (de DECT guardband) al enige jaren vergunningvrij beschikbaar is.

Het ministerie van Economische Zaken heeft aan Strict Consultancy een onderzoek opdracht gegeven naar vergunningvrij gebruik van 2x10 MHz in de 2100 MHz band.

De vraagstelling van het onderzoek kan worden uitgesplitst in 3 samenhangende onderzoeksvragen:

1. Door welke partijen en voor wat voor soort diensten en toepassingen wordt de thans voor vergunningvrij gebruik beschikbare 2 x 5 MHz in de 1800 MHz daadwerkelijk gebruikt?
In hoeverre zijn deze diensten en toepassingen een aanvulling gebleken op het overige aanbod in de markt? Wat zijn de voordelen voor de gebruikers van het vergunningvrij maken van 2 x 10 MHz in de 2100 banden en wat zijn de gevolgen voor de mobiele operators om dit spectrum niet exclusief te kunnen verwerven, rekening houdend met de continuïteit van het bestaande gebruik in de 2100 MHz band? Zijn er bij het bestaande vergunningvrije gebruik nog uitdagingen/vraagstukken waarin de overheid een rol kan spelen anders dan het beschikbaar stellen van additionele frequentieruimte?
2. Wat zijn de voorziene ontwikkelingen in zowel het gebruik van private netwerken als ook de toegepaste technologie?
3. Is de 2 x 10 MHz in de 2100 MHz voldoende gelet op de voorziene vraag en de ontwikkeling van de technologie? Zo nee, welke frequentieruimte zou hiervoor een oplossing kunnen bieden?

Gedurende de uitvoering van het onderzoek hebben de onderzoekers nog een onderzoeksvraag toegevoegd:

4. Is het voornemen van het ministerie van Economische Zaken om 2x10 MHz in de 2100 MHz te bestemmen voor vergunningvrij gebruik aan te bevelen? Kijk hierbij naar vergunningvrij gebruik en mogelijk alternatieve frequentiebanden en technologieën die de komende periode op de markt beschikbaar komen.

De doelstelling van het voorstel van het ministerie van Economische Zaken om vergunningvrij 2x10 MHz in de 2100 MHz te bestemmen, is om ook andere partijen dan de Mobiele Netwerk Operators (MNOs) toegang te geven tot dit spectrum om innovatie en verdere ontwikkeling van nichemarkten mogelijk te maken die anders gemist kan worden. Hoewel de MNOs dit vergunningvrije spectrum natuurlijk ook zouden kunnen inzetten. Dit betekent dat dit nieuwe vergunningvrije spectrum bedoeld is voor toepassing bij private netwerken in bedrijven en organisaties, vergelijkbaar met de situatie in de huidige vergunningvrije DECT guardband.

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, heeft Strict daarom interviews gehouden met bestaande gebruikers van private GSM (pGSM) en private LTE (pLTE) oplossingen in de DECT guardband,

leveranciers van pGSM en pLTE oplossingen en de drie leveranciers van mobiele (macro/operator) netwerken. Ook zijn geïnterviewd de 4 mobiele operators in Nederland. Daarnaast heeft er deskresearch plaats gevonden om een totaalbeeld te kunnen verkrijgen van de situatie op de Nederlandse markt en de ontwikkelingen op wereldniveau.

Onderzoek resultaten

In Nederland is in de afgelopen jaren een markt ontstaan van vraag en aanbod van private mobiele netwerken. In totaal zijn naar schatting tussen de 500 en 700 netwerken in Nederland geïmplementeerd, voornamelijk op basis van 2G (GSM/GPRS) technologie. De toepassing van deze pGSM netwerken is voornamelijk spraakcommunicatie. De zorgsector is een grootgebruiker van deze oplossingen. Het gebruik biedt een alternatief voor het marktaanbod van MNOs. In plaats van een Best Effort MNO dienst, biedt het gebruikers een hogere betrouwbaarheid, beschikbaarheid, betere dekking en de mogelijkheid tot maatwerk ten behoeve van hun missie/bedrijfskritische processen.

De marktontwikkeling van pGSM mag als succesvol beschouwd worden aangezien er een marktvolume ontstaan is en gebruikers over het algemeen tevreden zijn over de oplossing. Wel is de markt nu in afwachting van beschikbaarheid van private LTE oplossingen, als nieuwe technologie om in de groeiende mobiele databehoeftes te kunnen voorzien.

Een belangrijk voordeel voor het gebruik van een vergunningvrij gedeelte van de 2100 MHz band voor private toepassingen is het reeds bestaan van een ecosysteem in deze frequentieband. Op wereldschaal zijn er meerdere partijen die een pLTE oplossing of delen daarvan kunnen leveren, zowel voor netwerk core en radio als randapparatuur. Of daarvan meer dan de huidige beperkte set leveranciers de Nederlandse markt willen en kunnen betreden is onduidelijk. Een belangrijk aspect voor een succesvol ecosysteem is namelijk ook het vereiste kennisniveau. De complexiteit van pLTE is beduidend hoger dan die van pGSM. Hierdoor bestaat het risico dat dergelijke pLTE oplossingen minder succesvol in de markt kunnen worden.

Nederland lijkt het enige land binnen de EU te zijn waar mogelijk een deel van de 2100 MHz band vergunningvrij gebruikt zou gaan worden. Maar omdat het ecosysteem reeds bestaat voor deze band, zien de onderzoekers hierin geen belemmering. Door dit initiatief zou Nederland wel een voortrekkersrol kunnen spelen, vergelijkbaar met de eerdere keuze voor vergunningvrij gebruik van de DECT guardband.

Het ecosysteem is gebaseerd op 4G LTE technologie, en ondersteunt, naast de 2100 MHz band, vele andere door 3GPP gedefinieerde frequentiebanden. Daarnaast komen er alternatieven op de markt beschikbaar in de vorm van systemen met varianten als LTE-License Assisted Access (LTE-LAA) en MulteFire. Deze oplossingen zouden ook ingezet kunnen worden voor private netwerken. Door de grote netwerkleveranciers wordt verder geadviseerd om in een andere frequentieband vergunningvrij spectrum beschikbaar te stellen omdat ook daar ecosystemen beschikbaar zijn en zo het huidige gebruik van de 2100 MHz band niet geraakt wordt.

Volgens de onderzoekers is er dan ook geen doorslaggevende reden om voor de 2100 MHz band te kiezen voor missie/bedrijfskritische toepassingen, anders dan het gegeven dat de 2100 MHz band t.g.v. de komende veiling opnieuw kan worden ingedeeld.

Vanuit MNO perspectief is het duidelijk dat de volledige 2100 MHz band vergund zou moeten blijven en toegewezen aan de MNOs. Daarvoor worden door hen diverse argumenten aangedragen. Op basis van voorspelde groei van de generieke en specifieke mobiele communicatie behoefte in Nederland is

aanzienlijk meer spectrum benodigd dan wat momenteel beschikbaar is. Door een deel van de 2100 MHz als vergunningvrij te bestemmen, wordt extra schaarste van zeer bruikbaar spectrum gecreëerd. Dit kan ook consequenties hebben in de komende frequentieveiling in 2019. De MNOs stellen dat zij spectrum efficiënter inzetten dan wanneer dit voor private netwerken gebruikt zou worden. En efficiënt gebruik van spectrum zou een belangrijke factor moeten zijn voor de toewijzing daarvan. Voorts wordt er op gewezen dat in Nederland een situatie zou ontstaan die afwijkt van wat binnen CEPT / EU is afgesproken. Ook geven de MNOs aan dat een desinvestering ontstaat voor hun bestaande radio netwerken.

Voor wat betreft dienstverlening voor de specifieke kritische mobiele bedrijfscommunicatie behoefte in de Nederlandse markt denken de MNOs deze voor een belangrijk deel te kunnen invullen met het bieden van specifieke diensten op hun macro netwerken.

De onderzoekers plaatsen daarbij wel enige kanttekeningen. Voor de komende velling van de 2100 MHz band bestaat de mogelijkheid dat het totaal van 2x60 MHz van deze band wordt verdeeld over 4 MNOs. In dat geval is een reële mogelijkheid dat 1, 2 of zelfs 3 van de huidige vergunninghouders een deel van hun huidige spectrum zullen verliezen. Daardoor zal sowieso een desinvestering voor die partij(en) ontstaan, met verlies van verkeerscapaciteit. Daarnaast is 2x10 MHz slechts een beperkt deel van de totale hoeveelheid spectrum vergund aan de MNOs. De gevolgen van 2x10 MHz vergunningvrij in de 2100 MHz band zouden kunnen worden opgevangen door verhoogde inzet van b.v. spectrum in de ongepaarde 2600MHz band of de gepaarde 2600 MHz band. Daarnaast bestaat er altijd de mogelijkheid tot verdichting van de bestaande netwerken, zoals bijvoorbeeld met small cells wordt gedaan.

Ook komt uit het onderzoek naar voren dat gebruikers van missie/bedrijfskritische communicatie, specifieke eisen hebben aan beschikbaarheid, betrouwbaarheid en radiodekking die op dit moment niet door de MNOs aangeboden worden¹. Voor wat betreft gebruik van een vergunningvrije frequentieband voor missie/bedrijfskritische netwerken stellen zowel gebruikers als leveranciers, integrators en MNOs dat vergunningvrij spectrum niet kan voldoen aan die eisen voor betrouwbaarheid, beschikbaarheid, capaciteit en kwaliteit. Daarmee lijkt het huidige voorstel voor 2x10 MHz als vergunningvrij spectrum niet aan te bevelen indien het doel ook is om opties te bieden voor missie/bedrijfskritische communicatie.

Daarnaast veroorzaakt vergunningvrij spectrum ook een risico ten aanzien van investeringen, omdat er geen maatregelen beschikbaar zijn om in geval van verstoringen (b.v. bij congestie of interferentie) deze op te heffen. Vanuit technisch optiek is de standaard 4G LTE technologie ook niet geschikt voor vergunningvrij gebruik. LTE heeft geen LBT (Listen Before Talk) functionaliteit, en vereist daardoor gedetailleerde coördinatie afspraken tussen geografisch naburige netwerken onderling. Een (evt. licht) vergunning regime is daarvoor noodzakelijk. Daarbij is de doelstelling van een licht vergunning regime het voorkomen van onderlinge verstoringen, bijvoorbeeld op basis van verplichte uitwisseling van netwerk karakteristieken. Tevens moet het mogelijkheden bieden om, in geval er toch verstoringen ontstaan, deze door tussenkomst van Agentschap Telecom op te lossen.

Door de continue digitale transformatie bij bedrijven wordt mobiel dataverkeer steeds belangrijker voor zowel primaire als ondersteunende bedrijfsprocessen. In plaats van 'nice to have' wordt het steeds vaker 'need to have', en daarmee missie- of bedrijfskritisch. In een ziekenhuis wordt bijvoorbeeld op de operatieafdeling met behulp van een tablet de laatste status van een patiënt weergegeven. Deze data wordt mobiel aangeleverd. Indien deze informatie niet beschikbaar is, worden operaties afgelast. De

¹ Er is de onderzoekers slechts 1 zeer recent geval bekend waar wel afspraken zijn gemaakt m.b.t. betrouwbaarheid, beschikbaarheid, dekking, etc.

behoefte van de markt is voor oplossingen die beschikbaar zijn in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021, wanneer de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band beschikbaar zou komen.

Daarnaast ziet een aantal gebruikers het datagebruik dusdanig groeien dat zij van publieke naar private oplossingen willen. Bij hun huidige gebruik is het publieke netwerk van de MNO prima in staat om al het verkeer af te handelen. Het risico van congestie op publieke netwerken groeit echter. Bij problemen in de mobiele dataverbinding kan de verstoring van het bedrijfsproces zodanig groot worden, dat gebruikers zich genoodzaakt zien een eigen netwerk te realiseren.

Door zowel de MNOs als de grote netwerkleveranciers wordt gesteld dat door de mogelijkheden van nieuwe technologie, zoals network slicing, de MNO macro netwerken een goed alternatief kunnen gaan bieden voor private netwerken. De MNOs geven aan dat zij dit in de nabije toekomst (waarschijnlijk al voor 2021) in hun netwerken zullen realiseren. Daarmee kunnen zij specifieke diensten aanbieden aan gebruikers met bijzondere of kritische mobiele communicatie behoefte. De op private netwerk oplossingen gespecialiseerde systeemintegratoren en leveranciers hebben daarentegen het beeld dat er nog steeds onduidelijkheid is of de MNOs passende diensten daadwerkelijk gaan aanbieden. Deze partijen geven aan dat zij verwachten de markt voor private netwerken te blijven bedienen met private oplossingen, op basis van pLTE i.p.v. pGSM.

De grote vraag voor de komende drie tot vijf jaar is daarmee of gebruikers met specifieke mobiele communicatiebehoefte ervan kunnen uitgaan dat er in de markt oplossingen geboden worden die voldoende aansluiten op de behoefte. Deze gebruikers zullen zich in toenemende mate geplaagd zien voor de keuze tussen het investeren in de aanschaf en het onderhoud van een eigen netwerk, of gebruik maken van de dienstverlening van de MNOs. In de huidige situatie kunnen beide opties in onvoldoende mate tegemoetkomen aan de wensen van de vraagkant van de markt. Voor de private oplossing is er behoefte aan frequentiespectrum in een gebied waar een ecosysteem van oplossingen is. Voor de MNO oplossing is er behoefte aan specifieke mobiele communicatie diensten, afgestemd op de gebruikersbehoefte.

De technologie basis voor zowel MNO als private netwerken is bepaald door de 3GPP standaardisatie organisatie, welke op wereldniveau de ontwikkelingen van de mobiele communicatie technologie voor 4G (LTE) en 5G bepaalt. Daarbij is deze in principe gebaseerd op vergund spectrum. Echter worden door 3GPP nu ook oplossingen gestandaardiseerd die gebruik maken van zowel vergund als vergunningvrij spectrum zoals LTE – Wi-Fi link aggregation (LWA) en LTE-LAA. En daarnaast zijn er initiatieven in de markt, geïnitieerd door groepen technologie leveranciers, voor oplossingen zoals MulteFire die gebruik maken van vergunningvrij frequentiespectrum. Hierdoor komen er verschillende oplossingen op de markt beschikbaar, voor zowel vergund als vergunningvrij spectrum, die ieder een eigen ecosysteem kunnen gaan realiseren. De vraag is wat het succes van deze verschillende alternatieve oplossingen op wereldniveau gaat worden.

Een verder onderzocht aspect is de omvang van de spectrum behoefte, en of er alternatieve frequentiebanden denkbaar zijn. Voor grotere organisaties, zoals grote ziekenhuizen en bedrijfsterreinen met enige honderden tot duizenden medewerkers, zal meer spectrum dan 2 x 5 MHz (10 MHz) plus 2x10 MHz (20 MHz) noodzakelijk zijn. Zeker gezien de digitalisering van bedrijfsprocessen, de verschuiving van vaste naar mobiele communicatie (spraak, data, video, internet), en de verwachting dat dataverkeer exponentieel blijft stijgen na 2021. Naar mening van de onderzoekers is er meer nodig dan 2x10 MHz: benodigd is 2x20 MHz of 2x40 MHz bij gebruik van Frequency Division Duplex (FDD), respectievelijk 1x40 of 1x80 MHz bij gebruik van Time Division Duplex (TDD). Aangezien een dergelijke hoeveelheid spectrum niet beschikbaar is in de 2100 MHz-band is dit ook een reden om te onderzoeken of er andere frequentiebanden zijn die een goed alternatief vormen. Een belangrijke randvoorwaarde voor een

alternatief frequentiespectrum voor privaat gebruik is het bestaan van een ecosysteem in de betreffend frequentieband.

Van de onderzochte spectrum opties, blijken band 40 (2300 MHz) en de combinatie van band 42 met band 43 (3400 – 3800 MHz) een mogelijk alternatief te kunnen bieden voor de voorgestelde 2100 MHz band. Daarnaast kan de 5GHz band als alternatief worden beschouwd, met de aantekening dat daar de eerdergenoemde nadelen gelden van vergunningvrij gebruik. Voor het mogelijk inzetten van een van deze banden, zou ook het gebruik van License Shared Access (LSA) overwogen kunnen worden.

	Network apparatuur beschikbaar?	Randapparatuur beschikbaar?	Niet in gebruik door MNO's?	Voldoende frequentie ruimte?	FDD of TDD	Nader onderzoek?
LTE TDD Band 40 - 2300 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
LTE TDD Band 42 - 3600 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
LTE TDD Band 43 - 3700 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
5 GHz						✓

Figuur 1. Alternatieve frequentiebanden.

Gelet op de resultaten van het uitgevoerde onderzoek, vinden de onderzoekers het voornemen van het ministerie van Economisch Zaken om vergunningvrij 2x10 MHz in de 2100 MHz band te bestemmen voor mobiele toepassing, i.c. bedrijfskritische netwerken, niet aan te bevelen. En wel om de volgende redenen:

- Er zijn geen redenen gevonden anders dan de komende veiling om te kiezen voor de 2100 MHz band.
- De spectrum behoefte voor gebruik in private netwerken is groter dan de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band. Het is dan logischer om een frequentieband te zoeken waar potentieel meer spectrum beschikbaar gemaakt kan worden.
- Er zijn in het wereldwijde ecosysteem van LTE potentieel inzetbare frequentiebanden die op dit moment nog niet in Nederland door de MNOs gebruikt worden.
- De vraag uit de markt is naar oplossingen die beschikbaar zijn in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021.
- Het is denkbaar dat uit die potentiële frequentiebanden er mogelijkheden zijn om eerder dan 2021 gebruik te maken van deze frequenties.
- De marktpartijen vragen om spectrum met een (licht) vergunning regime, want achten vergunningvrij spectrum niet geschikt voor missie/bedrijfskritische toepassingen.
- De 2100 MHz band is in Nederland op dit moment in gebruik door MNOs. Zekerheid dat deze gehele band bestemd blijft voor gebruik door MNOs, resulteert in beperking van investeringsrisico's

Conclusies

- De markt van vraag en aanbod van private mobiele netwerken in de 1800 MHz DECT guardband heeft zich de afgelopen jaren zeer succesvol ontwikkeld. Er zijn oplossingen in de markt ontstaan die voldoen aan de specifieke behoefte van de gebruikers organisaties, waarbij de zorgmarkt het meest tot ontwikkeling is gekomen.
- Er is een LTE ecosysteem in de markt voor private mobiele netwerken in de 2100 MHz band.
- Vergunningvrij gebruik van spectrum als antwoord op de kritische communicatie behoefte in de markt wordt breed aan aanbodzijde en vraagzijde als ongewenst aangegeven. De markt vraagt bij toekennen van frequentiespectrum voor privaat gebruik om een lichte vorm van vergunning zodat de kans op verstoringen wordt geminimaliseerd, en er mogelijkheden beschikbaar zijn om verstoringen achteraf te corrigeren.
- De vraagzijde van de markt met specifieke kritische mobiele (breedband) communicatie behoefte is in Nederland aanwezig. Daarbij vraagt de markt oplossingen in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021. Echter is de behoefte nog onvoldoende gearticuleerd zodat de aanbodzijde nog onvoldoende op de vraag is ingespeeld.
- De toekomst van de aanbodzijde van de markt is gebaseerd op LTE technologie. Deze technologie is zowel inzetbaar als dienstenoplossing op macronetwerken van MNOs als ook voor private netwerkoplossingen. Als spin-off van LTE zijn er ontwikkelingen als LTE-LAA en MulteFire die mogelijkheden bieden voor private toepassingen.
- De spectrum behoefte voor private toepassing is groter dan de 2x10 MHz die door het ministerie van Economische Zaken voorzien is. De spectrum ruimte die gezocht zou moeten worden is 2x20 MHz of 2x40 MHz voor FDD, respectievelijk 1x40 of 1x80 MHz bij gebruik van TDD.
- Het voornemen om spectrum in de 2100 MHz te bestemmen voor ander gebruik dan de MNOs wordt door de MNOs zeer sterk afgeraden.
- Er zijn alternatieve frequentiebanden die kunnen voldoen aan de criteria voor private toepassing:
 - Voldoende groot LTE ecosysteem.
 - Niet in gebruik door MNOs in NL.
 - Licht vergunning regime.

Op basis van de bevindingen van dit onderzoek, komen de onderzoekers tot de volgende aanbevelingen:

1. De vraagzijde van de markt met behoefte aan kritische mobiele communicatie zal deze behoefte op korte termijn specifiek moeten maken om de aanbodzijde van de markt tot ontwikkeling te brengen. Faciliteer de concretisering van deze behoefte.
2. Bestem de gehele 2x60 MHz in de 2100 MHz band exclusief voor gebruik door MNOs.
3. De markt vraagt toekenning van frequentiespectrum voor privaat gebruik onder een lichte vorm van vergunningverlening. Kom de markt hierin tegemoet door frequentiespectrum buiten de 2100 MHz band beschikbaar te stellen met een lichte vorm van vergunning. Voer nader onderzoek uit naar LSA mogelijkheden.
4. Voer nader onderzoek uit naar de alternatieve frequentiebanden (banden 40, 42, en 43) op:
 - Huidige gebruik en afweging van belangen.
 - Beschikbare capaciteit tot 2x40 MHz FDD c.q. 80 MHz TDD.
 - Moment van beschikbaar komen.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De 2100 MHz band (1920 -1980 MHz gepaard met 2110 -2170 MHz) van 2 x 60 MHz is thans in gebruik voor openbare mobiele telecommunicatie. De oorspronkelijke vergunningen hiervoor zijn geveild in 2000 (de “UMTS-veiling”), en zijn recent verlengd voor de periode van 1 januari 2017 tot 1 januari 2021. Per laatstgenoemde datum komt de 2100 MHz dus opnieuw ter beschikking. Het ministerie van Economische Zaken bereidt momenteel een veiling voor waarvan de 2100 MHz band onderdeel zal zijn.

In de voorbereiding van deze nieuwe uitgifte is in de consultatie voor de Nota Mobiele Communicatie 2017 voorgesteld om 2 x 10 MHz uit de 2100 MHz band vergunningvrij beschikbaar te stellen voor mobiele communicatie. Deze vergunningvrije frequentieruimte zou een aanvulling vormen op de 2 x 5 MHz die in de GSM1800 band vergunningvrij beschikbaar is.

Het ministerie van Economische Zaken heeft Strict Consultancy geselecteerd voor de uitvoering van een onderzoek wat moet aangeven in hoeverre de 2 x 10 MHz kan voorzien in de groeiende vraag naar frequentieruimte voor private netwerken en in-huis communicatie.

1.2 Vraagstelling

De vraagstelling voor dit onderzoek is door het ministerie van Economische Zaken in de offertevraag (Ref 1) als volgt verwoord:

- De vraag is of de 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band voldoende is om in de groei van het in pandige dataverkeer en de daarmee samenhangende ontwikkelingen in technologie te voorzien. Deze centrale vraag kan worden uitgesplitst in 3 samenhangende onderzoeksvragen:
 1. Door welke partijen en voor wat voor soort diensten en toepassingen wordt de thans voor vergunningvrij gebruik beschikbare 2 x 5 MHz in de 1800 MHz daadwerkelijk gebruikt? In hoeverre zijn deze diensten en toepassingen een aanvulling gebleken op het overige aanbod in de markt? Wat zijn de voordelen voor de gebruikers van het vergunningvrij maken van 2 x 10 MHz in de 2100 banden en wat zijn de gevolgen voor de mobiele operators om dit spectrum niet exclusief te kunnen verwerven, rekening houdend met de continuïteit van het bestaande gebruik in de 2100 MHz band? Zijn er bij het bestaande vergunningvrije gebruik nog uitdagingen/vraagstukken waarin de overheid een rol kan spelen anders dan het beschikbaar stellen van additionele frequentieruimte?
 2. Wat zijn de voorziene ontwikkelingen in zowel het gebruik van private netwerken als ook de toegepaste technologie?
 3. Is de 2 x 10 MHz in de 2100 MHz voldoende gelet op de voorziene vraag en de ontwikkeling van de technologie? Zo nee, welke frequentieruimte zou hiervoor een oplossing kunnen bieden?

1.3 Leeswijzer

Het onderzoek is breed opgezet. In hoofdstuk 2 is de opzet geschreven, waarbij door interviews met diverse partijen de basis is gelegd. De huidige situatie van de markt is beschreven in hoofdstuk 3, waarna in hoofdstuk 4 de voorziene ontwikkelingen zijn beschreven. In hoofdstuk 5 wordt een analyse uitgevoerd of 2x 10 MHz voldoende is voor privaat gebruik. Hoofdstuk 6 behandelt de behoefte aan vergunningvrij gebruik versus gereguleerd gebruik.

Hoofdstuk 7 adresseert campus gebruik. Het ecosysteem rond private oplossingen wordt beschreven in hoofdstuk 8. De impact van additioneel spectrum voor vergunningvrij gebruik op mobiele netwerk operators (MNO) komt aan de orde in hoofdstuk 9. In hoofdstuk 10 komen alternatieve spectrum oplossingen aan de orde. Uiteindelijk wordt in hoofdstuk 11 een synthese gemaakt van alle onderzoeksresultaten, waarna in hoofdstuk 12 de conclusies en aanbevelingen staan beschreven. In Annex 1 is een overzicht opgenomen van de diverse gerefereerde documenten. Annex 2 is een overzicht van de door 3GPP gedefinieerde frequentiebanden.

1.4 Definities

In dit rapport zijn onderstaande begrippen als volgt gedefinieerd:

- *Indoor dekking*: Het radiosignaal van het private netwerk is binnen de betreffende gebouwen van dusdanige sterkte dat daarmee de kwaliteitseisen van het netwerk worden gehaald. Buiten de gebouwen is slechts een restniveau over, wat onvoldoende is voor een correcte werking van het private netwerk.
- *Campus dekking*: Onder een campus wordt verstaan een open ruimte of veld met meerdere (bedrijfs)gebouwen en/of industriële voorzieningen (b.v. een industrieterrein, verspreide woonvoorzieningen van een zorginstelling). Het radiosignaal van het private netwerk is buiten gebouwen, in de vrije ruimte, van dusdanige sterkte dat daarmee de kwaliteitseisen van het netwerk worden gehaald.

1.5 Achtergrond vergunningvrij gebruik in de 1800 MHz band

Een gedeelte van de 1800 MHz band is initieel in 2008 beschikbaar gemaakt voor mobiele elektronische communicatienetwerken met een laag vermogen, met als geplande einddatum 25 februari 2013 (Ref 5). Deze spectrum bestemming bood mogelijkheden ten behoeve van nieuwe indoor-, outdoor of lokale openbare en besloten (private) mobiele elektronische communicatienetwerken.

Het betrof daarbij een deel van de DECT guardband, te weten 1782,5 tot en met 1785 MHz voor de uplink en 1877,5 MHz tot en met 1879,9 MHz voor de downlink. Daarbij mocht een basisstation ten hoogste 200 mW (23dBm) uitzenden².

Voor gebruik van dit spectrum was geen vergunning nodig, maar bestond wel een registratieplicht bij het Agentschap Telecom. Deze registratieplicht had tot doel de toepassing en het gebruik te kunnen monitoren, als input voor de latere heroverweging van de bestemming van de gehele 1800 MHz band.

Uit onderzoek door Stratix in 2010 (Ref 3) is gebleken dat de bestemming voor mobiele elektronische communicatienetwerken met een laag vermogen, in een behoefte voorziet. Vergunningvrij gebruik van laagvermogen mobiele communicatietoepassingen bleek te leiden tot innovatieve nichetoepassingen voor mobiele communicatie. De beschikbaarheid van vergunningvrij spectrum bood nichespelers een kans. Hierdoor nam de effectieve concurrentie op de markt voor mobiele communicatie toe. Tevens zijn er bedrijven ontstaan die voor nichemarkten applicaties ontwikkelen op private mobiele netwerken.

Gezien de innovatieve nichetoepassingen heeft EZ in 2012 besloten (Ref 4) tot uitbreiding van het vergunningvrije deel tot 2 x 5 MHz (1780–1785 MHz gepaard met 1875–1880 MHz).

² Opgemerkt wordt dat er geen maximum zendvermogen was/is gedefinieerd voor de randapparatuur, als gevolg waarvan deze met de voor GSM gestandaardiseerde vermogensniveaus van 2W gebruikt mogen worden.

Deze beweging werd gezien als stap zodat vergunningvrij mobiel gebruik ook in de nabije toekomst mee zou kunnen met de laatste technologische ontwikkelingen. Daarbij is er geen einddatum voor deze bestemming gedefinieerd. Omdat besloten is deze bestemming definitief te handhaven en uit te breiden was er geen noodzaak meer aanwezig om de meldplicht na februari 2013 te laten bestaan. Deze meldplicht is dan ook per 25 februari 2013 geschrapt.

Naast uitbreiding van de beschikbare frequentieruimte, blijkt uit (Ref12) *Regeling gebruik van frequentieruimte zonder vergunning en zonder meldingsplicht 2015* dat in deze band naast GSM ook LTE technologie met 50mW/MHz erp mag worden toegepast.

1.6 Visie op vraagstelling

In de uitvraag voor dit onderzoek voor EZ, wordt gesproken over het vergunningvrij beschikbaar stellen van 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band voor *mobiele communicatie*. In de meer specifieke vraagstelling wordt dit daarna verbijzonderd tot *inbandig dataverkeer*.

Uit de voorgaande ervaring van Strict, blijkt evenwel dat naast inbandig gebruik, de 1800 MHz DECT guardband ook regelmatig wordt ingezet voor outdoor – campus gebruik. Voorbeelden daarvan zijn (industriële) bedrijfsterreinen en campussen van zorginstellingen. Het belang hiervan is ook door EZ onderkent zoals aangegeven in de opdrachtverstrekking.

Om deze categorie gebruik nader te kunnen definiëren, is hoofdstuk 7 “van indoor naar campus gebruik” in dit rapport opgenomen.

2 OPZET ONDERZOEK

2.1 Interviews

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, heeft Strict interviews gehouden met zowel gebruikers, als leveranciers en operators.

Bij bestaande gebruikers van pGSM en pLTE oplossingen is gevraagd naar de diensten en toepassingen zij gebruiken, de redenen waarom, en de toekomstverwachtingen.

Bij leveranciers van pGSM en pLTE oplossingen is gevraagd naar hun marktpositie, beschikbare oplossingen en toekomstverwachtingen. Om te komen tot een toekomstbeeld van de voorziene ontwikkelingen en mogelijkheden in operator mobiele netwerken in de nabije toekomst, zijn ook drie leveranciers van mobiele (macro/operator) netwerken geïnterviewd. Daarmee is een beeld verkregen van de verschillen met de inzichten van de leveranciers welke specifiek focussen op pGSM/pLTE oplossingen.

Om in beeld te krijgen wat de gevolgen kunnen zijn voor de mobiele operators om dit 2100 MHz spectrum niet exclusief te kunnen verwerven, zijn eveneens interviews gehouden met de huidige 4 mobiele operators. Daarbij is ook gevraagd naar hun eventuele gebruik van de 1800 MHz DECT guardband.

De uit de interviews verkregen informatie is aangevuld en geverifieerd middels zowel deskresearch alsook de binnen Strict aanwezige kennis van specifieke gebruikscases.

Alle uit deze interviews verkregen informatie is geanalyseerd, geaggregeerd en geanonimiseerd teneinde te komen tot een zo goed mogelijk beeld van de marktsituatie in Nederland.

Omdat verwacht werd dat de toepassingen van en ervaringen met pGSM / pLTE gerelateerd zouden zijn aan het type marktsegment – verticals – zijn gebruikers uit meerdere sectoren geïnterviewd:

- Gebruikers zorg sector: 2 interviews
- Gebruikers lokale overheid: 1 interview
- Gebruikers transport sector: 2 interviews
- Gebruikers industrie sector: 3 interviews
- Leveranciers / resellers / systeemintegrators: 5 interviews
- Leveranciers van netwerken voor publieke operators: 3 interviews
- Mobiele operators: 4 interviews

Naast deze interviews is deskresearch gedaan m.b.t. op de markt beschikbare netwerk- en randapparatuur, alsmede potentiële spectrum alternatieven. Ook is gebruik gemaakt van kennis en ervaring van diverse Strict consultants.

3 HUIDIGE SITUATIE

3.1 Spelers in de markt

In de 1800 MHz DECT guardband en bij alternatieven zoals de 3700 MHz band zijn op dit moment diverse typen spelers actief:

- **Gebruikers**
Private GSM en LTE netwerken worden toegepast in diverse bedrijfssectoren:
 - Zorg
 - Overheid
 - Industrie
 - Logistiek
- **Leveranciers**
Het aantal partijen dat netwerk core en/of radioapparatuur levert voor de private GSM / LTE markt is beperkt. Het betreft vooral nichespelers. De grote leveranciers zijn minimaal actief op de private GSM / LTE markt.
- **Integrators**
Op de Nederlandse pGSM / pLTE markt zijn een aantal integrators actief die de core en radio apparatuur van verschillende leveranciers combineren tot complete pGSM /pLTE systemen.
- **Resellers/installateurs**
Naast de integrators zijn er diverse resellers / installateurs die de systemen van de integrators bij klanten leveren.
- **Softwarebedrijven/applicatiebouwers**
In de Nederlandse markt zijn partijen actief die voor specifieke marktsegmenten specifieke software en hardware oplossingen ontwikkelen.
- **Mobiele operators (MNOs)**
Het blijkt uit recente metingen van het Agentschap Telecom (Ref13) dat een enkele mobiele operator de 1800 MHz DECT guardband gebruikt voor het realiseren van lokale dekking met behulp van small cells of picocellen.

3.2 Gebruikers

3.2.1 Hoofdpijnen bevindingen bij gebruikers

Op basis van de interviews zijn onderstaande kenmerken van het huidige gebruik van private mobiele netwerken onderkend.

3.2.1.1 pGSM gebruikers

- **pGSM** in de 1800 MHz DECT guardband wordt veel gebruikt in zorginstellingen en ziekenhuizen. Toepassingen zijn hier gericht op spraak en korte berichten. Beide worden toegepast in kritische processen waar bij onderbreking levensgevaarlijke situatie kunnen ontstaan. Een continue beschikbaarheid van spraakfunctionaliteit is benodigd om acute issues met patiënten te kunnen afhandelen. Telemetrie voor hartpatiënten maakt gebruik van korte berichten over het pGSM netwerk, dat tevens een alternatief biedt voor paging.

- Door een aantal gemeentelijke overheden wordt pGSM met name ingezet als goedkoper en betrouwbaarder alternatief voor spraakcommunicatie afgezet tegen het aanbod van de mobiele netwerk operators.
- Belangrijkste redenen om voor pGSM te kiezen:
 1. De beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de mobiele dienstverlening. Een aantal gebruikers heeft ervoor gekozen om een private oplossing te implementeren omdat de mobiele dienstverlening van operators geleverd wordt op basis van 'best effort'. Dit werd als onvoldoende gekwalificeerd gezien de beschikbaarheidseisen die de toepassing binnen de organisatie vereist. Deze toepassingen werden door de gebruikers geclassificeerd als missiekritisch of bedrijfskritisch.
 2. Volledige controle hebben over de gehele mobiele communicatie keten, en daardoor geen afhankelijkheid van een mobiele netwerk operator.
 3. Maatwerk. Gebruikers hebben te maken met technische complexiteit doordat men diverse toepassingen binnen een netwerkoplossing wil integreren. Dit kan leiden tot innovatieve oplossingen. Bijvoorbeeld de combinatie van een Personen Zoek Installatie (PZI) en een verpleegoproepsysteem. Tevens speelt de wens om voor verschillende toepassingen een device te kunnen gebruiken. Deze wensen vereisen maatwerk op het gebied van hardware, software en systeeminstellingen. Maatwerk in samenwerking met mobiele netwerk operators wordt veelal als niet rendabel en/of te duur bestempeld.
 4. Financiële overweging. Destijds in 2009-2012 was het voor een aantal gebruikers financieel aantrekkelijk om een privaat netwerk aan te leggen voor mobiele telefonie en berichtendiensten (SMS). De referentie waaraan de besluitvorming getoetst werd, waren de tarieven van mobiele netwerk operators in die periode. In de afgelopen jaren is er echter een aanzienlijke reductie van die tarieven zichtbaar.

3.2.1.2 *pLTE gebruikers*

- In de logistieke sector wordt voor data toepassingen reeds gebruik gemaakt van private LTE oplossingen. Er is tevens behoefte aan spraak maar de VoLTE functionaliteit was op het moment dat gebruikers kozen voor pLTE nog niet leverbaar. De toepassingen zijn bedrijfskritisch, wanneer er onderbreking plaats vindt in het mobiele netwerk heeft dit directe financiële gevolgen. pLTE wordt ingezet in kritieke processen als het aansturen van laad- en losploegen, vaste en mobiele onbemande kranen en remote control van automatisch gestuurde voertuigen.

3.2.1.3 *Toepassingen*

- In de zorg: pGSM voor spraak, statusberichten en kritische processen zoals telemetrie en reanimatieoproepen.
- In de industrie: pGSM als vervanging van DECT, paging, portofonie, WiFi, vast-mobiel integratie of een combinatie hiervan.
- In de logistiek: pLTE als betrouwbaarder alternatief voor WiFi of een oplossing van een MNO. Applicaties voor de aansturing van automatische voertuigen die containers transporteren maken gebruik van private LTE, tevens biedt de technologie een toekomst vaste oplossing die een alternatief kan bieden voor kritische (spraak) processen die momenteel gebruik maken portofonie.
- In het openbaar vervoer en luchthavens: in deze branche wordt pLTE gezien als de vervanger voor vrijwel alle huidige oplossingen voor de afhandeling van spraakverkeer zoals analoge portofonie, DMR, TETRA, en dataverkeer dat op dit moment gebruik maakt van WiFi.

- Bij de lokale overheid: pGSM wordt met name ingezet als goedkoper en betrouwbaarder alternatief dan de oplossing van een MNO.

3.2.1.4 Belangrijkste redenen om voor private oplossingen te kiezen:

1. De beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de mobiele dienstverlening. Gebruikers hebben ervoor gekozen om een private oplossing te implementeren met als belangrijkste reden dat de mobiele dienstverlening van operators geleverd wordt op basis van “best effort”, wat onvoldoende is voor de toepassing binnen de eigen organisatie.
2. Volledige controle hebben over het volledige netwerk, en daardoor geen afhankelijkheid van een mobiele operator.
3. Missie/bedrijfskritische mobiele data niet via WiFi technologie willen sturen vanwege b.v. congestie in de 2,4 GHz band.
4. Maatwerk. Technische complexiteit door integratie van diverse toepassingen binnen een netwerkoplossing.

Naast de 1800 MHz DECT guardband, blijkt er ook al gebruik te worden gemaakt van de 3,7 GHz band voor een pLTE oplossing. Primaire driver voor een organisatie om in plaats van de vergunningvrije 1800 MHz DECT guardband, vergund spectrum in de 3,7 GHz band in te zetten, was het risico dat een naastgelegen industrieterrein eveneens een pLTE systeem in de 1800 MHz band zou inzetten. Er werd daardoor onderlinge verstoring verwacht. Vermijden van het risico van verstoringen was juist een van de redenen om de huidige, WiFi gebaseerde oplossing, te vervangen door een pLTE oplossing.

Voordelen Private oplossing	Nadelen Private oplossing
Hoge betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het netwerk	Afhankelijkheid van beschikbaar en geschikt spectrum, zowel nu als in de toekomst, waardoor risico van desinvestering
Eigen controle operatie, beveiliging, lokale dekking, etc) dekking	Noodzaak inrichten en in stand houden van een eigen beheerorganisatie
Maatwerk (inrichten markt specifieke toepassingen)	Beperkte capaciteit / datasnelheid t.o.v. een MNO oplossing
Geen kosten voor intern verkeer	Hoge initiële investering
Voldoende randapparatuur (mits het juiste spectrum beschikbaar is)	Kans op verstoringen bij gebruik van vergunningvrij spectrum

Figuur 2: Voor- en nadelen private oplossingen.

In vergelijking met het Stratix rapport (Ref 3): Vergunningvrij gebruik voormalige DECT guardband, uit November 2010, kan gesteld worden dat de toen voorziene ontwikkeling van de markt en toepassingen gerealiseerd zijn. Wel kunnen een aantal belangrijke verschillen worden onderkend:

- De tarieven van openbare aanbieders zijn gedaald, waardoor het minder aantrekkelijk wordt zelf een eigen netwerk in te richten en te beheren.
- pGSM bood als potentiële vervanger van DECT destijds primair spraak, en alleen GPRS voor het toepassen van data oplossingen. Intussen is de 2G GSM / GPRS technologie verouderd. pLTE is primair ingericht op data waardoor datatoepassingen tegenwoordig wel gerealiseerd kunnen worden. VoLTE biedt inmiddels ook de mogelijkheid spraaktoepassingen te migreren naar LTE.

- Voorheen waren er geen roaming afspraken tussen private GSM en openbare GSM. Gebruikers moesten daarom nog steeds twee toestellen hebben, één voor intern gebruik en één voor de buitenwereld. Dit is nog steeds een knelpunt, o.a. omdat er onvoldoende mobiele netwerk codes (MNCs) beschikbaar zijn om private netwerken op eenduidige wijze te kunnen koppelen met de netwerken van een MNO. Daarnaast blijken de MNOs weinig interesse te hebben om roaming met private netwerken te ondersteunen. Een van de geïnterviewde bedrijven gaf aan dat dit de reden is waarom haar werknemers nog steeds zowel een pGSM toestel als ook een apart publiek mobiel toestel moeten gebruiken.

3.2.2 Conclusie gebruikers

Gebruik van een private oplossing in de vergunningvrije DECT guardband bood tot nu toe een goed alternatief op het marktaanbod voor mobiele telefonie en SMS berichtendiensten van MNOs, en ter vervanging van b.v. DECT gebaseerde oplossingen. Het gaf gebruikers toegang tot een hogere betrouwbaarheid, beschikbaarheid, betere dekking en de mogelijkheid tot maatwerk ten behoeve van hun kritische processen.

Technologische ontwikkelingen zorgen voor een verschuiving van pGSM naar pLTE. LTE biedt veel mogelijkheden voor innovatieve toepassingen die staan of vallen met voldoende datadoorvoercapaciteit. De meeste gebruikers zijn terughoudend om LTE te implementeren door de onzekerheid of er in de toekomst voldoende en betrouwbaar spectrum beschikbaar zal zijn om de mogelijkheden van het netwerk volledig te kunnen benutten. De beperkte datadoorvoercapaciteit van het momenteel beschikbare spectrum is nu reeds bij een aantal grote gebruikers de showstopper voor innovatieve toepassingen.

3.3 Huidige leveranciers en marktsituatie 1800 MHz band

3.3.1 Hoofdpijnen bevindingen bij leveranciers en integrators

Op basis van de interviews met leveranciers en integrators zijn onderstaande zaken naar voren gekomen.

3.3.1.1 Leveranciers

De drie grote netwerkleveranciers Ericsson, Huawei en Nokia hebben hun activiteiten hoofdzakelijk gericht op de bediening van de markt van MNOs. De grote netwerkleveranciers zijn meestal alleen indirect in contact met potentiële gebruikers van private GSM of LTE netwerken. Daardoor hebben de grote netwerkleveranciers vaak geen goed beeld van de concrete functionele behoefte van deze categorie gebruikers. De interesse van de grote netwerkleveranciers ligt vooral bij grotere missiekritische of bedrijfskritische oplossingen met ten minste enkele honderden gebruikers.

De grote netwerkleveranciers onderkennen dat een private oplossing in eigen beheer, onafhankelijk van de MNOs, op dit moment voordelen biedt met betrekking tot beschikbaarheid, betrouwbaarheid en kwaliteit, ten gevolge van het ontbreken van passende oplossingen door de mobiele operators. Daarnaast biedt de beschikbare randapparatuur voor private GSM of LTE meer keuzevrijheid dan bijvoorbeeld DECT, zowel voor wat betreft de functionaliteit als de kosten.

De grote netwerkleveranciers zijn van mening dat geharmoniseerd spectrum schaars is en dat vergunningvrij maken van 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band alleen zou moeten worden overwogen op het moment dat er geen goede alternatieven beschikbaar zijn wat betreft invulling van de functionele

behoefte voor kritische bedrijfscommunicatie. De grote netwerkleveranciers zien echter wel mogelijkheden in alternatieve frequentiebanden, zoals de 2,3 GHz, 3,5 GHz en 5 GHz.

Indien er gekozen wordt voor een private oplossing biedt de technologie van de netwerkleveranciers de mogelijkheid om een koppeling te realiseren tussen het private netwerk en het publieke net van de MNOs om roaming te realiseren. In de praktijk wordt deze integratie nog weinig toegepast doordat er tegen knelpunten wordt aangelopen. Knelpunten die genoemd worden zijn onder andere de vraag wie verantwoordelijk is voor de kosten die ermee gemoeid zijn. Daarnaast zijn er in Nederland slechts een zeer beperkt aantal MNCs beschikbaar die de private netwerken zouden kunnen gebruiken voor roaming met een MNO netwerk. Een nadere analyse van deze problematiek, b.v. in welke mate private netwerken daadwerkelijk behoefte hebben aan roaming, valt buiten de scope van het huidige onderzoek maar zou nader onderzocht moeten worden om een veelgenoemd probleem inzichtelijk te maken.

Naast de grote netwerkleveranciers zijn er wereldwijd een aantal partijen die zich hebben toegelegd op pGSM en pLTE oplossingen voor kleinschaligere of meer gespecialiseerde toepassingen. Daarbij richten zij zich op marktsegmenten zoals kleine tot middelgrote mobiele netwerk operators, verticals die private oplossingen vereisen (b.v. mijnbouw, scheepvaart, luchtvaart), of transporteerbare, tijdelijk inzetbare netwerken voor humanitaire organisaties, OOV, PPDR en overheidsinstanties. Deze partijen ontwikkelen zelf veelal of de netwerk core of de radioapparatuur, waarbij de complete netwerkoplossing dan een combinatie met componenten van een andere partij vereist. Deze integratie vereist samenwerking tussen de twee leveranciers en een integrator. Op de Nederlandse markt zijn een aantal integrators actief die dergelijke combinaties succesvol weten toe te passen

3.3.1.2 Integratoren

Diverse systeemintegratoren bieden private GSM of LTE oplossingen. Zij bieden end-to-end oplossingen die gebruik maken van apparatuur van verschillende gespecialiseerde leveranciers, welke zich richten op marktniches. Er zijn een beperkt aantal gespecialiseerde leveranciers actief waardoor er slechts in beperkte mate sprake is van marktontwikkeling. Een aspect daarvan is dat de prijzen van netwerkkapparatuur tot nu toe relatief hoog zijn gebleven. Desondanks heeft de markt zich succesvol ontwikkeld, zoals aangegeven in sectie 3.3.2.

De huidige markt voor de systeemintegratoren bevindt zich hoofdzakelijk op het toepassingsgebied van spraak en korte berichten waarvoor pGSM wordt ingezet. Hierin voorziet de huidige 2 x 5 MHz in de 1800 MHz band meestal om invulling te geven aan de gevraagde capaciteit. Door de ontwikkeling van pLTE en de toekomstige verwachte toename van het gebruik van innovatieve toepassingen die gebruik zullen maken van data is de verwachting dat naar de toekomst toe deze capaciteit niet langer afdoende zal zijn.

Onderdeel van de dienstverlening van integrators is beheer en onderhoud, vaak op basis van klanten Service Level Agreements (SLA's) die 24x7x365 ondersteuning eisen.

De systeemintegratoren spreken op dit moment over het algemeen van tevreden gebruikers en verwachten naar de toekomst toe dat meer gebruikers de keuze zullen maken voor een private oplossing die dan i.p.v. pGSM op pLTE gebaseerd zullen zijn.

3.3.2 Marktentwikkeling in de 1800 MHz band

Er is in de afgelopen jaren voor pGSM een ecosysteem, bestaande uit netwerk core, picocellen en randapparatuur, ontstaan voor kleinschalige tot grote private oplossingen. Dit is gebeurd ondanks de beperkte marktomvang internationaal gezien. Alleen het Verenigd Koninkrijk en Zweden hebben net als Nederland de 1800 MHz DECT guardband beschikbaar gemaakt. In tegenstelling tot de Nederlandse keuze voor vergunningvrij gebruik, is in het Verenigd Koninkrijk gekozen voor een model op basis van vergund spectrum. Dit ecosysteem kon ontstaan omdat gekozen is voor frequentiespectrum dat onderdeel is van een wereldwijd gestandaardiseerde GSM operator frequentieband. Dit had als voordeel dat de vereiste randapparatuur in voldoende mate beschikbaar was. Standaard GSM randapparatuur ondersteunt de volledige 1800 MHz band (band 3: 1710 – 1785 MHz gepaard met 1805 – 1880 MHz), en daarmee ook het specifieke deel van de DECT guardband.

Voor de netwerkoplossingen zijn een aantal kleinere nichespelers op de markt gekomen die operator-grade oplossingen hebben gerationaliseerd tot een kleiner platform wat daardoor geschikt werd voor private oplossingen. Deze waren van origine bedoeld voor toepassing op min of meer geïsoleerde omgevingen, zoals cruiseschepen, boorplatformen, etc. Daarnaast is een markt ontstaan voor 2G small cells en picocellen welke gekoppeld kunnen worden aan de macro netwerken van publieke operators. Daarmee ontstond voor de nichespelers een interessante markt. Voor de Nederlandse markt kon daarom worden geput uit een groter ecosysteem.

De interviews gehouden met leveranciers bevestigen dat de behoefte voor private oplossingen, zoals aangegeven in het Stratix rapport Vergunningvrij gebruik voormalige DECT guardband, november 2010 (Ref 3), inderdaad aanwezig was, en nog steeds is.

De huidige installed base van pGSM systemen in NL wordt ingeschat op tussen de 500 en 700 systemen. Tevens zijn er enkele pLTE netwerken actief. De systemen variëren van enkele picocellen tot b.v. 90 picocellen in een universitair ziekenhuis. Gebruikersaantallen variëren eveneens sterk per systeem, van enige tientallen tot enige duizenden, afhankelijk van het type systeem. Sommige systemen zijn bedoeld om grote gebieden te dekken zoals een campus of industrieel terrein met een beperkt aantal gebruikers. Andere systemen zijn capaciteit gedreven en vereisen grote aantallen picocellen om grote hoeveelheid gebruiker te kunnen bedienen. Er bestaat evenwel geen volledige registratie van aantallen systemen, picocellen en/of gebruikers in deze markt.

Door de systeemintegratoren wordt aangegeven dat zij de laatste tijd een dalende trend zien in het aantal nieuwe pGSM oplossingen. De oorzaken die genoemd worden zijn:

- Het bereiken van het einde van de levenscyclus van GSM technologie.
- De mobiele behoefte bij gebruikers is naast spraak ook data geworden, en daarvoor kan pGSM vaak niet de gewenste capaciteit leveren. Door een combinatie met EDGE technologie wordt de maximale datasnelheid weliswaar verhoogd tot ongeveer 150 kbit/s, maar dit is alleen voor eenvoudige toepassingen voldoende.

3.3.2.1 Marktpartijen

Op de Nederlandse markt zijn momenteel meerdere partijen actief als leverancier, reseller of systeemintegrator van pGSM en pLTE systemen, of als software- / applicatieontwikkelaar.

Deze partijen leveren in de meeste gevallen een pGSM / pLTE systeem in eigendom van de gebruiker, waarbij beheer van het systeem vaak is belegd bij dezelfde leverancier op basis van een 24/7/365 SLA. In

sommige gevallen wordt beheer door de gebruiker zelf uitgevoerd. Daarnaast blijken er ook enige mogelijkheden te zijn een pGSM / pLTE systeem via een lease/huur constructie te betrekken, waarbij ook het beheer door de leverancier wordt verzorgt. Dit noemt men Network as a Service (NaaS).

Naast de partijen die zich richten op GSM / pLTE oplossingen, zijn diverse andere bedrijven actief voor het PMR / PAMR marktsegment waar oplossingen gebaseerd op TETRA, DMR of analoge portofonie worden toegepast voor bedrijfsspecifieke netwerken. Het voor dit rapport uitgevoerde onderzoek richtte zich voornamelijk op gebruik van de 1800 MHz DECT guardband en het mogelijke gebruik van 2 x 10 MHz vergunningvrij in de 2100 MHz band. Daarnaast wordt door alle huidige PMR/PAMR gebruikers vergund spectrum voor private gebruik toegepast. Dit marktsegment is zeker relevant voor de totale omvang van de markt voor bedrijfsspecifieke netwerken. Zie hiervoor verder hoofdstuk 4.

3.3.2.2 Apparatuur leveranciers

De pGSM / pLTE oplossingen die tot nu toe in de Nederlandse markt door de diverse partijen zijn geleverd, zijn gebaseerd op een zeer beperkt aantal apparatuur leveranciers.

- Voor netwerk core apparatuur:
 - Quortus
 - Druid
 - PMN (Private Mobile Networks)
- Voor radio apparatuur (picocellen):
 - IP-Access - pGSM
 - Huawei - pLTE
 - Airspan - pGSM en pLTE

Het beperkte aantal leveranciers lijkt meerdere oorzaken te hebben. Bij de initiële openstelling van de DECT guardband waren er eenvoudigweg slechts weinig leveranciers die een kleine, low-cost netwerk core respectievelijk picocellen konden leveren. Daarnaast hadden de systeemintegratoren de noodzaak tot het opbouwen van voldoende specialistische kennis van zowel de netwerk core apparatuur als van de picocellen teneinde een goede samenwerking tussen de verschillende componenten te kunnen realiseren. Het koppelen van een picocel aan een netwerk core was, en is, beslist geen simpele plug en play actie. Wel lijkt met pLTE de situatie gunstiger te zijn geworden. Er zijn meer leveranciers van LTE radio oplossingen zijn en de integratie van core en radio apparatuur lijkt eenvoudiger te zijn dan bij pGSM. Maar nog steeds moet er voldoende marktomvang zijn om de investering in productkennis te kunnen verantwoorden.

De voor een totaal oplossing benodigde 2G randapparatuur, primair mobieltjes, waren tot voor kort ruim beschikbaar. Het aanbod varieerde van eenvoudige, low-cost toestellen tot meer high-end versies. Aangezien de consumentenmarkt intussen van 2G naar 3G en 4G is opgeschoven neemt de beschikbaarheid van low-cost 2G toestellen af. De integratoren en ook de eindgebruikers merken dat het hierdoor lastiger wordt om nieuwe vervangingstoestellen te verwerven.

3.3.2.3 Conclusies leveranciers

Sinds er vergunningvrij spectrum beschikbaar is in de vorm van de 1800 MHz DECT guardband hebben diverse systeemintegratoren en gespecialiseerde netwerkleveranciers zich gericht op de markt van private netwerken. De systeemintegratoren hebben inmiddels tezamen honderden netwerken in de markt weten te zetten, verschillend van kleine netwerken met enkele gebruikers tot grote netwerken met duizenden gebruikers. Voor leveranciers van netwerkapparatuur blijkt deze afzetmarkt in Nederland, het Verenigd Koninkrijk en Zweden echter beperkt. Er is sprake van een nichemarkt, waarin verdere penetratie van de markt afhankelijk is van technologische ontwikkelingen, marktontwikkelingen en overheidsbesluiten.

Tot nu toe werd er hoofdzakelijk pGSM ingezet voor toepassingen die gebruik maken van spraak en korte berichten. Hiervoor biedt de 2x5 MHz die beschikbaar is gemaakt voor vergunningvrij gebruik mogelijkheden.

Door de ontwikkeling van pLTE en de behoefte om innovatieve datatoepassingen te kunnen gaan gebruiken is de verwachting dat de datadoorvoercapaciteit die op 2 x 5 MHz gerealiseerd kan worden niet langer toereikend zal zijn. Deze trend wordt ook onderkend door de grote netwerkleveranciers die zich richten op de wereldmarkt. Gezien de verwachting dat de behoefte aan data in de toekomst alleen maar verder zal gaan groeien benadrukken de grote netwerkleveranciers het belang efficiënte spectruminrichting. Gezien het huidige gebruik van de 2100 MHz band door MNOs adviseren de grote netwerkleveranciers in een andere band vergunningvrij spectrum beschikbaar te stellen.

Daarnaast wordt door de leveranciers aangegeven dat voor missie/bedrijfskritische toepassingen, vergunningvrij spectrum niet geschikt is. Zie verder hoofdstuk 6.

3.4 Metingen Agentschap Telecom: gebruik van de 1800 MHz band

Door Agentschap Telecom is recent een spectrumverkenning uitgevoerd om op hoofdlijnen inzichtelijk te maken hoeveel en welke partijen gebruik maken van de vergunningvrije 2 x 5 MHz in de 1800 MHz band (Ref 6). Daarbij is met behulp van netwerkscanners gericht spectrumonderzoek uitgevoerd. Er is gekozen om de metingen uit te voeren in middelgrote en grote steden, langs snelwegen tussen deze steden, en op industrieterreinen, bedrijventerreinen en kantorenparken. Op basis van de combinatie van locatie, specifieke frequentieruimte en netwerpcodes wordt inzicht verkregen naar het gebruik van deze band en welke private netwerken actief zijn. De verkregen resultaten zijn echter niet uitputtend.

Onderstaande figuur geeft alle gedane waarnemingen van de netwerkcodes (Mobile Country Code, MCC) 204, 206, 208, en 234 weer:



Figuur 3. Alle waarnemingen in DECT guardband.

Uit deze waarnemingen blijkt dat ook de niet-Nederlandse netwerken met MCC 206, 208, en 234 in Nederland zichtbaar zijn:

- Het Belgische mobiele netwerk van Base (Mobile Network Code – MNC 206-20) is in grote delen van Zeeland, Noord-Brabant en Limburg onder normale propagatieomstandigheden zichtbaar. Dit kan mogelijk lijden tot verstoring op het gebruik in NL van de 1800 MHz band. Er zou nader onderzocht kunnen worden of de signaalniveaus tgv Base in Nederland voldoen aan de vigerende grensafspraken tussen Nederland en België.
- Bijzondere propagatieomstandigheden laten waarnemingen zien uit België, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk. Het betreft hierbij uitzonderlijke omstandigheden, waarbij de gemeten signaal niveaus laag zijn. Er mag verwacht worden dat dit niet tot noemenswaardige verstoring zal lijden, en er dus geen nadere actie nodig lijkt.

Onderstaande figuur geeft een overzicht van alle waarneming van netwerken met alleen de Nederlandse netwerkcode (MNC 204):



Figuur 4. Alle waarnemingen MCC 204 = Nederland

De analyse door Agentschap Telecom laat zien dat er, naast een aantal signalen van een enkele MNO, alleen pGSM netwerken zijn gedetecteerd. Het blijkt dat van de Nederlandse pGSM netwerken in totaal 211 area codes zijn gedetecteerd. Deze zijn per netwerkcode overigens niet uniek van aard, zodat geconcludeerd kan worden dat er meer dan 211 pGSM netwerken actief zijn in Nederland. Door de leveranciers en installateurs worden aantallen gerealiseerde pGSM netwerken tussen de 500 en 700 genoemd. Er blijkt echter geen specifieke registratie te zijn van de omvang van geïnstalleerde systemen ter verder staving van deze aantallen.

Een nadere administratieve analyse of detaillering van de door de leveranciers/ integratoren aangeleverde informatie kan bijdragen aan een meer nauwkeuring inzicht in absolute aantallen en bijvoorbeeld geografische spreiding. Daarbij zal ook rekening gehouden moeten worden met de mogelijkheid dat sommige pGSM netwerken niet waargenomen zijn omdat deze buiten de gereden routes liggen, of dat de signaalniveaus simpelweg niet waarneembaar waren. Een dergelijke nadere analyse valt buiten de scope van het huidige onderzoeksrapport.

Concluderend kan worden gesteld dat de door leveranciers/ integratoren aangegeven aantallen van geleverde pGSM netwerken realistisch lijken.

4 VOORZIENE ONTWIKKELINGEN

4.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de groeiende behoefte van gebruikers, vervolgens naar de ontwikkelingen die leveranciers en integrators zien. Tot slot worden de huidige bekende technologische ontwikkelingen beschreven.

4.2 Ontwikkelingen gebruik

De vraagzijde van de markt laat een behoefte zien die bestaat uit:

1. Generiek mobiele communicatie gebruik in een massamarkt (met zeer veel consumenten en ook zakelijk gebruik).
2. Specifieke mobiele communicatie behoefte van kritische gebruikersgroepen in nichemarkten (voor bedrijfsmatig gebruik).

De massamarkt wordt op dit moment goed bediend met oplossingen van de mobiele netwerk operators in Nederland. Onder andere het door P3 Consultancy recent uitgevoerde onderzoek *The 2017 P3 Connect Mobile benchmark in The Netherlands* (Ref 7) geeft aan dat de kwaliteit van de Nederlandse mobiele netwerken zeer goed is. Doordat dit P3 onderzoek alleen outdoor tests heeft uitgevoerd met een aantal meetauto's, ontbreekt een goed inzicht in de kwaliteit van deze netwerken voor indoor gebruik. Juist indoor gebruik is van belang voor bedrijfsmatige toepassing.

De specifieke mobiele kritische bedrijfscommunicatie behoefte is op dit moment voor een deel ingevuld met specifieke oplossingen; zie sectie 3.2, en Ref 8. Voor een belangrijk deel wordt deze behoefte echter nog niet ingevuld op een wijze zoals gewenst. Bijvoorbeeld wordt in sommige gevallen gebruik gemaakt van publiek mobiele netwerken met een best effort performance, terwijl een gegarandeerde dienst gewenst is. De verwachting is dat met de sterke digitalisering van bedrijfsprocessen en specifieke behoefte in sectoren, ook wel aangeduid als 'verticals', de vraag naar specifieke mobiele bedrijfscommunicatie oplossingen de komende jaren sterk zal toenemen. Daarbij is de vraag uit de markt naar oplossingen in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021, wanneer de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band beschikbaar zou komen.

De behoefte naar de toekomst toe van deze specifieke gebruikersgroepen kan als volgt worden weergegeven:

- Een groeiend aantal mobiele toepassingen worden missie/bedrijfskritisch. Voor continuïteit van primaire bedrijfsprocessen is gegarandeerde beschikbaarheid en betrouwbaarheid vereist. Voorbeelden zijn de baanradio op een luchthaven en de aansturing van voertuigen op afstand.
- Behoud van volledige controle over de mobiele communicatie, en daardoor geen afhankelijkheid van een mobiele netwerk operator
- Voor missie/bedrijfskritische toepassingen wordt vergunningvrij spectrum door diverse partijen niet als acceptabele oplossing gezien wegens gebrek aan gegarandeerde beschikbaarheid, capaciteit en kwaliteit. Anderzijds blijken o.a. ziekenhuizen juist steeds meer toepassingen in vergunningvrije banden te gebruiken.

- Digitalisering binnen ondersteunende bedrijfsprocessen; veel meer belangrijke data en informatieverwerking. Voorbeeld hierbij is het mobiel raadplegen van grote bestanden met technische tekeningen.
- Een ecosysteem met ruime keuzemogelijkheden in randapparatuur, zowel consumenten apparatuur als meer gespecialiseerde apparatuur. Hierbij moet gedacht worden aan schermgrootte, robuustheid en het voldoen aan specificaties zoals ATEX.
- Gebruik van randapparatuur die de medewerker thuis ook gebruikt, betekent snellere gebruikersadoptie omdat men reeds vertrouwd is met de werking. Denk ook aan het Bring Your Own Device (BYOD) aspect.
- De mogelijkheid tot integratie van meerdere toepassingen. Dit zal vaak resulteren in bedrijfsspecifieke oplossingen en vereist maatwerk. Voor sectoren zoals de zorg ontstaan steeds meer sectorspecifieke oplossingen.
- Mogelijkheden voor innovatie en invullen van nieuwe behoeften.
- Voldoende capaciteit om de continuïteit te kunnen waarborgen bij een exponentiële toename van met name dataverkeer. Denk hierbij aan live videostreaming met lage vertragingstijd en hoge kwaliteit ten behoeve van bodycams, camerabewaking en op afstand bestuurbare machines.
- Integratie van missie kritische functionaliteit, zoals MCPTT (Mission Critical Push To Talk), priority en pre-emption, access control, etc.
- Verschuiving van spraak naar datacommunicatie.
- Vervanging van portofoonnetwerken (analoog, TETRA, DMR) door LTE oplossingen, verschuiven van specifieke oplossingen naar meer generieke oplossingen. Een punt van aandacht daarbij is de vertrouwelijkheid van de communicatie (spraak en data). Hoewel toepassing van encryptie (VPN) vaak een afdoende oplossing biedt, kan het een specifieke reden vormen om een privaat netwerk te kiezen.
- Specialistische kennis om bovenstaande behoeften te kunnen waarborgen. Met name voor grote pGSM / pLTE netwerken wordt de kwaliteit (o.a. beschikbaarheidspercentage) sterk bepaald door de kwaliteit van het ontwerp, de bouw en de operationele processen en kennis van de betrokken partijen.
- Leveranciers met voldoende kennis en capaciteit om grote vraagpartijen het gewenste vertrouwen te kunnen geven.

Tot nu toe is er nog geen passend en/of voldoende aanbod vanuit de MNO markt beschikbaar. Operators bieden beperkte mogelijkheden tot klant specifieke oplossingen, of hebben deze mogelijkheden nog niet vertaald in een propositie voor de markt.

Onderstaande figuur geeft voor de belangrijkste behoefte drivers een beeld van de historische en verwachte ontwikkeling van oplossingsrichtingen voor bedrijfseigen netwerken en spectrum inzet.

	Hoofd redenen voor keuze privaat netwerk tbv missie/bedrijfskritisch mobiel				
	Beschikbaarheid en Betrouwbaarheid		Eigen controle over communicatie		Financiële voordelen
Oplossing 2008 - 2012	PMR	pGSM	PMR	pGSM	pGSM
↓	↓	↓	↓	↓	↓
Oplossing heden	PMR	pGSM/pLTE	PMR	pGSM/pLTE	publiek mobiel
↓	↓	↓	↓	↓	↓
Oplossing toekomst	pLTE	pLTE	pLTE	pLTE	publiek mobiel
		Aan bedrijf vergund spectrum			
		Vergunningvrij spectrum			
		Aan MNO vergund spectrum			
		Bedrijfsspecifiek spectrum onder licht vergunningregime			

Figuur 5. Flowchart huidige naar nieuwe situatie bedrijfseigen netwerken

4.3 Conclusie Behoeftewontwikkeling

Door de doorgaande digitale transformatie wordt mobiel dataverkeer steeds belangrijker voor zowel primaire als ondersteunende bedrijfsprocessen. In plaats van 'nice to have' wordt het steeds vaker 'need to have'. In een ziekenhuis wordt bijvoorbeeld op de operatieafdeling met behulp van een tablet de laatste status van een patiënt weergegeven. Deze data wordt mobiel aangeleverd. Indien deze informatie niet beschikbaar is, worden operaties afgelast. De behoefte van de markt voor oplossingen is in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021, wanneer de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band beschikbaar zou komen.

Een aantal gebruikers ziet het datagebruik dusdanig groeien dat zij van publieke naar private oplossingen willen. Bij hun huidige gebruik is het publieke net van de MNO prima in staat om al het verkeer af te handelen. Het risico van te grote netwerkbelasting en congestie op publieke netwerken groeit echter. Bij problemen in de mobiele dataverbinding kan de verstoring van het bedrijfsproces zodanig groot worden, dat gebruikers zich genoodzaakt zien een eigen netwerk te realiseren.

De grote vraag voor de komende drie jaar is: kunnen gebruikers met specifieke mobiele communicatiebehoefte ervan uitgaan dat er in de markt oplossingen geboden worden die aansluiten op de behoefte. Deze gebruikers zullen zich in toenemende mate geplaatst zien voor de keuze tussen het investeren in de aanschaf en het onderhoud van een eigen netwerk of gebruik maken van de dienstverlening van de MNOs. In de huidige situatie kunnen beide opties in onvoldoende mate tegemoet komen aan de wensen van de vraagkant van de markt. Voor de private oplossing is er behoefte aan frequentiespectrum in een gebied waar een ecosysteem van oplossingen is. Voor de MNO oplossing is er behoefte aan specifieke mobiele communicatie diensten afgestemd op de gebruikersbehoefte.

4.4 Verwachting van leveranciers & integratoren

De grote netwerkleveranciers werken nu aan 5G en 'network slicing' technologie, en zien dat als oplossingsrichting voor de marktbehoefte voor missie/bedrijfskritische toepassingen en private netwerken. Naar de toekomst toe wordt verwacht dat de publieke operators door deze innovatieve ontwikkelingen beter in staat moeten zijn om invulling te geven aan de functionele behoeften van de huidige gebruikers van private GSM of LTE oplossingen. Daarnaast lijken deze leveranciers ook meer geïnteresseerd te worden in het bedienen van specifieke marktsegmenten, verticals, met name gedreven door de PPDR markt. Zo zijn er b.v. 'LTE netwerk in een rugzak' of andere, eenvoudig transporteerbare LTE netwerk oplossingen beschikbaar. Deze kunnen ook worden ingezet voor het realiseren van private LTE netwerken.

De systeemintegratoren spreken over het algemeen van tevreden gebruikers en verwachten naar de toekomst toe dat meer gebruikers de keuze zullen maken voor een private oplossing. Zij zijn, evenals de kleinere netwerkleveranciers volop bezig de 4G technologie in deze markt verder te ontwikkelen, b.v. om functies als VoLTE te introduceren en hiermee de gebruikers nog meer functionaliteit te bieden. Er wordt een sterke toename van bedrijfscommunicatie voorzien, met name datacommunicatie, vergelijkbaar met de generieke groei van mobiel dataverkeer. Wanneer, en zolang, de publieke operators niet aan de eisen omtrent gegarandeerde beschikbaarheid, betrouwbaarheid, capaciteit, kwaliteit en (indoor)dekking kan worden voldaan, is er behoefte aan meer spectrum waar private oplossingen gebruik van kunnen maken.

De huidige 2x5 MHz in de 1800 MHz band kan voorzien in basis behoefte zoals spraak en beperkt dataverkeer. Met oog op de toekomst waarin veel innovatieve toepassingen verwacht worden die gebruik zullen maken van veel dataverkeer, wordt de momenteel beschikbare 2x5 MHz als ontoereikend gezien. Het beeld bij de integrators is dat met deze 2x5 MHz ca 30 Mbps datadoorvoersnelheid kan worden gerealiseerd, maar voor datatoepassingen is aanzienlijk meer benodigd. Hier zou 2x10 MHz in de 2100 MHz band of ander geschikt spectrum oplossing kunnen bieden. Door de enorme toename aan datagebruik die wordt voorspeld heerst bij deze partijen het beeld dat 2021 niet op tijd is om deze groei van de vraag te kunnen bedienen.

Samenvatting van de marktverwachting:

- Exponentiele stijging van datagebruik door invoering van innovatieve oplossingen in de verschillende markt sectoren.
- Daardoor noodzaak tot meer netwerkcapaciteit.
- Noodzaak tot efficiënter gebruik maken van spectrum:
 - Nieuwe technieken als LTE-LAA en MulteFire kunnen zorgen voor efficiënter spectrum gebruik en meer verkeerscapaciteit
 - MNOs stellen spectrum efficiënter te gebruiken dan private gebruikers.
- Integratie van 3GPP standaarden in de netwerkkapapparaat, waaronder missie kritische functionaliteiten en VoLTE.
- Network slicing voor het meer op maat bedienen van marktsectoren.
- De ruimte voor (meer) partijen die de nichemarkten bedienen zal mede afhangen van beschikbaar spectrum voor het toepassen van (data)toepassingen met behulp van pLTE.
- Meer machine-to-machine toepassingen door de komst van IoT.

4.5 Conclusies leveranciers & integrators

De grote netwerkleveranciers stellen dat de mogelijkheden die 5G en network slicing met zich mee brengen een goed alternatief kunnen bieden voor private netwerken.

Daarentegen zien de op private netwerk oplossingen gespecialiseerde systeemintegratoren en leveranciers dat er nog steeds onduidelijkheid is of de MNOs de door gebruikers gestelde eisen van gegarandeerde beschikbaarheid, betrouwbaarheid, capaciteit, kwaliteit, en (indoor)dekking daadwerkelijk zullen invullen. Alle geïnterviewde integrators geven mede daarom aan dat zij verwachten de markt voor private netwerken o.b.v. pLTE te blijven bedienen.

4.6 Ontwikkelingen Technologie

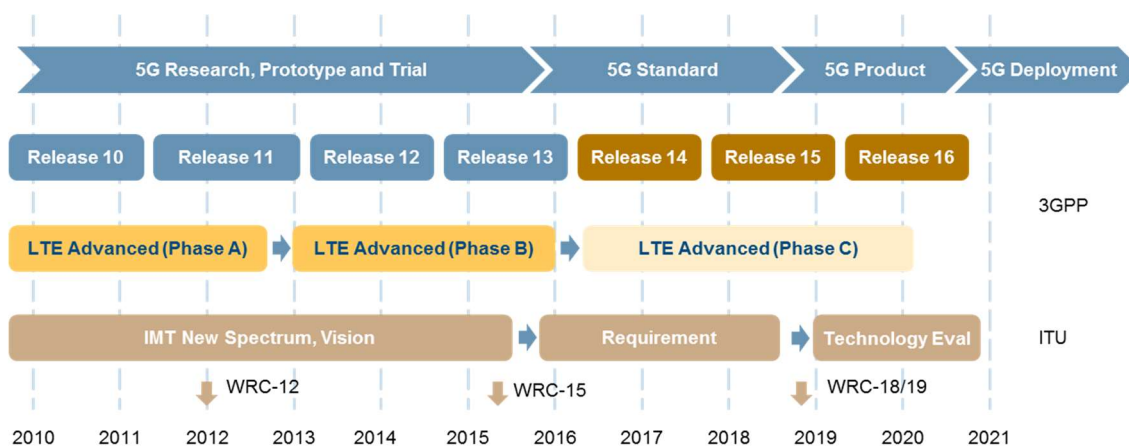
4.6.1 Introductie

De mobiele communicatie technologie ontwikkeling wordt op wereldniveau gestuurd door de 3GPP standaardisatie organisatie. 3GPP is het derde Generatie Partnership Project. Daarin zijn de 7 telecommunicatie standaardisatie ontwikkel-organisaties ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, en TTC verenigd.

De scope van de 3GPP is het specificeren van mobiele (cellular) telecommunicatie netwerk technologieën inclusief internetworking met WiFi netwerken. De 3GPP organisatie omvat drie Technical Specification Groups (TSGs), te weten:

- Service & System Aspects (SA)
- Core Network & Terminal (CT)
- Radio Access Network (RAN)

De 3GPP werkt met een strakke release planning. Ongeveer een keer per jaar wordt een nieuwe standaardisatie release uitgegeven. In onderstaand schema is de release planning van LTE 4G en 5G voor de komende jaren opgenomen.



Figuur 6. 3GPP release planning

Nadat een release door 3GPP vastgesteld is zullen leveranciers van netwerkapparatuur en terminal apparatuur de nieuwe mogelijkheden in de apparatuur gaan ontwikkelen, implementeren en produceren. Dit traject kost tijd, ongeveer 1-2 jaar nadat de 3GPP standaard is uitgegeven komt er apparatuur op de markt beschikbaar.

Op de wereldmarkt zijn er veel leveranciers actief, maar in Europa zijn 3 grote leveranciers/ontwikkelaars van operator grade netwerken: Ericsson, Huawei en Nokia. Deze leveranciers hebben naast de 4G core netwerken voor operators, ook kleinere versies beschikbaar (zoals bv het Nokia LTE netwerk in een rugzak). Deze leveranciers zijn bezig om 3GPP release 13 in hun producten te realiseren. Daarnaast zijn deze leveranciers volop bezig om de 5G technologie te definiëren binnen 3GPP, en in hun netwerken te gaan realiseren.

De ontwikkeling van mobiele randapparatuur wordt voor een belangrijk deel gestuurd vanuit de chipfabrikanten, waarbij Qualcomm de huidige marktleider is. Op het moment dat chipfabrikanten de standaarden in de nieuwe chipsets geïntegreerd hebben kunnen randapparatuur fabrikanten deze chips gebruiken om nieuwe functionaliteit aan de devices toe te voegen.

Kleinere partijen zoals Druid and Quortus ondersteunen 2G en 4G op hun netwerk cores. Deze leveranciers zijn nog bezig met het realiseren van toepassingen zoals VoLTE. Het is nog onduidelijk in hoeverre deze ook de Mission Critical ('MC') LTE features gaan ondersteunen.

4.6.2 Netwerk opbouw

Een LTE netwerk bestaat uit een core netwerk, de Evolved Packet Core (EPC) genoemd en een Radio Access Network (RAN), e-UTRAN genoemd, bestaande uit e-NodeB's.

In operator netwerken wordt een macro network gerealiseerd met de bouwstenen volgens de 3GPP standaard. Doel is het realiseren van radiodekking en het leveren van een kwalitatief goede mobiele dienstverlening. Naast grote basisstations voor hun macronetwerken, gebruiken zij ook small cells om lokale dekking en/of lokale verkeerscapaciteit te realiseren. Voor indoor oplossingen worden zowel door de MNOs als voor private netwerken vaak Distributed Antenna System ('DAS') oplossingen toegepast.

4.6.3 Small Cells

Small cells zijn laag vermogen mobiele radio access nodes die normaliter functioneren in de door 3GPP gedefinieerde frequentiebanden, en gebruik maken van vergund frequentie spectrum. Ze hebben een bereik afhankelijk van de omgeving, binnen of buiten gebouwen van 10 m tot enkele honderden meters. Small cells zijn kleiner van afmeting in vergelijking met macro cellen. Small cells worden door operators ingezet om lokaal capaciteit aan het netwerk toe te voegen. Voor private oplossingen kunnen small cells ingezet worden voor het realiseren van radiodekking op de private locatie waar radiodekking gewenst is. Dit kan zowel indoor als outdoor.

Vanwege de continue groei van het mobiele data verkeer, wordt door operators al enkele jaren gekeken naar oplossingen voor locale hotspots, zowel voor indoor als outdoor oplossingen. T-Mobile, Vodafone en KPN hebben alle drie op locaties in de grote steden al small cells geïnstalleerd, om voldoende capaciteit en/of indoordekking te bieden. Sommige MNOs prefereren voor indoor oplossingen het gebruik van small cells boven het inkoppelen op een DAS. Small cells zullen in de komende jaren een belangrijke pijler blijven voor verdere verbetering van de MNO netwerken, zowel outdoor als indoor. Verwacht mag worden dat

hierdoor het marktvolume van de small cells zal groeien, waardoor de prijzen zullen dalen. Hoewel het huidige prijsniveau van small cells blijkbaar geen grote belemmering heeft gevormd voor de ontwikkeling van de huidige pGSM markt is een veel gehoorde klacht (zowel van integrators als gebruikers) wel dat de prijzen van small cells te hoog zijn om die markt verder te laten groeien.

Small cells zijn er in veel soorten en maten. Sommige leveranciers bieden small cells die direct gekoppeld zijn aan een lokale control node, waarbij de oplossing heel erg lijkt op een actieve DAS oplossing. Hoewel deze oplossingen door meerdere operators geboden kunnen worden, blijven ze wel volledig operatorafhankelijk. Ook is het is vooralsnog niet mogelijk om diensten van meer dan 1 operator over hetzelfde netwerk af te nemen. Standaard zijn deze small cells 2x2 MIMO.

Omdat deze small cells door de operators worden bestuurd en onderdeel zijn van het macro netwerk, is dit voor veel organisaties niet een acceptabel alternatief als privaat netwerk oplossing.

4.6.4 Distributed Antenna System - DAS

De tot nu toe meest toegepaste DAS-variant zijn passieve netwerken³, voornamelijk bestaande uit coax bekabeling en antennes. De mobiele operators willen steeds meer opschuiven naar actieve DAS netwerken. Bij gedeelde DAS netwerken (zoals in grote publieke gebouwen of in tunnels) is dit niet altijd een goede optie. Bij verandering van technologie of van frequentieband is het met actieve DAS systemen vaak complex om veranderingen door te voeren, omdat de bestaande actieve apparatuur de nieuwe frequentieband niet kan ondersteunen, of niet kan voldoen aan de door 3GPP gestelde kwaliteitseisen. Bij passieve DAS systemen zijn dergelijke veranderingen meestal veel eenvoudiger door te voeren. Sommige partijen geven aan dat actieve DAS systemen een beter uitgangspunt zijn voor 5G implementaties, maar het is wel waarschijnlijk dat bestaande actieve apparatuur dan aangepast moet worden om 5G technologie te ondersteunen. Passieve DAS systemen ondervinden daar waarschijnlijk capaciteitsbeperkingen. Zowel passieve als actieve DAS oplossingen zijn geschikt om meerdere mobiele netwerken gelijktijdig te ondersteunen, naast andere radio netwerken zoals C2000 en private netwerken.

Als voor een pLTE oplossing 2x5 MHz of 2x10 MHz beschikbaar is, zal normaliter een LTE carrier van 5 MHz resp. 10 MHz worden gebruikt teneinde de optimale capaciteit van de LTE technologie te kunnen benutten. Voor organisaties waar grote verkeersvolumes moeten worden verwerkt (grote aantallen gebruikers, data intensieve applicaties zoals video streaming, etc.) zal een DAS oplossing (actief of passief) moeten worden opgebouwd uit een aantal sectoren, waarbij de 5 of 10 MHz carrier in iedere sector opnieuw gebruikt wordt, maar t.b.v. andere gebruikers. Dit aspect moet in de ontwerpfase goed worden meegenomen, omdat achteraf aanpassen bij verkeersgroei meestal erg complex is. Elke sector of cel levert een bepaalde capaciteit. De totale capaciteit van het systeem wordt bepaald door de maximale capaciteit van een cel maal het aantal cellen.

4.6.5 Ontwikkelingen LTE

Op dit moment wordt er nog volop ontwikkeld aan LTE. Met LTE-Advance Pro zijn Gigabit snelheden mogelijk, waardoor dit ook bekend is als Gigabit LTE of ook 4.5G. De technologische ontwikkelingen zijn

³ Een *passief* DAS netwerk bestaat alleen uit coaxiale kabels en andere componenten die geen elektrische voeding nodig hebben, zoals, splitters, en antennes. Het radiosignaal van een lokaal basisstation wordt door het passieve DAS verspreid door het gebouw. Bij een *actief* DAS worden de radiosignalen van een lokaal basisstation omgezet naar een IP of optisch signaal, wat over een glasvezel of LAN netwerk gedistribueerd wordt. Remote units zetten die signalen om in radiosignalen op de locaties waar dat gewenst is.

deels ook toepasbaar in pLTE. Door toepassing van 4x4 MIMO⁴ in plaats van 2x2 MIMO wordt de maximale capaciteit en snelheid binnen de DECT guardband verdubbeld. In de 2x5 MHz beschikbaar in de huidige DECT guardband is het met 4x4 MIMO mogelijk om maximaal 72 Mbit/s in de downlink te halen (zie tabel hieronder):

LTE	Downlink		Uplink
kanaal	2x2 MIMO	4x4 MIMO	1x2 MIMO
5 MHz	37 Mbit/s	72 Mbit/s	18 Mbit/s
10 MHz	75 Mbit/s	147 Mbit/s	36 Mbit/s
20 MHz	150 Mbit/s	300 Mbit/s	75 Mbit/s

Figuur 7. Maximale datasnelheden LTE in Downlink en Uplink (Bron Strict).

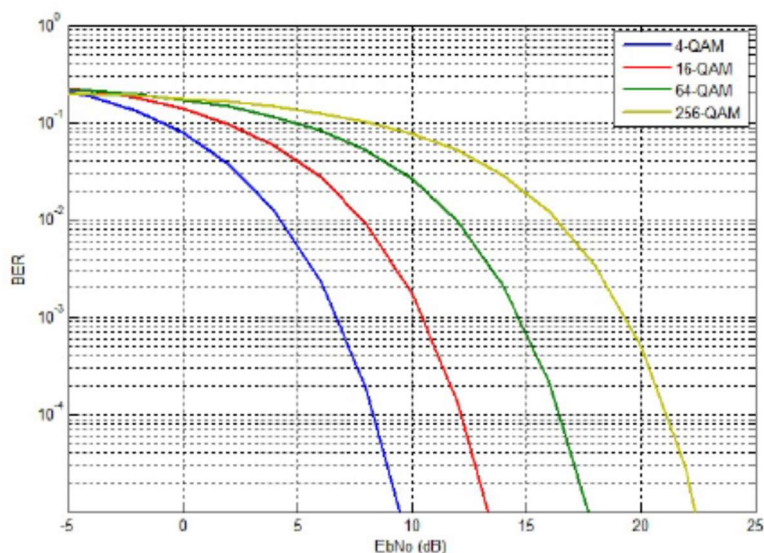
Voor een daadwerkelijke implementatie moet vanzelfsprekend rekening gehouden worden met het aantal gebruikers die deze capaciteit moeten delen, alsmede mede de variatie over het dekkingsgebied. Zeker voor 4x4 MIMO is het verschil tussen piek snelheid en gemiddelde snelheid fors. Een meer gemiddeld realiseerbare radio cell capaciteit is orde grootte 10x lager dan de piek snelheid, en zelfs ca 20-30x lager aan de cel grens. Dat impliceert stringente eisen aan de ontwikkeling van het radioplan.

Daarnaast impliceert het toepassen van 2x2 MIMO of 4x4 MIMO het toepassen van 2x resp. 4x meer RF stralers, i.c. antennes. Vanuit praktisch oogpunt kan een passief DAS worden uitgerust met 2 stuks stralende coax of antennes op enige afstand van elkaar, om zo een 2x2 MIMO signaal mogelijk te maken. Dit vergt bijna een verdubbeling van alle bekabeling en componenten. Voor 4x4 MIMO is dat niet realistisch. Dit betekent dat 4x4 MIMO eigenlijk alleen effectief kan worden gerealiseerd door toepassing van small cells, alhoewel deze variant op korte termijn nog niet op de markt wordt verwacht.

Een andere ontwikkeling die nu gaande is, is een hogere modulatieorde op de radioverbinding. In plaats van 64QAM komt 256QAM beschikbaar. Dit levert bij een goede radioverbinding (dicht bij de zendantenne) maximaal 33% snelheidsverbetering (6 bits per symbool voor 64QAM, 8bits per symbool voor 256QAM), waardoor maximaal 96 Mbit/s per cel beschikbaar is. Er zijn op dit moment nog maar een zeer beperkt aantal toestellen op de Nederlandse markt die dit ondersteunen (de Samsung S8 en de Sony Xperia XZ Premium, beide met de Qualcomm Snapdragon 835). Om deze snelheden te halen, moet het pLTE netwerk worden voorzien van de nieuwste hardware (net zoals bij publieke netwerken). De hiervoor benodigde radioapparatuur is op dit moment alleen bij Huawei, Nokia en Ericsson beschikbaar. Radio apparatuur van de kleinere leveranciers ondersteunt dit nog niet.

Naast de noodzakelijke ondersteuning van deze technologie in de radioapparatuur, heeft toepassing van 256QAM ook gevolgen voor de radiodekking. Zoals onderstaande grafiek laat zien is er voor de stap van 16QAM naar 64QAM naar 256QAM steeds een ca 5dB hogere signaalkwaliteit (Eb/No) vereist. Dit vertaalt zich direct in de noodzaak de radiodekking van een indoor of campus pLTE systeem aanzienlijk te verbeteren. Verwacht wordt dat bestaande (DAS) indoor systemen een volledig herontwerp nodig hebben wanneer ze een hogere modulatieorde willen toepassen.

⁴ Multiple-Input Multiple-Output is een techniek om, met behulp van meerdere ontvangst- en zendantennes, data draadloos over te dragen met een hogere snelheid (capaciteit) dan mogelijk is met het gebruik van één zend- en ontvangstantenne (SISO - Single-Input Single-Output).



Figuur 8. BER versus QAM (Bron: <http://www.raymaps.com/index.php/qam-theoretical-ber/>).

4.6.6 LTE WLAN Aggregation (LWA)

WiFi netwerken zijn voor kantoor- en bedrijfsomgevingen steeds belangrijker. Door gebruik van laptops en flexibele werkplekken wordt via WiFi zeer veel data verstuurd. Ook in gebouwen waar events worden gehouden wordt WiFi als belangrijk gezien. Normaliter zijn dergelijke WiFi netwerken eigendom van het betreffende kantoor of bedrijf, of soms van een gebouweigenaar.

In het buitenland wordt door mobiele operators al langer gebruik gemaakt van WiFi netwerken om binnen gebouwen extra capaciteit en dekking te bieden. Door LWA te gebruiken, wordt de WiFi verbinding samengevoegd met de operator LTE verbinding die gebruik maakt van vergund spectrum. De hogere veiligheid door LTE gebaseerde authenticatie en encryptie is daarbij een voordeel. In Nederland hebben de operators tot nu toe beperkt interesse in LWA, omdat hiervoor grootschalig WiFi netwerken van die MNOs nodig zijn, of de kwaliteit van de verbinding afhankelijk is van het bedrijfs WiFi netwerk. Gebruik van LWA door een MNO veroorzaakt dan mogelijk wel een beperking op het gebruik van het 5GHz WiFi bedrijfsnetwerk.

4.6.7 LTE – Licensed-Assisted Access (LTE-LAA)

Een technologie die sinds dit jaar beschikbaar is in de nieuwste mobiele toestellen (zoals de Samsung S8) is LTE-LAA. Met LAA wordt de downlink van het MNO netwerk (de zogenaamde anchor carrier) gecombineerd met een LTE carrier in de 5GHz vergunningvrije band. De nieuwste versie hiervan gaat ook de combinatie van een LTE carrier in de uplink met de anchor carrier mogelijk maken, en heet dan eLAA (Enhanced Licensed Assisted Access).

In de 5 GHz band wordt voor WiFi een kanaalraster van 20 MHz gebruikt. Met LTE-LAA is het mogelijk om een of meerdere 20 MHz kanalen te gebruiken voor ondersteuning van LTE in de vergunningvrije 5 GHz band (zie ook Par 10.1.5).

De originele 3GPP LTE-standaard heeft geen Listen Before Talk (LBT), waardoor co-existentie met WiFi voor problemen kan zorgen. Voor LTE-LAA is dit wel geïntroduceerd door 3GPP voor gebruik van de 5GHz band (het LAA deel), zodat LTE en WiFi in het zelfde 5GHz spectrum geen problemen geeft. Sterker nog, een LTE zender veroorzaakt minder adjacent channel interferentie dan een WiFi zender als gevolg van een stringenter spectraal masker. Daardoor is LTE in principe een betere buurman voor een WiFi zender dan een andere WiFi zender.

Operators in Amerika zijn begonnen met de uitrol van LTE-LAA. Operators in Nederland zijn LTE-LAA wel aan het onderzoeken, maar zien wel nadelen zoals het niet gegarandeerd beschikbaar zijn van spectrum capaciteit, en daarmee het niet kunnen garanderen van de kwaliteit van de verbinding. LTE-LAA is vooral een oplossing voor drukke plaatsen buiten.

Gezien de grote vraag naar mobiele datacapaciteit, en het gegeven dat de 5GHz band ook voor de MNOs gratis beschikbaar is, verwachten de onderzoekers dat ook in Nederland door de MNOs LTE-LAA zal worden ingezet, en dat daardoor vanaf 2018 de 5GHz band een groeiend gebruik zal laten zien.

4.6.8 *MulteFire*

Sinds eind 2015 wordt gewerkt aan een nieuwe radio standaard onder de naam MulteFire. Deze standaard is gebaseerd op de LTE standaard, werkt in de 5GHz band, en combineert de LTE technologie met de implementatie eenvoud van WiFi netwerken. Sinds begin 2017 is de eerste versie van deze standaard beschikbaar (MulteFire Release 1.0.1). MulteFire is specifiek bedoeld voor private netwerken, met b.v. een koppeling met het generieke internet. Maar het kan ook worden gekoppeld met een of meerdere MNOs, en kan daarmee deel worden van een MNO netwerk. Omdat het bereik van een MulteFire zender ca 50% groter is dan een WiFi zender, als gevolg van een beter radio linkbudget, zijn er minder MulteFire radio's nodig dan voor een WiFi gebaseerd oplossing.

De MulteFire zenders zelf worden gekoppeld via standaard CAT bekabeling. Hiermee is het voor gebouw eigenaren mogelijk om relatief eenvoudig een 4G netwerk aan te (laten) leggen.

Naast de netwerkkapparatuur wordt gewerkt aan ondersteuning van MulteFire in de randapparatuur, met name door chipleveranciers zoals Qualcomm en Intel.

De verwachting is dat de componenten voor een MulteFire oplossing vanaf 2018 beschikbaar zullen zijn, en dat vanaf 2018 MulteFire netwerken de 5 GHz band kunnen gaan gebruiken. Onduidelijk is echter de mate waarin dit zal gebeuren.

Veel organisaties hebben al 5 GHz WiFi netwerken in gebruik. Vergelijkbaar met LTE-LAA heeft gebruik van MulteFire dan ook mogelijk gevolgen voor de resterend beschikbare capaciteit in de 5GHz band voor WiFi-netwerken. Verder, omdat MulteFire gebruik maakt van een vergunningvrije band, zou dit als ongeschikt voor missie/bedrijfskritische toepassing moeten worden gezien, zoals behandeld in hoofdstuk 6. Vanuit de betrokken industrie, de MulteFire Alliance, wordt evenwel aangegeven dat zij MulteFire wel geschikt zien voor kritische toepassingen. Argument daarbij lijkt de grootte van het beschikbare spectrum in de 5 GHz band, waardoor door die leveranciers de kans op verstoringen als laag wordt ingeschat.

Afgezien van de vraag hoe MulteFire zich zal gedragen wanneer er toch congestie in de 5 GHz band ontstaat, zijn daarnaast nog diverse aspecten onduidelijk, zoals de vraag hoe MulteFire om gaat met LTE prioritering en access control versus het gebruik van Listen Before Talk (LBT).

4.7 Conclusie Technologie

De 3GPP standaardisatie organisatie bepaalt op wereldniveau de ontwikkelingen van de mobiele communicatie technologie voor 4G en 5G gebaseerd op vergund spectrum. 3GPP standaardiseert ook oplossingen die gebruik maken van zowel vergund als vergunningvrij spectrum, zoals LWA en LTE-LAA.

Daarnaast zijn er initiatieven in de markt, geïnitieerd door groepen technologie leveranciers, die gebruik maken van vergunningvrij frequentiespectrum met oplossingen zoals MulteFire.

Door deze standaardisatie komen er verschillende oplossingen op de markt beschikbaar voor zowel vergund als vergunningvrij spectrum. Naast het ecosysteem voor de macro netwerken, kunnen eigen ecosystemen ontstaan voor private netwerken. De vraag is wat het succes van deze verschillende alternatieve oplossingen op wereldniveau gaat worden.

De technologie ontwikkeling van mobiele communicatie is nog volop in beweging. De mobiele datasnelheden worden door het toepassen van nieuwe technologie elk jaar nog verhoogd. De frequentie banden die ingezet worden, worden steeds hoger. Er komen nieuwe toepassingen die gebruik maken van de nieuwe mogelijkheden van de mobiele technologie (bijvoorbeeld video toepassingen).

5 IS 2 X 10 MHZ VOLDOENDE

5.1 Verwachting capaciteitsbehoefte

Uit de interviews met zowel gebruikers al leveranciers en integrators van pGSM en pLTE oplossingen zijn geen kwantitatieve gegevens beschikbaar gekomen voor de omvang van het verkeer (spraak, data, messaging) zoals dat momenteel verwerkt wordt door de diverse pGSM en pLTE netwerken. Wel wordt aangegeven dat in de meeste private netwerken het gebruik hoofdzakelijk spraak is, met een zeer beperkte hoeveelheid data. Deze beperking wordt met name bepaald door de lage datacapaciteit van pGSM. Met GSM-EDGE is het theoretisch maximum van een volledig bezette carrier 384 kbps met 8PSK modulatie. In de praktijk is voor gebruikers ongeveer 150 kbps het maximum haalbare. Daarmee kunnen eigenlijk alleen een beperkt aantal alarmeringsberichten worden verstuurd. De vraag van de gebruikers is evenwel om b.v. tablets, smartphones, bodycams etc. in te zetten voor toepassingen als het versturen van onderhoudsgegevens, foto's, video, etc.

Verwacht mag worden dat het gebruik van dergelijke randapparatuur binnen bedrijfsprocessen sterk zal toenemen als gevolg van de digitalisering en mobilisering van vele bedrijfsprocessen (b.v. door invoering van enterprise mobility).

Om toch een inschatting te kunnen maken van de mogelijke capaciteit- en daarmee spectrum behoefte, zijn zowel het Ericsson Mobility Report (juni 2017) (Ref 9) als het Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021, June 6, 2017 (Ref 10) geraadpleegd.

Het Ericsson Mobility Report geeft aan dat het dataverkeer voor smartphone gebruikers zal groeien van 2,7 GB/maand in 2017 naar 22 GB/maand in 2022, een factor 8. Deze groei wordt gedomineerd door het gedrag van consumenten.

Het Cisco rapport (Ref 10) geeft aan dat een gemiddelde business gebruiker in 2016 ca. 4GB per maand als Internet data gebruikt. Onderstaande figuur uit dit Cisco rapport geeft aan dat de groei van het dataverkeer tussen 2016 en 2021 een factor van ca. 2,5 bedraagt. In 2021 zal een gemiddelde business gebruiker dan ca. 10GB per maand gebruiken. Merk op dat het mobiele data segment harder groeit met een factor van ca. 5,5, wat dus iets achter blijft bij de door Ericsson aangegeven groei. De Cisco schatting lijkt daarmee wat aan de conservatie kant te zijn.

Business IP Traffic, 2016–2021							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR 2016–2021
By Network Type (PB per Month)							
Business Internet traffic	13,264	16,291	19,442	23,312	27,969	33,363	20%
Business managed IP traffic	3,292	3,789	4,161	4,543	4,930	5,236	10%
Business mobile data	1,248	1,838	2,617	3,664	5,039	6,853	41%
By Geography (PB per Month)							
Asia Pacific	6,466	8,009	9,667	11,770	14,365	17,469	22%
North America	4,872	6,444	7,935	9,665	11,594	13,720	23%
Western Europe	2,808	3,312	3,885	4,578	5,432	6,469	18%
Central and Eastern Europe	1,689	1,855	2,047	2,352	2,789	3,283	14%
Latin America	1,155	1,313	1,527	1,787	2,114	2,526	17%
Middle East and Africa	814	983	1,159	1,365	1,643	1,985	20%
Total (PB per Month)							
Business IP traffic	17,804	21,917	26,220	31,518	37,937	45,452	21%

Source: Cisco VNI, 2017

Figuur 9. Business IP traffic, 2016 – 2021 (Bron Cisco).

Een verkeersvolume van 10 GB per maand in 2021 betekend dat per werkdag ca. 500 MB wordt gebruikt, wat kan worden vertaald naar een continue datastroom van ca. 140 kbps. Met de in Ref 11 aangegeven verhouding tussen 'busy hour' en gemiddeld verkeer van ca. 4x (in 2016), zou dat betekenen dat er per gebruiker minimaal 600 kbps beschikbaar zou moeten zijn gedurende het busy hour. Figuur 9 geeft aan dat slechts ca. 15% daarvan voor business mobiele data is, dus slechts ca. 90 kbps. Maar omdat internet gebruik, zeker via een mobiel device, normaliter niet een constante datastroom, maar een bursty karakter heeft, moet deze 90 kbs worden gezien als een absolute ondergrens.

Een VoLTE sessie, welke normaliter 12.2kbps nodig heeft voor een AMR codec, of 12.65kbps tot 23.85kbps voor een AMR wideband codec, afhankelijk natuurlijk van de gewenste spraak kwaliteit, past binnen een 90 kbs capaciteit prima. Maar een enkele HD video verbinding daarentegen produceert al een datastroom van 2 – 4 Mbit/s.

Daarnaast variëren de groottes van private bedrijfsnetwerken ook sterk. Sommige bedrijfsnetwerken zijn gekenmerkt door kleine aantallen gebruikers die verspreid over een relatief groot geografisch gebied opereren, zoals zorginstellingen. Ander situaties, zoals b.v. in universitaire ziekenhuizen, hebben daarentegen enige duizenden gebruikers op een beperkt oppervlak. Daarmee wordt het niet goed mogelijk een eenduidig beeld te vormen van de voor kritische bedrijfsnetwerken benodigde verkeerscapaciteit, en de daarvoor benodigde hoeveelheid spectrum.

Als voorbeeld kan een eenvoudig scenario⁵ dienen:

- Organisatie met 100 medewerkers die ieder gemiddeld 90kbps internet type verkeer genereren, inclusief VoLTE spraak, dus 4.5 Mbit/s totaal in downlink en 4.5 Mbit/s in uplink.
- Daarnaast gebruiken 5 personen bodycams die ieder 4 Mbit/s genereren, dus 20 Mbit/s + 4.5 Mbit/s = 24.5 Mbit/s totaal in uplink.

Zoals in sectie 4.6.5. aangegeven, moet nog wel rekening gehouden worden met de forse verschillen tussen de beschikbare LTE pieksnelheden en de gemiddelde snelheid of zelfs de nog sterker gereduceerde snelheid op de cel grenzen.

	Downlink piek Mbit/s	Downlink gemiddeld Mbit/s	Uplink piek Mbit/s	Uplink gemiddeld Mbit/s	Minimaal benodigd aantal radiocellen in 2021
2x5 MHz DECT guardband, met 2x2 MIMO	37	3.7	18	1.8	14
2x5 MHz DEC guardband plus 2 x 10MHz in 2100MHz band, met 2x2 MIMO	110	11	54	5.4	5

Figuur 10. Verkeersscenario.

Gebruik van 2x10 MHz in de 2100 MHz band als toevoeging op de 2x5 MHz van de DECT guardband resulteert in een duidelijke vermindering van het minimale aantal benodigde radiocellen. Door inzet van technieken als 4x4 MIMO en 256 QAM kan dit aantal verder worden beperkt. Op dit moment is dit nog niet beschikbaar in de voor pLTE gebruikte apparatuur. Verwacht mag worden dat de komende jaren hier verbetering in komt.

Verdere vermindering van het aantal benodigde radiocellen zal mogelijk zijn door inzet van meer spectrum. Voor grotere organisaties, zoals grote ziekenhuizen met enige duizenden medewerkers, zal meer additioneel spectrum dan 2x10 MHz noodzakelijk zijn. Zeker gezien de digitalisering van bedrijfsprocessen, de verschuiving van vaste naar mobiele communicatie (spraak, data, internet) en de verwachting dat dataverkeer exponentieel blijft stijgen.

Zoals hiervoor al aangegeven, moeten de in dit scenario gebruikte verkeersvolumes internet type verkeer als absolute ondergrens worden gezien. Dit betekent dat in 2021, de 2x5 MHz + 2x10 MHz niet toereikend zal zijn. Hoewel de horizon van het huidige onderzoek 3-5 jaren omvat, moet worden voorkomen dat verdere groei na 2021 wordt geblokkeerd door een spectrum tekort. Naar onze mening zou daarom i.p.v. 2x10 MHz, spectrum ruimte voor 2x20 MHz of 2x40 MHz beschikbaar moeten worden gemaakt.

Daarnaast is onze verwachting dat het uplink verkeer bij diverse toepassingen groter zal zijn dan het downlink verkeer (b.v. door video toepassingen). Dat betekent dat toepassing van een LTE-TDD oplossing

⁵ Naast aantallen gebruikers is het verkeersgedrag (continue versus burst, internet browsing of video upload/download, etc) maar ook de concentratie van gebruikers van belang. Als b.v. enige honderden gebruikers in een beperkte ruimte actief mobiele data gebruiken ontstaat een geheel ander capaciteit scenario.

dan in het voordeel is, omdat daar de uplink – downlink verhouding kan worden geconfigureerd. In plaats van 2x20 MHz of 2x40 MHz zou dan 1x40 MHz of 1x80 MHz beschikbaar moeten worden gemaakt. Bij gebruik van TDD is dan wel extra aandacht nodig voor mogelijke interferentie tussen nabijgelegen private LTE netwerken teneinde interferentie tussen zend- en ontvangtijsloten te voorkomen. Verder zal co-existentie met naastgelegen spectrum gebruikers moeten worden zeker gesteld.

Verder moet de vraag worden gesteld welk verkeer daadwerkelijk missie/bedrijfskritisch is, en dus welk gedeelte mogelijk op andere wijze gerealiseerd kan worden. Dat zou via b.v. WiFi of een publiek mobiel netwerk mogelijk kunnen zijn. Vanuit gebruikers optiek moet een dergelijke hybride oplossing dan wel zodanig technisch worden gerealiseerd dat hierdoor geen belemmeringen in het gebruik ontstaan. Als gebruiker is het immers ongewenst te moeten kiezen afhankelijk van de toepassing via welke route gecommuniceerd kan worden. Met de huidige stand van de techniek is dit echter niet mogelijk. De momenteel verkrijgbare randapparatuur is niet in staat om gelijktijdig verbindingen te onderhouden met 2 verschillende LTE netwerken (i.c. het private LTE netwerk en een publiek LTE netwerk). Het gevolg hiervan is dat een organisatie die voor een privaat LTE netwerk kiest, zowel het kritische verkeer als het overige, niet-kritische verkeer over dat private netwerk moet verwerken. Dat resulteert in een grotere bandbreedte behoefte.

5.2 Alternatieve frequentieruimte

Voor de vraag of onderzoek naar alternatieve frequentie ruimte noodzakelijk is, zijn 2 aspecten van belang:

- Is er een noodzaak om ruimte in de 2100 MHz band te vinden.
- Is de voorgestelde ruimte voldoende.

Met betrekking tot de vraag of de benodigde frequentieruimte moet worden gevonden in de 2100 MHz band, is er volgens de onderzoekers geen andere reden dan dat deze frequentieband opnieuw wordt geveild, en daarmee een mogelijkheid ontstaat om een nieuwe indeling van deze band te realiseren. Vanuit radiogedrag of beschikbaarheid van een ecosysteem lijken er geen doorslaggevende redenen te zijn om deze band te prefereren boven andere banden (zie ook hoofdstuk 10).

Voor de vraag of de voorgesteld frequentieruimte voldoende is, ligt e.e.a. anders.

Zoals in sectie 5.1 aangegeven, kan de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band, met de al beschikbare 2x5 MHz van de DECT guardband worden gecombineerd. Door deze twee banden in Carrier Aggregation (CA) mode te gebruiken, ontstaat een grotere verkeerscapaciteit. Een CA van de 1800 MHz band met de 2100 MHz band is volgens de 3GPP standaard mogelijk. Echter ook dan is de beschikbare capaciteit niet voldoende, zoals hiervoor aangegeven in sectie 5.1.

Als in plaats van de 2100 MHz band een alternatieve frequentieband zou worden aangewezen voor private netwerken, is capaciteitsverhoging d.m.v. CA alleen mogelijk als de betreffende combinatie met de DECT guardband ook door 3GPP als zodanig is gedefinieerd. Op dit moment kunnen volgens de 3GPP TS 36.104 V14.3.0 de volgende banden met de 1800 MHz worden gecombineerd voor CA: band 1, 5, 7, 8, 11, 19, 20, 21, 26, 27, 28, 31, 32, 38, 40, 41, 46, 69.

Een ander mogelijk alternatief om meer verkeerscapaciteit te realiseren is door combinatie van de 1800 MHz DECT guardband met de vergunningvrije 5 GHz band, waardoor een private LTE-LAA oplossing ontstaat. Dat zou bij een combinatie van de 2x5 MHz DECT guardband en 20 MHz in de 5 GHz band een totale capaciteit van ca. 187 Mbit/s downlink, en ca. 93 Mbit/s in de uplink opleveren. Maar daarbij wordt

geen recht gedaan aan de door de markt gevraagde garanties van beschikbaarheid en betrouwbaarheid, zoals wordt behandeld in hoofdstuk 6.

In Hoofdstuk 10 wordt verder behandeld welke frequentiebanden een mogelijk alternatief voor de 2x10 MHz in de 2100 MHz band zouden kunnen vormen.

5.3 Conclusie benodigd spectrum volume

Voor grotere organisaties, zoals grote ziekenhuizen en bedrijfsterreinen met enige honderden tot duizenden medewerkers, zal meer spectrum dan 2x5 MHz plus 2x10 MHz noodzakelijk zijn. Zeker gezien de digitalisering van bedrijfsprocessen, de verschuiving van vaste naar mobiele communicatie (spraak, data, video, internet) en de verwachting dat dataverkeer exponentieel blijft stijgen na 2021. Naar onze mening zal daarom i.p.v. 2x10 MHz, spectrum ruimte voor 2x20 MHz of 2x40 MHz respectievelijk 1x40 of 1x80 MHz bij gebruik van TDD, beschikbaar moeten worden gemaakt onder een licht vergunning regime.

Er wordt bij dit onderzoek uitgegaan van gebruik van 4G LTE technologie. Naburige LTE netwerken kunnen gebruik maken van hetzelfde spectrum mits er adequate coördinatie is. Het is hierdoor niet noodzakelijk om separaat spectrum voor meerdere partijen te definiëren. Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is wel de noodzaak voor een (licht) vergunning regime.

6 VERGUNNINGVRIJ VERSUS GEREGULEERD GEBRUIK

6.1 Algemeen

Vergunningvrij gebruik van frequenties betekent dat voor deze frequenties geen melding of registratieplicht is. In het algemeen gaat het om apparatuur met beperkte zendvermogens, waarmee korte afstanden overbrugd kunnen worden. Vergunningvrij frequentiegebruik mag zowel privé als zakelijk plaatsvinden, ook mogen de frequenties gebruikt worden voor commerciële dienstverlening aan derden.

Het voordeel van vergunningvrij gebruik van frequenties is dat het toepassen in principe voor iedereen toegestaan is en daarmee laagdrempelig en veelvuldig ingezet kan worden. Een belangrijk nadeel van vergunningvrij gebruik is dat medegebruik geaccepteerd moet worden, iedereen kan legaal van deze frequenties gebruik maken. Dit kan betekenen dat indien er meerdere gebruikers bij elkaar in de buurt gebruik maken van dezelfde (vergunningvrije) frequenties, de werking van de mobiele oplossing minder optimaal dan wel volledig verstoord kan worden door onderlinge interferentie. Voor kritische toepassingen is vergunningvrij gebruik hierdoor niet geschikt.

Om spectrum vergunningvrij in te kunnen zetten, zullen generieke voorwaarden verbonden moeten worden zoals het toegestane maximum uitgestraald zendvermogen (zowel downlink als uplink). Voor de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band zal dit dus ook moeten worden gedefinieerd.

6.2 Verstoringen in DECT guardband

Uit de interviews gehouden met zowel gebruikers als leveranciers van pGSM systemen, blijkt dat in de praktijk slechts weinig daadwerkelijk aanwijsbare verstoringen op pGSM systemen in de DECT guardband zijn ontstaan als gevolg van medegebruik van het vergunningvrije 1800 MHz spectrum.

Uit Strict praktijkervaring is een enkel geval bekend waar het noodzakelijk bleek om een ander pGSM systeem uit te schakelen om verstoringen op een nieuw pGSM netwerk op te heffen. Ook is een geval bekend waar niet voor een oplossing in het vergunningvrije 1800 MHz spectrum werd gekozen vanwege de kans dat er verstoringen zouden kunnen ontstaan welke niet door b.v. onderlinge afspraken met andere (buur)partijen zouden kunnen worden opgelost.

Het vergunningvrij gebruik van LTE technologie in de DECT guardband is nog beperkt er is hierdoor nog weinig praktijk ervaring met mogelijke interferentie problemen.

6.3 Visie verstoringen

Tijdens de interviews werd zowel door gebruikers als leveranciers en ook MNOs aangegeven dat zij vergunningvrij spectrum principieel niet geschikt achten voor missie/bedrijfskritische toepassingen. Dit wegens gebrek aan gegarandeerde beschikbaarheid, capaciteit, robuustheid en kwaliteit. Dit beeld wordt ook onderschreven door het Stratix rapport (Ref 8).

Dit lijkt geheel in tegenspraak te zijn met het succes van gebruik van de vergunningvrije DECT guardband. Daarvan geven de gebruikers aan dat een van de belangrijkste redenen om voor een pGSM netwerk te kiezen juist aspecten als gegarandeerde beschikbaarheid, capaciteit, robuustheid en kwaliteit essentieel waren.

Een verklaring hiervoor moet volgens de onderzoekers gezocht worden in de volgende aspecten:

- Bij de aanvang van gebruik van de DECT guardband in 2008 bestond een meldingsplicht van de pGSM netwerken. Hierdoor ontstond mogelijk een, onterecht, beeld van potentiële bescherming tegen verstoring.
- pGSM netwerken werden als zeer lokaal gezien, en er werden weinig tot geen verstoring ervaren.
- De dienstverlening van MNOs kon alleen geleverd worden op basis van 'best effort'. Dit werd als onvoldoende gekwalificeerd gezien de beschikbaarheidseisen voor de missiekritische of bedrijfskritische toepassingen binnen de organisatie.
- De beschikbaarheid, capaciteit, robuustheid van de MNO netwerken was toentertijd waarschijnlijk lager dan tegenwoordig, waardoor een pGSM oplossing al vrij snel "beter" kon scoren.
- Een meer recente bewustwording van congestie en andere issues op de vergunningvrije WiFi 2.4GHz band.
- Groeiend belang van missie/bedrijfskritische toepassingen o.b.v. mobiele communicatie als gevolg van verdergaande digitalisatie van bedrijfsprocessen.
- Organisaties zoals Schiphol, havenbedrijf, etc. zien voordeel in de combinatie of integratie van meerdere mobiele communicatie systemen (analoge portofonie, DMR, Tetra, paging, etc.) in een netwerk oplossing o.b.v. LTE. Daardoor stijgt de afhankelijkheid van dat ene netwerk, wat dus zal moeten voldoen aan hogere eisen voor wat betreft betrouwbaarheid en beschikbaarheid dan de voorheen separate netwerken.
- Het belang van betrouwbaarheid en beschikbaarheid zal afhankelijk zijn van het type en grootte van een organisatie. Een zorginstelling midden op de Veluwe zal eerder een oplossing gebaseerd op vergunningvrij spectrum accepteren dan b.v. een havenbedrijf of Schiphol, met zeer grote veiligheids- en economische belangen, en meerdere organisaties die alle voor een eigen private netwerk oplossing zouden kunnen kiezen, waardoor meer kans op verstoringen in het vergunningsvrije spectrum ontstaat.
- Vergunningvrij spectrum veroorzaakt een hoger investeringsrisico, omdat er geen maatregelen beschikbaar zijn om, in geval van verstoringen (b.v. bij interferentie of congestie) deze op te heffen.

Vergelijkbaar met de verstoringen die tegenwoordig worden ondervonden bij gebruik van de 2,4 GHz band voor WiFi, wordt verwacht dat in een vergunningvrije 1800 MHz en 2100 MHz band onderlinge verstoringen zullen ontstaan indien toepassing hiervan een grote vlucht neemt. Dergelijke onderlinge verstoring kan ontstaan bij het gebruik van meerdere onafhankelijke pGSM / pLTE systemen in elkaars nabijheid (b.v. in panden of bedrijfsterreinen met meerdere, separate bedrijven, of aangrenzende bedrijfsterreinen).

Daarmee ontstaat een investering risico voor de gebruikers van dergelijke oplossingen, naast het operationele risico van onvoldoende functioneren (betrouwbaarheid, beschikbaarheid, capaciteit, kwaliteit).

In tegenstelling tot pGSM, waar onderlinge frequentie coördinatie tussen netwerken in theorie de kans op interferentie relatief eenvoudig kan beperken, gebruikt pLTE een enkele frequentie (single carrier network). Om er voor te zorgen dat interferentie zo veel mogelijk wordt voorkomen, zullen voor pLTE netwerken afspraken moeten worden gemaakt tussen deze netwerken over de specifieke configuraties. Die afspraken zijn o.a. op zendvermogens en onderlinge signaal niveaus, Demodulation Reference Signals (DM-RS) en/of Physical Random Access Channel (PRACH). Verder kunnen specifieke features zoals

Coordinated Multi-Point transmission/reception (CoMP) en Further enhanced Inter-Cell Interference Coordination (FeICIC) worden ingezet, vooropgesteld dat deze in de netwerkkapparatuur beschikbaar (en betaalbaar) zijn.

Het maken van afspraken ten aanzien van deze functies vergt veel kennis, tijd, en onderling vertrouwen tussen de partijen die de afspraken moeten maken. Dit maakt het verkleinen van de kans op interferentie en het oplossen daarvan aanzienlijk moeilijker voor pLTE-netwerken, dan voor pGSM.

Technieken zoals WiFi, LTE-LAA en MulteFire, beschikken over methoden ter voorkoming van onderlinge verstoringen zoals Listen Before Talk (LBT). Het invoeren van dergelijke methoden t.b.v. pLTE systemen zou diverse aanpassingen vergen in de 3GPP standaard, wat alleen denkbaar is bij een wereldwijde toepassing. Aangezien Nederland tot u toe het enige land lijkt te zijn dat behoefte heeft aan dergelijke aanpassing bij vergunningvrije inzet van de 2100 MHz band, is het zo goed als uitgesloten dat dit zal gebeuren.

Het ontbreken bij standaard LTE van een LBT functionaliteit plus de noodzaak voor complexe configuratie afspraken tussen geografisch aangrenzende of overlappende netwerken vormen stevige hindernissen voor gebruik van vergunningvrij spectrum. Vergunningvrij gebruik zou immers moeten resulteren in eenvoud van gebruik, waardoor laagdrempelige innovatie kan ontstaan. LTE lijkt daar dus niet de juiste technologie voor te zijn.

Om de problematiek van onderlinge verstoring te kunnen beheersen, zou een beperkt of licht vergunning regime voor spectrum ten behoeve van private netwerken in gevoerd moeten worden, met daarin registratie van netwerk (configuratie) karakteristieken zoals hierboven aangegeven. Daarmee kunnen problemen door onderlinge coördinatie worden voorkomen. Ook kan een dergelijk licht regime mogelijkheden bieden om, in geval er toch verstoringen ontstaan, deze door tussenkomst van Agentschap Telecom op te lossen.

Omdat toch ook laagdrempelige toegang tot spectrum voor innovatieve toepassingen beschikbaar te houden, dient de huidige DECT guardband te worden gecontinueerd als vergunningvrije band. Daarmee ontstaat dan een keuzemogelijkheid voor private netwerken. De netwerken waar gegarandeerde beschikbaarheid en betrouwbaarheid vereist zijn, kunnen dan gebruik maken van een frequentieband waar een licht vergunning regime van toepassing is. Voor andere, minder kritische toepassingen, kan de vergunningvrije DECT guardband worden gekozen. Daarmee kunnen ook de huidige private netwerken in die band zonder aanpassingen in gebruik blijven.

6.4 Conclusie geschiktheid vergunningvrij

Om drie redenen lijkt een vergunningvrije frequentieband voor missie/bedrijfskritische netwerken niet geschikt te zijn:

- Zowel gebruikers als leveranciers, integrators en MNOs zijn van mening dat vergunningvrij spectrum niet kan voldoen aan de vereiste betrouwbaarheid, beschikbaarheid, capaciteit en kwaliteit.
- Vergunningvrij spectrum veroorzaakt een hoger investeringsrisico, omdat er geen maatregelen beschikbaar zijn om, in geval van verstoringen, b.v. bij interferentie, deze op te heffen.
- Gebruik van standaard 4G LTE technologie heeft geen LBT (Listen Before Talk) functionaliteit, en vereist daardoor gedetailleerde coördinatie afspraken tussen netwerken onderling, waardoor

de noodzaak tot een (evt. licht) vergunning regime ontstaat. Een coördinatie proces vergelijkbaar met “cross-border coördination⁶” lijkt noodzakelijk.

De doelstelling van een licht vergunning regime is het voorkomen van onderlinge verstoringen, bijvoorbeeld op basis van verplichte uitwisseling van netwerk karakteristieken. En het moet mogelijkheden bieden om, in geval er toch verstoringen ontstaan, deze door tussenkomst van AT Agentschap Telecom op te lossen.

⁶ Cross-border coördination is het proces waarbij nationale spectrum regelgevers en MNOs afspraken maken ter voorkoming van onderlinge interferentie tussen MNO radionetwerken aan weerszijden van de landsgrenzen.

7 VAN INDOOR NAAR CAMPUS GEBRUIK

7.1 Achtergrond

In de uitvraag voor dit onderzoek voor EZ, wordt gesproken over het vergunningvrij beschikbaar stellen van 2x10 MHz in de 2100 MHz band voor *mobiele communicatie*. In de meer specifieke vraagstelling is dit daarna verbijzondert tot *in pandig* dataverkeer.

Uit de diverse interviews voor dit onderzoek, evenals uit de voorgaande ervaring van Strict, blijkt evenwel dat naast in pandig gebruik, de 1800 MHz DECT guardband ook is ingezet voor outdoor – campus gebruik. Voorbeelden daarvan zijn (industriële) bedrijfsterreinen en zorglocaties met meerdere kleinschalige, verspreid liggende woongelegenheden. Naar de toekomst toe voorzien meerdere geïnterviewde partijen dat dergelijk campus gebruik gewenst of zelfs essentieel is. Daarbij moet ook gedacht worden aan vervanging van PMR/PAMR, zoals huidige TETRA netwerken. Voor mogelijke inzet van de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band zal deze vorm van gebruik dus ook moeten worden gezien.

1.1 Radiodekking

Voor een goede radiodekking over de gehele campus is het van belang een zo groot mogelijk linkbudget te realiseren, teneinde het aantal benodigde radiocellen te beperken. In eerste instantie zou dan gedacht kunnen worden aan het verhogen van het maximaal toegestane zendniveau. Hoewel de Nota Mobiele communicatie (Ref 12) alleen spreekt van laag vermogen gebruik in de 2100 MHz band, lijkt een redelijke aanname dat voor vergunningvrij gebruik een maximaal zendvermogen van +23dBm zal gelden. Dit is vergelijkbaar met de huidige norm voor de DECT guardband. Hogere zendvermogens zullen echter meer storing op andere netwerken kunnen veroorzaken. Dat lijkt onverenigbaar met een vergunningvrij regime.

Verder is niet zozeer het zendvermogen van belang, maar het beschikbare linkbudget of maximale padverlies. Dat is afhankelijk van factoren als zendvermogen, ontvanger gevoeligheid, interferentie marge, antenne configuratie, etc. Als dan bijvoorbeeld voor een private oplossing op basis van de 2100 MHz band gekozen zou worden ter vervanging van een 400 MHz TETRA netwerk, moet ook nog het extra verlies t.g.v. de hogere frequentie worden meegerekend om een vergelijking te kunnen maken met de huidige TETRA dekking situatie. En last but not least moet ook rekening gehouden worden met de noodzaak voor hogere signaal kwaliteit om de hoogste datasnelheden te kunnen realiseren. Dat leidt tot een lager beschikbaar linkbudget.

Om tot een goed onderbouwde aanbeveling m.b.t. gebruik van zendvermogens hoger dan +23dBm erop te kunnen komen, is nadere analyse nodig. Daarin kan een oplossing met b.v. 2x10 MHz in de 2100 MHz band vergeleken worden met het gebruik van de huidige DECT guardband, en met het gebruik voor PMR/PAMR oplossingen. Een dergelijke analyse valt echter buiten scope van de huidige onderzoeksopdracht.

8 ECOSYSTEEM

8.1 Definitie ecosysteem

Onder een ecosysteem verstaan we een verzameling van hardware, software en diensten waarmee een veelheid van organisaties, en de klanten van die organisaties, in staat worden gesteld de gewenste functionaliteiten en diensten te leveren respectievelijk te gebruiken. Karakteristiek daarbij zijn het door elkaar heen kunnen gebruiken van componenten van diverse leveranciers (geen single source / vendor lock-in), en als gevolg van concurrentie en grote productie volumes, relatief lage kostprijzen. Een gevolg van een groot ecosysteem is ook dat er ruim voldoende kennis en ervaring met de betrokken technologie is.

Vertaald naar het gebruik van de 1800 MHz DECT guardband en ook voor de 2100 MHz band, betekent dit de beschikbaarheid van netwerkkapparatuur (netwerk core en radio basisstations) van meerdere leveranciers, plus beschikbaarheid van meerdere merken en types randapparatuur.

8.2 Beschikbaarheid apparatuur

Uit de voor dit onderzoek uitgevoerde interviews blijkt dat er voor de huidige 1800 MHz DECT guardband een beperkte keuze is voor netwerk core apparatuur (met 2 dominante leveranciers) en radio basis stations (picocellen, met 1 dominante leverancier). Het betreft daarbij apparatuur van gespecialiseerde partijen van beperkte omvang. Van de grote netwerk leveranciers is tot nu alleen pLTE apparatuur in Nederland aangetroffen van 1 partij.

Dit beperkte aantal leveranciers is naar alle waarschijnlijkheid gevolg van het feit dat de 1800 MHz DECT guardband alleen in Nederland, het Verenigd Koninkrijk en Zweden voor pGSM systemen mag worden gebruikt. Dergelijke apparatuur wordt verder alleen in specifieke niche markten zoals op cruiseschepen toegepast.

Voor de netwerk core apparatuur betekent dit waarschijnlijk dat de marktomvang te beperkt is om meer leveranciers toe te laten treden. De grote netwerkleveranciers beschikken niet over een voor pGSM geschikte kleine, enterprise netwerk core oplossing. Zij leveren vaak wel een oplossing voor pLTE.

Als gevolg hiervan is de concurrentie tussen leveranciers van pGSM netwerk core en ook van picocellen relatief beperkt. Met name de kostprijs van de picocellen wordt door de markt als te hoog gezien.

Voor pGSM randapparatuur is de situatie rooskleuriger, omdat er een veelheid aan mobiele toestellen op de markt beschikbaar is. Een beperking wordt echter al wel ondervonden voor de meer eenvoudige, en dus goedkope, 2G mobiele toestellen. Daarnaast is er een beperkt aanbod van ruggedized en/of ATEX toestellen zoals noodzakelijk in b.v. industriële omgevingen.

Voor nieuwe toepassingen kijkt de markt momenteel naar 4G LTE technologie, waarbij die dan in de 1800 MHz DECT guardband of de mogelijk nieuwe 2100 MHz vergunningvrije band moet worden toegepast. Voor een netwerk core oplossing zijn er bij een aantal gespecialiseerde leveranciers versies beschikbaar die LTE ondersteunen, waaronder ook de twee kleinere leveranciers die al pGSM netwerk cores leveren. Daarnaast zijn er bij de grote netwerkleveranciers ook (carrier class) netwerk core versies beschikbaar die geschikt zijn voor een enterprise omgeving. Het is echter niet duidelijk welke 3GPP netwerk release door

de verschillende oplossingen ondersteund wordt, en evenmin in hoeverre de feature set van de verschillende oplossingen vergelijkbaar is. VoLTE wordt nu langzamerhand ondersteund door sommige oplossingen, maar er is onduidelijkheid of de 3GPP Release 13 mission critical features al ondersteund worden. Van een recent uitgerold pLTE systeem in de DECT guardband is b.v. bekend dat daar zowel een OTT spraak (VoIP) als PTT oplossing is toegepast bij gebrek aan VoLTE. Eerste indicaties zijn verder dat het prijspeil van de netwerk core oplossingen van de grote netwerk leveranciers aanzienlijk hoger is dan bij de kleinere partijen, wat mogelijk te maken heeft met de uitgebreidheid van de beschikbare feature set.

Voor een pLTE radio netwerk blijken er diverse leveranciers van small / pico / femto cellen te zijn (de gebruikte terminologie blijkt hier niet eenduidig te zijn). Omdat de macro netwerken meer gebruik zijn gaan maken van dergelijke kleine cellen voor lokale uitbreiding van capaciteit en/of dekking van de macro netwerken, hebben meerdere leveranciers deze in hun product portfolio opgenomen, zie hiervoor b.v. het smallcell forum: <http://www.smallcellforum.org/membership/membership-listing>.

Een beperkte check van de momenteel beschikbare small cell producten laat zien dat de ondersteunde frequentiebanden veelal gerelateerd zijn aan het marketing & sales gebied van de betreffende leverancier. Zo zien we dat Amerikaanse apparatuur de 3,5 GHz CBRS band (band 42, 43) ondersteunt, maar dat b.v. de 2100 MHz band (band 1) niet altijd wordt ondersteund. Voor het samenstellen van een pLTE oplossing die in een vergunningvrij deel van de 2100 MHz band zou kunnen werken is dus nadere productanalyse nodig. Een punt van aandacht daarbij is voor een dergelijke systeemintegratie benodigde specifieke kennis van zowel de apparatuur als de LTE technologie.

Onderstaande tabel geeft een indicatie van de frequentiebanden die door de leveranciers van small cells / pico cellen worden ondersteund over hun apparatuur range, bestemd voor de Europese en Amerikaanse markten (zie Annex 2 voor de vertaling van band nummers naar frequenties):

Leverancier	Core	Radio	Frequentie banden																											
Airspan	x	x		2	3	4		7		9	10	12			17	20	25	26	28		38	40	41	42	43		66			
Comba		x		2	3			7	8												38	40								
Commscope		x	1	2	3	4		7			10	12	13		17		25													
Ericsson		x			3																			42	43					
Huawei	x	x	1		3		5		8							20					30	38	40							
IP access		x	1	2	3	4	5	7	8			12	13	14	17	20			28		38	40	41	42	43	48				
Nokia	x	x	1		3	4		7						14					28		38	40	41							

Figuur 11. Snapshot frequentiebanden ondersteund door small cells.

Voor de randapparatuur kan gesteld worden dat deze ruimschoots beschikbaar is voor pLTE netwerken omdat zowel de 1800 MHz als de 2100 MHz band reguliere 3GPP mobiele banden zijn (Band 3 resp. band 1). De huidige generaties mobiele randapparatuur (smartphones) bestrijken daarnaast ook een groot aantal andere frequentiebanden, zie onderstaande tabel:

	Merk	Model	VoLTE	LTE FDD Banden										LTE TDD Banden										TDD banden						
Consumer smartphones																														
1	Samsung	Galaxy S8	Ja	1	2	3	4	5	7	8		12	13	17	18	19	20	25	26	28	32		38	39	40	41				
2	Apple	Iphone 7 Plus	Ja	1	2	3	4	5	7	8		12	13	17	18	19	20	25	26	27	28	29	30		38	39	40	41		
3	OnePlus	3T (EMEA versie)	Ja	1		3		5	7	8							20							38		40				
4	Google	Pixel XL (World versie)	Ja	1	2	3		5	7	8		12	13	17	18	19	20	25	26	27	28		32		38	39	40	41		
5	Samsung	Galaxy S7	Ja	1	2	3	4	5	7	8		12		17			20					29	30		38	39	40	41		
6	Apple	Iphone 6	Ja	1	2	3	4	5	7	8		12	13	17	18	19	20	25	26	27	28	29	30		38	39	40	41		
7	LG	G5	Ja	1	2	3	4	5	7	8		12		17			20					29	30		38		40			
8	Nokia	6	Ja	1		3		5	7	8							20				28				38		40			
9	Sony	Xperia Z5	Ja	1	2	3	4	5	7	8		12		17			20								38		40			
10	Huawei	P10	Ja	1	2	3	4	5	7	8	9	12		17	18	19	20		26						38	39	40	41		
Rugged handhelds																														
1	Motorola	Lex10i	Ja			3	4	5	7	8							20		26	28										
2	Bittium	ToughMobile	Ja		2	3	4	5	7				13	14	17		20													
3	Bittium	ToughMobile B28	Ja	1	2	3	4	5	7	8				14			20			28										
4	Panasonic	Toughpad FZ (N1 & F1)	Ja	1		3																				40				
5	Ecom	EX-Handy 09	Nee	1		3			7	8							20								38					
6	Sonim	XP7	Nee	1	2	3	4	5	7	8		12		17																
7	DeWALT	md501	?	1		3			7								20			28					39	40	41			
Tablets																														
1	Apple	iPad Pro		1	2	3	4	5	7	8		11	12	13	17	18	19	20	21	25	26	27	28	29	30		38	39	40	41
2	Microsoft	Surface Pro 3			2		4	5	7				13		17															
3	Samsung	Galaxy Tab S3 TD LTE		1	2	3	4	5	7	8							20			28						38		40		

Figuur 12. Snapshot ondersteunde frequentiebanden – randapparatuur⁷.

Bovenstaande tabel is gebaseerd op randapparatuur zoals in Europa verkrijgbaar. Specifieke toestellen voor b.v. de Chinese markt zijn niet opgenomen, hoewel deze mogelijk andere frequentiebanden kunnen ondersteunen (b.v. band 33 en 34), en daarmee andere spectrum opties mogelijk zouden kunnen maken. Verwacht wordt echter dat import van dergelijke randapparatuur niet zal worden ondersteund door de Europese vertegenwoordiging van de betreffende fabrikanten, waardoor er onderhoud- en lifecycle problemen ontstaan voor de betreffende bedrijfsnetwerken en hun gebruikers.

Naast een veelheid van merken en typen mobiele toestellen voor consumenten, zijn daarvan ook een, nu nog weliswaar beperkt, aantal ruggedized en ATEX versies beschikbaar. Onze verwachting is dat het aanbod van ruggedized, ATEX of anderszins gespecialiseerde randapparatuur zal toenemen in de komende jaren. Dit omdat internationaal LTE ook voor OOV (Openbare Orde en Veiligheid) sector gaat worden toegepast (zie de operators EE in het Verenigd Koninkrijk en Firstnet in de USA), waardoor dit specifieke marktsegment zal groeien.

Hoewel de diverse componenten, benodigd om een pLTE systeem samen te stellen, in de markt beschikbaar zijn, blijft de noodzaak van goede systeemintegratie bestaan. Zo zien we b.v. dat ook door mobiele operators compatibiliteitstesten worden uitgevoerd om zeker te stellen dat diverse typen smartphones correct samenwerken met de VoLTE implementatie van die MNO netwerken. Vergelijkbaar zullen voor pLTE oplossingen integratie en verificatie nodig zijn voor invoering van b.v. MCPTT⁸ functionaliteit.

⁷ Het blijkt dat informatie m.b.t. ondersteunde frequentiebanden niet altijd consistent is tussen verschillende bronnen.

⁸ 'Mission Critical Push To Talk'. Analooq aan een (Tetra) portofoon of walkie-talkie.

De grote netwerk leveranciers lijken slechts beperkt geïnteresseerd te zijn in het bedienen van bedrijfseigen pLTE netwerken. Er zijn oplossingen beschikbaar waarin een LTE core op een fysiek klein processing platform wordt gerealiseerd, en waar 1 tot enkele picocellen of eNodeBs op kunnen worden aangesloten. Maar de focus van de grote leveranciers blijft hoofdzakelijk liggen op het bedienen van publiek mobiele netwerk operators. Op dit moment is het nog onduidelijk of deze marktfocus zal veranderen als gevolg van de aandacht die er binnen 5G is voor verticals.

8.3 Spectrum situatie buiten Nederland

De 2100 MHz band is binnen de EU als geharmoniseerde band gedefinieerd o.b.v. ECC Decision (06)01 (Ref 13) en EU Decision 2012/688/EU (Ref 14) voor gebruik door mobile/fixed communications networks (MFCN). Voor zover de onderzoekers bekend, wordt deze band binnen de EU alleen door MFCN gebruikt, en is Nederland het enige land met een voorstel om een deel als vergunningvrije band te gebruiken.

Ten tijde van het in Nederland beschikbaar maken van de DECT guardband voor vergunningvrij gebruik, werd alleen ook in het Verenigd Koninkrijk deze band beschikbaar gemaakt voor private netwerkoplossingen. Doelstelling was om een laagdrempelige mogelijkheid voor ontwikkeling van innovatieve toepassingen te bieden. Beargumenteerd kan worden dat door dit initiatief een nieuwe markt c.q. verbreding van een bestaande nichemarkt kon ontstaan. Het huidige voorstel om 2x10 MHz in de 2100 MHz band vergunningvrij beschikbaar te maken, zou eenzelfde werking kunnen hebben, en Nederland dus wederom een leidende rol kunnen geven.

8.4 Conclusie ecosysteem

Op basis van secties 8.1 t/m 8.3, kunnen de volgende conclusies worden getrokken m.b.t. een ecosysteem voor private netwerk oplossingen in een vergunningvrije deel van de 2100 MHz band:

- a) Op wereldschaal zijn er meerdere partijen die een pLTE oplossing of delen daarvan kunnen leveren, zowel voor netwerk core, radio als randapparatuur. In potentie zijn dit meer partijen dan de beperkte set die tot nu toe in Nederland zijn ingezet voor pGSM oplossingen.
- b) Het is onbekend of meer dan de huidige beperkte set leveranciers de Nederlandse markt willen en kunnen betreden. Een belangrijk aspect daarbij is het kennisniveau dat vereist is voor een goede integratie en configuratie van pLTE systemen. De complexiteit van pLTE is hoger dan die van pGSM, zeker als daar functionaliteit zoals access control, QCI, MCPTT etc. wordt ingezet. Gebrek aan kennis, en daardoor sub-optimale (of slecht) werkende pLTE systemen kan veroorzaken dat deze minder succesvol in de markt worden.
- c) Hoewel Nederland het enige land binnen de EU lijkt te zijn dat overweegt een deel van de 2100 MHz band vergunningvrij te maken, hoeft dit geen belemmering te geven omdat deze band al wordt ondersteund door een aantal leveranciers van picocellen. Door dit initiatief zou Nederland een voortrekkersrol kunnen spelen.
- d) In totaliteit lijkt het mogelijk dat in Nederland een pLTE ecosysteem ontstaat voor de 1800 MHz DECT guardband plus de voorgestelde 2100 MHz vergunningvrije band, vergelijkbaar met het huidige pGSM ecosysteem.

9 GEVOLGEN VOOR MNOS

9.1 Inleiding

De huidige 4 MNOs in Nederland met een 2G, 3G en/of 4G netwerk zijn in het kader van dit onderzoek gevraagd om een reactie te geven op het voornemen voor vergunningvrij gebruik van 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band. Op dit moment hebben 3 van de 4 operators de 2100 MHz band in gebruik. Het gebruik van deze band is tot eind 2020 gegund. De mobiele communicatie aanbodmarkt biedt aan de Nederlandse massamarkt een kwalitatief goede dienstverlening aan, die tot de beste van de wereld behoren. Deze marktsituatie is het gevolg de investeringsbereidheid van meerdere marktpartijen, de overheid die regulering opstelt en frequentiespectrum op basis van vergunningen beschikbaar heeft gemaakt, en consumenten- en zakelijke gebruikers die mobiele diensten afnemen. Dit heeft geleid tot een concurrerende massa markt met een aanzienlijke groei van de behoefte aan mobiele communicatie dienstverlening. Deze groei is in zowel het aantal abonnementen en mobiele devices als ook het verbruik van mobiel verkeer per device.

Door de zeer sterke groei van het mobiele communicatie verkeer, met name mobiele data, zullen operators de capaciteit van hun mobiele netwerken moeten gaan uitbreiden. De capaciteitsuitbreiding kan op verschillende manieren plaats vinden:

- Nieuwe technologie ontwikkelingen maakt het mogelijk om efficiënter gebruik te gaan maken van frequentiespectrum.
- Door extra (vergund) frequentiespectrum te gebruiken.
- Door een verdichting van het radionetwerk, meer antenne opstelplaatsen en achterliggende infrastructuur.

De capaciteitsuitbreiding zal in alle gevallen leiden tot hogere investeringen voor operators. De investeringsbereidheid van operators voor de langere termijn marktontwikkeling is van belang om de vooraanstaande positie van Nederland op de wereldmarkt te kunnen continueren.

Naast de investeringen in capaciteit zullen operators de komende jaren ook moeten investeren in de nieuwe technologie die op dit moment door leveranciers ontwikkeld wordt. Tijdens de 4G lifecycle zal de 5G lifecycle starten. Nieuwe technologie betekent behoefte aan extra frequentiespectrum om de migratie van oude naar nieuwe technologie mogelijk te maken. Op dit moment vindt er al een verschuiving bij operators plaats van 2G en 3G naar 4G technologie. Op termijn zal uitfasering van 2G en 3G plaats vinden, het mobiel dataverkeer is al volop aan het verschuiven van 3G naar 4G. De snelheid waarmee dit kan plaats vinden is echter voor operators nog onzeker. Het is ook afhankelijk van de bereidheid van gebruikers om nieuwe mobiele devices aan te schaffen die de laatste technologie ondersteunen.

De druk op schaars frequentiespectrum zal door de bovengenoemde ontwikkelingen de komende jaren voor operators alleen maar toenemen. De operators in Nederland geven aan dat Nederland achter loopt in vergelijking met andere (Europese) landen om voldoende spectrum ter beschikking te stellen. Het is voor operators belangrijk om aan de behoefte van de Nederlandse massamarkt te voldoen en ook in de toekomst een kwalitatief goede dienstverlening te kunnen blijven continueren.

In een recent onderzoek, zie rapport 'Research into linkages between the 700 MHz, 1452-1492 MHz and 2100 MHz bands' dd 7 October 2016, (Ref 15) uitgevoerd door Aetha Consulting wordt aangegeven dat uitgaande van het high traffic groeiscenario er in 2025 een additionele spectrum behoefte is in Nederland van 140 MHz bovenop de spectrum capaciteit die nu reeds voorzien is. Dit rapport stelt ook dat voor de in 2019 komende spectrumveiling, juist de 2100 MHz band het meest gewenst wordt door de MNOs.

De onzekerheid rond het op tijd beschikbaar krijgen van voldoende frequentiespectrum, de termijn waarover spectrum beschikbaar gesteld wordt en de kosten van spectrum, zijn belangrijke factoren die van invloed zijn op de investeringsbereidheid van MNOs in netwerken in Nederland.

9.2 Belang van 2100 MHz band

Op dit moment is de volledige 2100 MHz band in gebruik door 3 operators in Nederland. In totaal is 3x20 MHz beschikbaar. De operators gebruiken deze band op dit moment als capaciteitsspectrum, evenals de 1800 MHz, voor 3G en in toenemende mate voor 4G. Voor de toekomst wordt deze band als essentieel gezien om in de behoefte van de Nederlandse markt te kunnen blijven voorzien. Deze 3 operators geven aan geïnvesteerd te hebben in de radionetwerkinfrastructuur incl. antennes in de 2100 MHz band, indien er in totaal minder spectrum beschikbaar komt, betekent dit voor hen een aanzienlijke desinvestering.

De grootte van het belang van de 2100 MHz band, en de impact van de voorgestelde vergunningvrije 2x10 MHz, voor de 3 huidige operators moet echter genuanceerd worden beschouwd:

- Voor de komende velling van de 2100 MHz band, indien de hele band exclusief beschikbaar wordt gesteld voor de MNOs, bestaat de kans dat het totaal van 2x60 MHz wordt verdeeld over 4 of zelfs meer partijen indien er een nieuwe toetreders is. In dat geval is een reële mogelijkheid dat 1, 2 of zelfs 3 van de huidige vergunninghouders een deel van hun huidige spectrum zullen verliezen. Immers bij gelijke verdeling zijn er slechts 4 blokken van iedere 2x15 MHz beschikbaar. Of er ontstaat een verdeling van b.v. 2 blokken van ieder 2x20 MHz plus 2 blokken van ieder 2x10 MHz. Ook dan kan een aanzienlijke desinvestering ontstaan.
- Op de totale hoeveelheid spectrum vergund aan de MNOs is 2x10 MHz slechts een beperkt deel. De gevolgen van 2x10 MHz vergunningvrij in de 2100 MHz band zouden kunnen worden opgevangen door verhoogde inzet van b.v. reeds vergund spectrum in de ongepaarde 2600 MHz band, of de 2600 MHz gepaarde band. Ook kan verdichting van het bestaande netwerk zorgen voor hogere verkeerscapaciteit. Het is daarbij natuurlijk duidelijk dat blijvende inzet van de 2100 MHz band vanuit MNO perspectief de meest eenvoudige oplossing is.

Internationaal gezien is de 2100 MHz band een frequentieband die wereldwijd aan operators is toegewezen voor mobiele netwerken. Met het voornemen om een deel van deze band in Nederland vergunningvrij te maken, neemt Nederland wereldwijd een unieke positie in. Binnen de internationale standaardisatie organisatie 3GPP wordt de 2100 MHz band bestemd voor 5G voor gebruik door operators.

9.3 Vergunningvrij gebruik van 2100 MHz

De operators zien aanzienlijk meer nadelen dan voordelen bij het vergunningvrij maken van een deel van de 2100 MHz band. Ze zien voor zichzelf binnen het macro netwerk van de operator geen toepassing van vergunningvrij.

Het grote nadeel van vergunningvrij is dat er geen aanspraak gedaan kan worden op exclusief gebruik van de frequentieruimte en daardoor geen kwaliteitsgaranties gegeven kunnen worden aan afnemers.

Voor het toepassen van indoor voorziening zien de operators alternatieve oplossingen als veel effectiever in de vorm van gebruik van eigen vergunde frequenties. Hierbij kan ook gedacht worden aan multi-operator voorzieningen waarop meer dan een operator ingekoppeld kan worden. Doordat elke operator zijn eigen frequenties gebruikt zal er ook geen interferentie ontstaan.

De 2100 MHz band zou op zijn vroegst per 1 januari 2021 een vergunningvrij deel kunnen bevatten. De operators zijn van mening dat ruim voor deze datum al alternatieve oplossingen op de markt beschikbaar zullen zijn die aansluiten bij de marktbehoefte en geen gebruik maken van vergunningvrij spectrum in de 2100 MHz band. Met name wordt daarbij gewezen op de mogelijkheden van network slicing voor het bedienen van markt verticals, en wordt aangegeven dat al in 4G een deel van deze mogelijkheden beschikbaar komt.

9.4 Behoeft van kritische gebruikers

De operators onderkennen dat er in de markt behoefte is aan kritische/specifieke mobiele communicatiediensten waarbij de gebruikers service garanties geboden worden. Veel van de private netwerkoplossingen die er nu in de markt operationeel zijn, zien operators als een invulling van de behoefte van deze specifieke gebruikersgroepen.

Met de komst van 4G en in de nabije toekomst 5G netwerken wordt het voor operators mogelijk om te kunnen voldoen aan gebruikersbehoefte met service garanties. De operators verwachten dat de vraag naar private netwerkoplossingen met deze technologie uit het macronetwerk grotendeels ingevuld kan gaan worden. De verwachting is dat specifieke dienstverlening op basis van 4G operator netwerken voor kritische gebruikers in de loop van 2018 op de Nederlandse markt beschikbaar komt, ruim voor 1 januari 2021. De timing is mede afhankelijk van de concretisering van de vraag door gebruikersorganisaties/ de vraagzijde van de markt.

9.5 Gebruik van nieuwe technologie en vergunningvrij

Bij de operators in Nederland worden de nieuwe ontwikkelingen in de technologie, zoals LTE LAA, MulteFire of LWA, maar ook VoWiFi, onderzocht die vergund en vergunningvrij frequentiegebruik combineren. Afhankelijk van de marktbehoefte, de netwerkoplossing in combinatie met het beschikbaar komen van geschikte devices, verwachten de MNOs dat hiermee een aanbod gecreëerd zal worden.

9.6 Bevindingen vanuit MNO perspectief

De operators in Nederland zijn gezamenlijk zeer ontstemd over het voornemen om 2 x 10 MHz te onttrekken aan het vergunde spectrum van de 2100 MHz band en zien dit voornemen als een bedreiging voor de vooraanstaande positie in de mobiele markt die Nederland op wereldniveau in neemt.

De operators vinden dit onderzoek te kort schieten door het ontbreken van een kosten – baten analyse. Voor operators is efficiënt gebruik van spectrum een belangrijke factor die mee zou moeten wegen in het verkrijgen van spectrum.

Er zijn volgens de operators al voldoende spectrum mogelijkheden in Nederland voor private netwerken in de 1800 MHz DECT guardband, en de 2,4 GHz band, de 3,5 GHz en 5 GHz banden.

Om de marktwerking in de mobiele communicatiemarkt in Nederland ook op langere termijn voldoende concurrerend te houden, en de dienstverlening op een kwalitatief hoog niveau, is het op tijd beschikbaar stellen van voldoende vergund spectrum, in op wereldschaal gestandaardiseerde frequentie banden, essentieel. Daarbij is het ook van belang dat er duidelijkheid, zekerheid en voorspelbaarheid is m.b.t. de beschikbaarheid van spectrum en de daaraan verbonden voorwaarden.

De operators vinden dat de innovatie van de mobiele toepassingen in de Nederlandse markt met name met de nieuwe netwerk technologieën binnen operator netwerk zoals “network slicing” mogelijk gemaakt gaat worden. Met deze technologie wordt het mogelijk om specifieke eisen van “verticals” in te vullen.

9.7 Conclusies gevolgen voor MNOs

Vanuit MNO perspectief is het duidelijk dat de volledige 2100 MHz band vergund zou moeten blijven, gebaseerd op:

- Spectrum behoefte op basis van voorspelde groei van de generieke en specifieke mobiele communicatie behoefte in Nederland.
- Bij de toewijzing van relevant en zeer schaars frequentiespectrum moet het efficiënt gebruik van dit spectrum een belangrijke factor zijn.
- Internationale standaardisatie afspraken door CEPT / EU maakt dat in Nederland geen unieke situatie gaat ontstaan die afwijkt van de spectrum afspraken op Europees niveau.
- Investerings die gedaan zijn door de huidige operators die gebruik maken van de 2100 MHz band.
- Creëren van extra schaarste door de capaciteit van zeer bruikbaar spectrum te verkleinen. Dit zal consequenties hebben in de komende frequentieveiling in 2019.
- De specifieke kritische mobiele bedrijfscommunicatie behoefte in de Nederlandse markt denken de operators voor een belangrijk deel te kunnen invullen met het bieden van specifieke diensten op hun macro netwerken.
- De MNOs willen zelf vergunningvrij spectrum niet inzetten als deel van hun dienstverlening, omdat daarmee geen kwaliteit garanties kunnen worden gegeven voor de dienst.

Kanttekening daarbij is dat in de komende velling van de 2100 MHz band de mogelijkheid bestaat dat het totaal van 2x60 MHz wordt verdeeld over 4 of meer partijen. In dat geval is een reële mogelijkheid dat 1, 2 of zelfs 3 van de huidige vergunninghouders een deel van hun huidige spectrum zullen verliezen. Verder kan gesteld worden dat op de totale hoeveelheid spectrum vergund aan de MNOs 2x10 MHz slechts een beperkt deel is. De gevolgen van 2x10 MHz vergunningvrij in de 2100 MHz band zouden kunnen worden opgevangen door verhoogde inzet van b.v. reeds vergund spectrum in de ongepaarde 2600 MHz band of de gepaarde 2600 MHz band.

10 SPECTRUM ALTERNATIEVEN

10.1 Inleiding

In deze sectie wordt onderzocht welke vergunningvrij spectrum in Nederland beschikbaar is. Daarnaast welke voor 4G door 3GPP gedefinieerde banden in Nederland niet in gebruik zijn, om daarmee eventuele spectrum alternatieven te vinden. Criteria zijn daarbij dat een voldoende groot ecosysteem, met voldoende spectrum capaciteit om te kunnen voldoen aan de gebruikersbehoefte.

10.2 Huidig vergunningvrij spectrum

10.2.1 Overzicht

In Nederland is momenteel al vergunningvrij spectrum beschikbaar in de volgende frequentiebanden:

- 433 MHz
- 868 MHz
- 2,4 GHz
- 5 GHz
- 60 GHz

Onderzoeken uitgevoerd in Ref 16 Strict b.v., “Market Research License-Exempt Spectrum Netherlands v1.07”, April 2016, en Ref 17 Strict “Research into the License Exempt Spectrum of The Netherlands Version 1.0, February 26, 2015” zijn gebruikt voor onderstaande analyse voor deze banden.

10.2.2 433 MHz

De 433 MHz band wordt voornamelijk gebruikt door SRD devices zoals afstandsbediening van auto's en garagedeuren, en voor industriële toepassingen. De zeer beperkte beschikbare bandbreedte (433.05-434.79 MHz) maakt deze niet geschikt als alternatief voor de voorgestelde 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band.

10.2.3 868 MHz

De 868 MHz band wordt gebruikt door RFID en SRD apparatuur. De groei daarvan doet verwachten dat in deze band de kans op interferentie problemen wordt vergroot. Daarnaast wordt deze band op landelijke schaal gebruikt door LPWAN, met name door het KPN LoRa netwerk en het Sigfox netwerk. Zowel vanuit de LPWAN als RFID en SRD communities bestaat de vraag naar meer vergunningvrij spectrum, met name in de 915 – 921 MHz band; zie Ref 18.

Het huidige plus verwachte gebruik van deze band maakt deze niet geschikt als alternatief voor de voorgestelde 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band. Daarnaast zou gebruik voor breedband communicatie niet passen binnen de huidige en voorziene regelgeving, zie o.a. Ref 18.

10.2.4 2,4 GHz

In bedrijfsomgevingen werd in 2015 (Ref 17) op de 2,4 GHz band nog een goede performance gerealiseerd. In het later onderzoek van (Ref 17) wordt evenwel aangegeven dat in de 2,4 GHz band congestie aanwezig is binnen bedrijfsomgevingen, en er problemen (verstoring) zijn t.g.v. non-WiFi apparatuur.

Bedrijfsmatige gebruikers geven aan dat vergunningvrij spectrum intrinsieke problemen heeft m.b.t. ontbreken van gegarandeerde beschikbaarheid, capaciteit en performance. Omdat het aantal business critical toepassingen groeit, zoeken zij daarom naar alternatieven, zoals vergund spectrum. Door een aantal geïnterviewde partijen wordt aangegeven dat systemen in de vergunningvrije band worden uitgefaseerd en vervangen door oplossingen met hogere betrouwbaarheid en capaciteit.

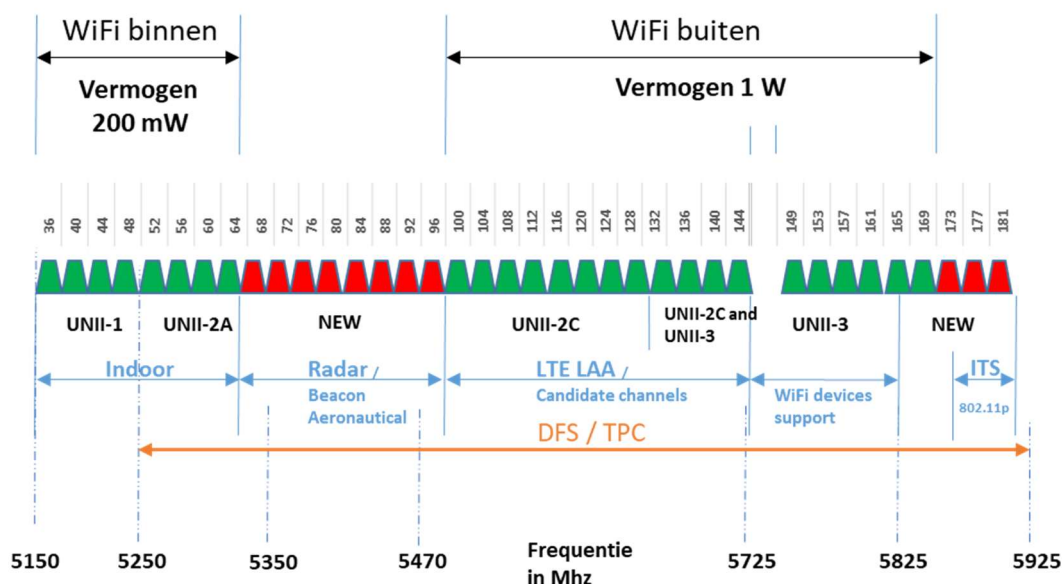
De combinatie van congestie en de gemelde ontoereikende beschikbaarheid, capaciteit en performance, maken deze band niet geschikt als alternatief voor de voorgestelde 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band.

10.2.5 5 GHz

De 5 GHz band blijkt nog beperkt in gebruik te zijn, hoewel de in Rapport (2) uitgevoerde outdoor metingen slechts een beperkt beeld geven t.g.v. de kortere reikwijdte van de 5 GHz signalen t.o.v. de 2,4 GHz signalen. Wel geeft (Ref 17) aan dat er zorgen zijn m.b.t. de mogelijk introductie van LTE-U en LTE-LAA omdat daardoor de capaciteit voor WiFi gebruik lager wordt.

De 5 GHz band omvat 5150-5350 MHz (max 200mW eirp, 10mw/MHz) en 5470-5725 MHz (max 1W eirp, 50mW/MHz), en 5725-5875 MHz (max 25mW eirp) voor vergunningvrij gebruik. In totaal is hier 605 MHz in deze band beschikbaar voor vergunningvrij gebruik. In deze band is alleen TDD gebruik toegestaan.

In deze 5 GHz band is aanzienlijk meer spectrum beschikbaar dan de voorgestelde 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band. Dat maakt het mogelijk om bredere kanalen van 20 MHz toe te passen, wat resulteert in aanzienlijk hogere verkeerscapaciteit. In principe zijn er 26 kanalen van 20 MHz TDD beschikbaar, zie de groen gekleurde kanalen in de figuur hieronder:



Figuur 13: 5 GHz band en kanaalnummers.

Deze kanalen kunnen gebruikt worden door WiFi, LWA, LTE-LAA, MulteFire en eventueel nog andere (IoT) toepassingen. Vooral de verwachting van LTE-LAA gebruik lag in 2016 nogal gevoelig in de publieke opinie,

omdat operators die eigen spectrum hebben, voor betaalde diensten gebruik gaan maken van 'ons' gezamenlijk WiFi spectrum. Toch is het wel de verwachting dat zowel WLAN netwerken t.b.v. laptops binnen gebouwen alsook operators meer van deze band gebruik gaan maken om de toenemende (kans op) congestie in de vergunde frequentiebanden tegen te gaan.

Voor een indoor 5 GHz netwerk worden nu typisch 4 kanalen gebruikt, maar ook meer komt voor. Een grote luchthaven in Nederland gebruikt ook meer dan 5 kanalen. De plannen van een groot ziekenhuis in Nederland zijn om 8 kanalen te gebruiken in de 5 GHz band. Daardoor zijn er op die locatie bijvoorbeeld $26-8 = 14$ kanalen van 20 MHz over voor andere netwerken. LTE netwerken hebben in principe maar 1 kanaal nodig, omdat deze frequentie wordt hergebruikt. Voor LWA is het lastiger, omdat daar WiFi technologie wordt gebruikt: voor een compleet netwerk zijn minimaal 4 eigen kanalen nodig.

De komende 3 jaar zullen netwerken zoals LTE-LAA en MulteFire nog maar beperkt worden toegepast. De toegepaste technologieën zullen allemaal netjes met elkaar om moeten gaan (zoals gebruik maken van LBT) maar zullen over een aantal jaren toch hetzelfde stukje spectrum willen gebruiken. Op elkaar wachten om te zenden (LBT) vertaald zich in congestie voor iedere gebruiker. De komende 3 tot 5 jaar zullen er naar verwachting nog voldoende 5 GHz kanalen beschikbaar zijn om de verschillende toepassingen naast elkaar te laten bestaan.

Naast de potentie voor congestie, lijkt het waarschijnlijk dat in deze 5 GHz band rekening gehouden moet worden met potentiële negatieve beïnvloeding van de WiFi signalen door de LTE carriers van LTE-LAA of MulteFire. In de literatuur is tot nu toe nog geen rapportage hiervan gevonden, echter wel voor de beïnvloeding van WiFi in de 2.4 GHz band door LTE in band 40, zie (Ref 19). Deze beïnvloeding wordt met name veroorzaakt door de relatief slechte selectiviteit van de WiFi ontvangers. Verwacht moet worden dat de situatie in de 5 GHz band niet anders zal zijn dan in de 2,4 GHz band.

In principe is er in de 5 GHz band voorlopig voldoende ruimte voor vergunningvrije mobiele netwerken. Er zijn echter wel sterke twijfels of hiermee voldoende betrouwbaarheid ontstaat voor missie- en bedrijfskritische toepassingen omdat beschikbaarheid, capaciteit en performance niet gegarandeerd kunnen worden. Dat het nu goed werkt is geen garantie voor de komende jaren; alleen zolang er voldoende spectrale ruimte beschikbaar is, kan deze band voor bedrijfskritische toepassing worden ingezet. Dat maakt deze band beperkt geschikt als alternatief voor de voorgestelde 2×10 MHz in de 2100 MHz band.

10.2.6 60 GHz

De 60 GHz band is hoofdzakelijk bedoeld voor gebruik als draadloze HDMI en draadloos docking station, met een zeer beperkt bereik (max 7-10 meter). De verwachting is dat leveranciers deze band als WiGig 60 GHz in hun WiFi apparatuur zullen gaan inbouwen. Op dit moment is daar nog zeer weinig apparatuur voor beschikbaar, zie b.v. <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-wigig>. Gezien het gestelde gebruiksdoel, is onduidelijk in hoeverre WiGig gezien kan worden als alternatief. Er is bijvoorbeeld nog niet bekend of mobiliteit ondersteund wordt, zoals geboden door een LTE oplossing. Nader onderzoek lijkt hier noodzakelijk alvorens te kunnen beoordelen of WiGig een bruikbaar alternatief is.

10.3 Andere spectrum alternatieven

Om te bepalen of er mogelijk andere spectrum banden ingezet zouden kunnen worden voor bedrijfsspecifieke private netwerken, ligt het voor de hand die banden te beschouwen die niet reeds voor MFCN in Nederland c.q. Europa zijn bestemd. Door daarbij uit te gaan van de frequentiebanden die

worden ondersteund door de momenteel beschikbare randapparatuur en eveneens door de beschikbare small cells / pico cells, ontstaat een beeld van realistische mogelijkheden. Onderstaande tabel geeft in geel aan welke banden dan in potentie mogelijk zijn, en in groen welke combinaties met small/picocellen momenteel mogelijk zijn:

	Merk	Model	VoLTE	LTE FDD Banden																TDD banden																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Consumer smartphones																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Figuur 14. Potentiele spectrum alternatieven.

Omdat de LTE markt zich nog steeds in een groeifase bevindt, mag niet uitgesloten worden dat in de toekomst meer frequentiebanden zullen worden ondersteund door de small/pico cellen en randapparatuur, waardoor nog meer spectrum opties kunnen ontstaan.

Voor het identificeren van een mogelijke alternatieve frequentieband lijkt het zinvol om er van uit te gaan dat deze o.b.v. Carrier Aggregation (CA) met de bestaande DECT guardband moet kunnen worden gebruikt om een hogere verkeerscapaciteit te kunnen realiseren. Dat betekent dat die banden interessant zijn die volgens de 3GPP TS 36.104 V14.3.0 met de 1800 MHz kunnen worden gecombineerd voor CA: band 1, 5, 7, 8, 11, 19, 20, 21, 26, 27, 28, 31, 32, 38, 40, 41, 46, 69.

10.3.1 Band 2: 1900 MHz band

Deze FDD band beslaat 1850 – 1910 MHz gepaard met 1930 – 1990 MHz. Echter kan deze niet als CA band worden gecombineerd met de band 3 DECT guardband. Er is ook overlap met band 3 zoals door de MNOs in gebruik. Verder wordt de 1880 - 1900 MHz gebruikt voor TDD gebaseerde DECT technologie, waardoor er een FDD – TDD co-existentie analyse nodig zou zijn. Band 2 is daarom niet geschikt als alternatief.

10.3.2 Band 4: 1700 MHz band

Deze FDD band beslaat 1710 – 1755 MHz gepaard met 2110 – 2155 MHz. Echter kan deze niet als CA band worden gecombineerd met de band 3 DECT guardband. Verder valt deze band in band 3 (1710-1780 MHz) zoals vergund aan de MNOs. Band 4 is daarom niet geschikt als alternatief.

10.3.3 Band 5: 850 MHz band

Deze FDD band beslaat 824 – 849 MHz gepaard met 869 – 894 MHz. Vanuit de 3PP standaardisatie gezien zou band zou tezamen met band 3 in CA mode kunnen worden gebruikt. Echter is dit spectrum gedeelte in Nederland niet beschikbaar: 870 – 876 MHz is toegewezen aan defensie, 876 – 880 MHz is toewezen aan GSM-R, en 880-915 MHz is de 900 MHz band zoals vergund aan MNOs. Band 5 is daarom niet geschikt als alternatief.

10.3.4 Band 13, 14, 17, 28: 700 MHz band

In de 700 MHz zijn diverse banden gedefinieerd in 3GPP:

- Band 13: FDD 777 – 787 MHz gepaard met 746 – 756 MHz
- Band 14: FDD 788 – 798 MHz gepaard met 758 – 768 MHz
- Band 17: FDD 704 – 716 MHz gepaard met 734 – 746 MHz
- Band 28: FDD 703 – 748 MHz gepaard met 758 – 803 MHz

Vanuit de 3PP standaardisatie gezien is alleen band 28 gedefinieerd voor gebruik tezamen met band 3 in CA mode.

Het spectrum deel 703 -733 MHz gepaard met 758-788 MHz is deel van een aantal spectrum opties zoals door beschreven in ECC Report 218 (Ref 20):



Fig. 15. 700 MHz optie B, ECC Report 281.

In Nederland wordt dit spectrum deel bestemd voor MNO gebruik, en in 2019 geveild. Dat betekent dat het deel 733 – 736 gepaard met 788 – 791, wat nog binnen band 28 valt, als alternatief voor de 2x10 MHz in de 2100 MHz zou kunnen worden gezien. Echter is er slechts 2x3 MHz beschikbaar, wat ruim onvoldoende is om de benodigde verkeerscapaciteit te kunnen leveren, zoals al aangegeven in hoofdstuk 5. Als CA niet als criterium wordt gehanteerd is gebruik van de banden 13, 14 en 17 niet mogelijk vanwege overlap met de 700 MHz spectrum indeling zoals weergegeven in figuur 15.

Daarnaast ligt het niet voor de hand om te kijken naar banden lager dan 1GHz, aangezien deze bij uitstek geschikt zijn voor uitrol en dekking over grote gebieden. De publieke operators hebben daar veel meer baat bij dan de gebruikers van private netwerken. De spectrum schaarste is daar het grootst.

De 700 MHz banden zijn dus niet geschikt als alternatief.

10.3.5 Band 25: 1900 MHz band

Deze FDD band beslaat 1850 – 1915 MHz gepaard met 1930 – 1995 MHz. Voor deze band gelde dezelfde overwegingen als voor band 2, en is dus niet geschikt als alternatief.

10.3.6 Band 30: 2300 MHz band

Deze FDD band beslaat 2305 – 2315 MHz gepaard met 2350 – 2360 MHz. Echter kan deze niet als CA band worden gecombineerd met de band 3 DECT guardband. Zie verder bij band 40.

10.3.7 Band 33 en 34.

Deze ongepaarde, TDD banden beslaan 1900 – 1920 MHz respectievelijk 2010 – 2025 MHz, en zijn na de verlenging van de 2100 MHz vergunningen in Nederland, niet meer aan de MNOs vergund. Uit het onderzoek is gebleken dat voor deze banden geen netwerkapparatuur en geen randapparatuur beschikbaar is, zodat deze twee banden niet kunnen worden benut.

10.3.8 Band 40: 2300 MHz band

Deze TDD band 40 omvat het frequentiebereik van 2300 - 2400 MHz. Vanuit de 3PP standaardisatie gezien zou deze band tezamen met band 3 door middel van CA kunnen worden gebruikt.

Omdat dit een TDD band is, kan hiermee goed worden ingespeeld op de vaak aanwezige behoefte voor een grotere uplink capaciteit dan downlink capaciteit, zoals al aangegeven in sectie 5.1. Verder is er in potentie voldoende spectrum ruimte om 2x20 MHz of zelfs meer i.p.v. de voorgestelde 2x10 MHz beschikbaar te maken.

Volgens het Nationaal Frequentie Register hebben zowel het deel 2300 – 2320 MHz als 2320 – 2400 MHz als bestemming Mobiele communicatie en zijn aangewezen voor Defensie respectievelijk voor Defensie & Veiligheid en Justitie. Volgens voetnoot 5.384A in het Nationaal Frequentie register, kan deze band ook bestemd worden als IMT band. Daarnaast wordt deze band gebruikt voor video verbindingen tijdens televisie evenementen (Electronic News Gathering and Outside Broadcasting - ENG/OB) en voor op afstand bestuurdde luchtvaartuigen, waarbij vergunningen worden verleend op volgorde van binnenkomst van aanvraag.

De CEPT EFIS database laat zien dat deze band is geharmoniseerd met NATO en NATO lidstaten voor militair gebruik, waarbij tevens diverse toepassingen aangegeven worden:

- Telemetry/Telecommand (military)
- MFCN
- PMSE
- Amateur
- Aeronautical telemetry
- Aeronautical military systems
- Land military systems
- Maritime military systems

Hoewel deze opsomming suggereert dat mobiel - MFCN - gebruik mogelijk zou zijn binnen Europa, ontbreekt detailinformatie hiervoor. Ref 21 "NATO JOINT CIVIL/MILITARY FREQUENCY AGREEMENT (NJFA) Extract for Public Disclosure 2014" geeft hier ook geen verdere duidelijkheid.

Sinds 2016 wordt door Agentschap Telecom een pilot uitgevoerd waarbij, naast het bestaande ENG/OB gebruik, mobiele camera's, b.v. voor beeldregistraties van evenementen op basis van LSA gebruik kunnen maken van dit spectrum. Als uitbreiding hierop zou onderzocht kunnen worden in hoeverre er binnen de 100 MHz van deze band ruimte is voor LSA gebaseerd gebruik door missie/bedrijfskritische private netwerken.

Daarbij zou onderzocht kunnen worden in welke mate het huidige ENG/OB gebruik beslag legt op het spectrum, en of LSA voldoende flexibiliteit maar ook beschikbaarheid en stabiliteit kan geven voor de verschillende gebruikersbehoeften. Vanzelfsprekend rekening houdend met de primaire militaire c.q. overheidsbestemming. Een overweging daarbij kan zijn dat de 2x5 MHz in de DECT guardband niet geraakt wordt in geval militair- of overheidsgebruik tijdelijk voorrang moet krijgen.

Een dergelijke nadere analyse valt echter buiten de scope van het huidige onderzoek.

Deze band 40 wordt al goed ondersteund door de randapparatuur en er zijn al enige small cells hiervoor beschikbaar. De mobiele industrie heeft aangegeven dat meer radioapparatuur voor deze band beschikbaar komt.

Band 40 lijkt daarmee een geschikt alternatief te kunnen vormen voor de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band.

10.3.9 Band 41: 2500 MHz band

Deze TDD band beslaat 2496 – 2690 MHz. Vanuit de 3PP standaardisatie gezien zou de band tezamen met band 3 in CA mode kunnen worden gebruikt. Echter is in Nederland band 7 = 2500 – 2570 MHz gepaard met 2620 – 2690 MHz vergund aan de MNOs. Band 41 is daarom niet geschikt als alternatief.

10.3.10 Band 42, 43: 3,5 GHz band

Band 42 is gedefinieerd in 3GPP als TDD in 3400 – 3600 MHz, en band 43 als TDD in 3600 – 3800 MHz.

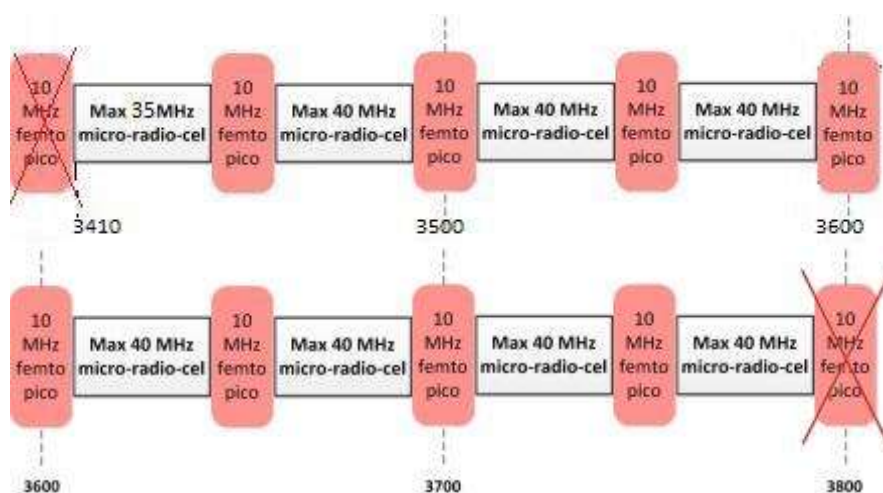
Omdat dit beide TDD banden zijn, kan hiermee goed worden ingespeeld op de vaak aanwezige behoefte voor een grotere uplink capaciteit dan downlink capaciteit, zoals al aangegeven in sectie 5.1. Verder is er

in potentie voldoende spectrum ruimte om 2x20 MHz of zelfs meer i.p.v. de voorgestelde 2x10 MHz beschikbaar te maken.

Binnen de huidige 3GPP standaardisatie zijn band 42 en 43 nog niet gedefinieerd voor CA met band 3. Gezien de totale omvang van het spectrum in deze twee banden, zou overwogen kunnen worden hier voldoende spectrum t.b.v. missie/bedrijfskritische private netwerken beschikbaar te maken en daarmee afhankelijkheid van CA te voorkomen.

In Nederland is de 3,5 GHz band beschikbaar gemaakt voor lokale breedband netwerken, waarbij gebruik beperkt is tot onder de lijn Amsterdam – Zwolle i.v.m. het satellietstation Burum.

Specifiek gaat het hier om de banddelen 3410 - 3500 MHz (band 42) en 3700 - 3800 MHz (band 43), verdeeld in blokken zoals hieronder weergegeven:



Figuur 16. Indeling 3.5GHz band (bron AT).

De 7 blokken van 40 MHz resp. 35 MHz zijn beschikbaar voor gebruik buitenshuis, de 10 MHz blokken alleen voor in pandig gebruik. De website van het Agentschap⁹ geeft aan dat in de Randstad er een grote vraag is naar vergunningen voor internetdiensten en videobewaking, waardoor in deze regio voor toepassingen buitenshuis er vrijwel geen frequentieruimte meer beschikbaar is.

Daarnaast ziet de Europese Commissie de 3,5 GHz band (3400 – 3800 MHz, LTE band 42 + 43) als strategisch (pioneer band) voor de uitrol van 5G in Europa, zoals aangegeven in Ref 22 en Ref 23, en verwacht dat lidstaten deze daarvoor beschikbaar zullen maken. Ook de RSPG heeft in Ref 24 aangegeven dat zij de 3,4 – 3,8 GHz band als de primaire band zien voor introductie van 5G gebaseerde diensten, zelfs al voor 2020.

Het is daarom aannemelijk dat in de Europese lidstaten grote delen van de banden 42 en 43 vergund gaan worden aan de mobiele operators ten behoeve van 5G uitrol. In Nederland zal waarschijnlijk een iets

⁹ <https://www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/zakelijk-gebruik/lokale-breedbandnetwerken/lokale-breedbandnetwerken-de-35-ghz-band>

andere situatie voorlopig blijven bestaan omdat het satellietstation Burum beperkingen in het gebruik van de volledige 3410 – 3800 MHz band veroorzaakt.

Gezien de omvang van deze frequentieband, valt het te overwegen om toch spectrum op nationaal niveau beschikbaar te maken voor gebruik in private missie/bedrijfskritische netwerken. Daarbij kan gedacht worden aan 40 of 80 MHz, om voldoende verkeerscapaciteit te kunnen realiseren, zie ook hoofdstuk 5.

Langs deze weg kan mogelijk ook een oplossing worden gevonden voor de bestaande gebruikers van deze band, zoals ook aangetroffen in de voor dit onderzoek uitgevoerde interviews. Bij afloop van de vergunning termijnen op september 2022 respectievelijk september 2026 zullen deze partijen alternatieve oplossingen moeten hebben.

Ingeval de markt dan niet een voor de gebruikers passende oplossing biedt, zal alternatief spectrum gevonden moeten worden waarmee opnieuw bedrijfseigen netwerk implementaties kunnen worden gerealiseerd.

Voor deze frequentieband zou verder afgewogen moeten worden of een vergunning regime of LSA regime de voorkeur moet hebben. In beide gevallen geldt de beperking van het voorkomen van verstoringen van het satellietstation Burum. Er zou nader onderzocht kunnen worden op welke wijze gebruik van dit spectrum in geheel Nederland mogelijk is zonder verstoring te veroorzaken voor het satellietstation Burum. Mogelijk bieden de door Agentschap Telecom uitgevoerde propagatiemetingen in deze band daarvoor voldoende aanknopingspunten.

Het Stratix rapport 'Overwegingen uitgifte 3,5 GHz spectrum' (Ref 25) uit 2014 gaf aan dat randapparatuur toen beperkt beschikbaar was. Die situatie is nog niet veel veranderd. Het markt snapshot weergegeven in figuur 11 (paragraaf 8.2) laat zien dat de in Europa beschikbare randapparatuur band 42 of 43 nog niet ondersteund. Er zijn al wel enkele small cells in deze banden beschikbaar. De verwachting is echter dat deze situatie relatief snel zal verbeteren als gevolg van de CBRS activiteiten in de USA. Zie ook sectie 10.2.11.

De combinatie van de huidige geografische beperking, het reeds vrijwel niet meer beschikbaar zijn van nieuwe frequentievergunningen in deze band binnen de Randstad en de te verwachten inzet als 5G pionier band in Europa, lijken inzet van deze 3,5 GHz band als alternatief voor het voorgestelde vergunningvrije deel van de 2100 MHz band te bemoeilijken.

Ondanks de aangegeven beperkingen, met name gezien de grootte van de frequentieruimte in deze banden, lijkt het echter wel zinvol een nadere analyse te doen van de mogelijkheden voor inzet van band 42 en 43 als alternatief voor de 2x10 MHz in de 2100 MHz band.

10.3.11 Millimeter banden

Binnen de 5G standaard wordt uitdrukkelijk gekeken naar inzet van frequentiebanden >24 GHz, de millimeter banden omdat daar grote bandbreedtes gerealiseerd kunnen worden, wat noodzakelijk is voor breedband toepassingen. Ook kennen deze hoge frequenties een beperkte reikwijdte, wat ze zeer geschikt maakt om lokaal hoge verkeerscapaciteit beschikbaar te maken. In principe zouden deze frequenties daarmee inzetbaar zijn voor indoor dekking, maar minder geschikt voor b.v. grotere bedrijfscomplexen en outdoor / campus gebruik. Toepassing van geavanceerde antenne array en beamtracking technieken zou daar verbetering in kunnen brengen. Als gevolg van de hoge complexiteit van dergelijke oplossingen is het onduidelijk of het kostenniveau hiervan acceptabel zal zijn voor bedrijfsmatige toepassingen.

In de Nota Mobiele Communicatie 2017 (Ref 12) heeft het Min. EZ. aangegeven voor de frequentiebanden boven de 6 GHz te streven naar beschikbaarstelling op een manier die gedeeld gebruik door zo veel mogelijk partijen mogelijk maakt. Vergunningsvrij lijkt daarbij een optie, maar ook een lichte vorm van vergunningsverlening, al dan niet in combinatie met een LSA-systeem.

Bij vergunningvrij gebruik kan de situatie ontstaan dat meerdere netwerken, zowel private als die van de MNOs, elkaar kunnen verstoren als gevolg van gebrek aan onderlinge coördinatie. Die situatie kan zich zeker voordoen bij outdoor / campus gebruik.

Zoals elders in dit rapport weergegeven, geven gebruikers juist aan dat voor missie/bedrijfskritische inzet de beschikbaarheid en kwaliteit van mobiele communicatie van belang is, en dat dergelijke verstoringen ongewenst zijn. Een beperkt vergunningsregime lijkt hier op zijn plaats om onderlinge verstoringen te voorkomen.

Per saldo lijken er op dit moment te veel onzekerheden te zijn om te kunnen bepalen of spectrum >24 GHz een goed alternatief zou kunnen zijn voor de nu voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band, en is nadere analyse nodig. Dit valt buiten de scope van het huidige onderzoek.

10.3.12 Spectrum sharing

Een alternatief voor het toewijzen van specifiek spectrum, vergunningvrij of onder een vergunning regime, voor gebruik door andere partijen dan MNOs, kan zijn het delen van spectrum tussen meerdere partijen. Daarbij kan het spectrum worden ingezet op basis van statische (b.v. geografisch) of dynamische (b.v. gebaseerd op tijdvensters of actuele spectrale bezetting – occupancy) parameters.

Voor missiekritisch of bedrijfskritisch gebruik zal dan wel voldaan moeten worden aan beschikbaarheid en kwaliteit parameters. Voor indoor gebruik lijkt dat vrij eenvoudig realiseerbaar door gebruik te maken van propagatie karakteristieken. Voor outdoor / campus type gebruik zal het lastiger zijn om voldoende scheiding te maken tussen gebruik door de originele spectrum vergunninghouder en de private netwerken.

Voor een mogelijk sharing model zou gekeken kunnen worden naar de huidige praktijk in de USA, waar het spectrum in de 3550-3700 MHz band in een 3-laags systematiek beschikbaar wordt gemaakt. Primaire gebruikers zijn US-defensie radarsystemen en Fixed Satellite Service. Deze hebben een hogere prioriteit dan nieuwe commerciële gebruikers. Deze partijen kunnen gebruik maken van een Priority Access vergunning, welke via een biedingsproces kan worden verkregen. Daarmee krijgen deze partijen bescherming tegen interferentie veroorzaakt door het 3^e gebruikers niveau, de General Authorized Access (GAA) gebruikers. Deze laatste categorie krijgt geen bescherming, en zijn bedoeld als low-cost startpunt voor een veelheid aan gebruikers.

In de USA lijkt het CBRS initiatief zeer positief te zijn ontvangen, b.v. is er door de industrie de CBRS Alliance opgericht; zie <https://www.cbrsalliance.org/#!>, en het rapport small cell forum SCF189-CBRS-shared-spectrum (Ref 26).

10.4 Conclusies spectrum alternatieven

Van de in figuur 9 gemarkeerde spectrum opties, blijken alleen band 40 (2300 MHz) en de combinatie van band 42 met band 43 (3400 – 3800 MHz) een mogelijk alternatief te kunnen bieden voor de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band. Daarnaast kan de 5GHz band als alternatief worden beschouwd, met de aantekening dat daar de nadelen gelden van vergunningvrij gebruik zoals beschreven in hoofdstuk 7.

Bij het bepalen van het toe te passen vergunning regime zal een afweging gemaakt moeten worden van de voor- en nadelen van vergund spectrum versus vergunningvrij spectrum versus toepassing van LSA.

	Network apparatuur beschikbaar?	Randapparatuur beschikbaar?	Niet in gebruik door MNO's?	Geen overige beperkingen?	Nader onderzoek?
LTE FDD Band 2 - 1900 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 4 - 1700 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 5 - 850 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 13 - 700 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 14 - 700 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 17 - 700 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 25 - 1900 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 28 - 700 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE FDD Band 30 - 2300 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE TDD Band 40 - 2300 MHz	✓	✓	✓	✓	✓
LTE TDD Band 41 - 2500 MHz	✓	✓	✓	✗	✗
LTE TDD Band 42 - 3600 MHz	✓	✓	✓	✓	✓
LTE TDD Band 43 - 3700 MHz	✓	✓	✓	✓	✓

Figuur 17. Conclusie frequentiebanden.

11 SYNTHESE ONDERZOEKSRESULTATEN

Op basis van de verschillende invalshoeken van het onderzoek die in de vorige hoofdstukken zijn beschreven, worden in dit hoofdstuk de belangrijkste resultaten samengevoegd en geanalyseerd met als doel de onderzoeksvragen te beantwoorden.

11.1 Onderzoeksvragen

De vraag is of de 2 x 10 MHz in de 2100 MHz band voldoende is om in de groei van het inpandige dataverkeer en de daarmee samenhangende ontwikkelingen in technologie te voorzien. Deze centrale vraag kan worden uitgesplitst in 3 samenhangende onderzoeksvragen:

1. Door welke partijen en voor wat voor soort diensten en toepassingen wordt de thans voor vergunningvrij gebruik beschikbare 2 x 5 MHz in de 1800 MHz daadwerkelijk gebruikt? In hoeverre zijn deze diensten en toepassingen een aanvulling gebleken op het overige aanbod in de markt?
Wat zijn de voordelen voor de gebruikers van het vergunningvrij maken van 2 x 10 MHz in de 2100 banden en wat zijn de gevolgen voor de mobiele operators om dit spectrum niet exclusief te kunnen verwerven, rekening houdend met de continuïteit van het bestaande gebruik in de 2100 MHz band?
Zijn er bij het bestaande vergunningvrije gebruik nog uitdagingen/vraagstukken waarin de overheid een rol kan spelen anders dan het beschikbaar stellen van additionele frequentieruimte?
2. Wat zijn de voorziene ontwikkelingen in zowel het gebruik van private netwerken als ook de toegepaste technologie?
3. Is de 2 x 10 MHz in de 2100 MHz voldoende gelet op de voorziene vraag en de ontwikkeling van de technologie? Zo nee, welke frequentieruimte zou hiervoor een oplossing kunnen bieden?

Gedurende de uitvoering van het onderzoek hebben de onderzoekers nog een onderzoeksvraag toegevoegd:

4. Is het voornemen van het ministerie van Economische Zaken om 2x10 MHz in de 2100 MHz te bestemmen voor vergunningvrij gebruik aan te bevelen? Kijk hierbij naar vergunningvrij gebruik en mogelijk alternatieve frequentiebanden en technologieën die de komende periode op de markt beschikbaar komen.

11.2 Beantwoording vraag 1. Huidige situatie en voornemen 2100 MHz

11.2.1 Evaluatie gebruik van de 1800 MHz (DECT-guardband)

In Nederland is in de afgelopen jaren een markt ontstaan van vraag en aanbod van private mobiele netwerken vanaf het moment dat door het ministerie van Economische Zaken de DECT guardband (2x5MHz in de 1800 MHz) als vergunningvrij frequentiespectrum is toegewezen. In totaal zijn naar schatting tussen de 500 en 700 netwerken in Nederland geïmplementeerd, vrijwel geheel op basis van 2G (GSM/GPRS) technologie.

De toepassing van deze pGSM netwerken is voornamelijk spraakcommunicatie. De zorgsector is een grootgebruiker van deze oplossingen. Het gebruik biedt een alternatief op het marktaanbod van MNOs.

In plaats van een best effort MNO dienst, biedt het gebruikers een hogere betrouwbaarheid, beschikbaarheid, betere dekking en de mogelijkheid tot maatwerk ten behoeve van hun kritische processen. Er is voldoende aanbod ontstaan in de markt om de vraag in te vullen.

De marktontwikkeling van pGSM mag als succesvol beschouwd worden aangezien er een marktvolume ontstaan is en gebruikers over het algemeen tevreden zijn over de oplossing.

Het aantal nieuwe implementaties van pGSM oplossing is op dit moment sterk dalend. De 2G technologie is aan het einde van de levenscyclus, randapparatuur is steeds minder beschikbaar. De nieuwe technologie die pGSM gaat opvolgen is LTE. Het aantal pLTE netwerken dat gebruik maakt van de DECT guardband is beperkt. LTE biedt veel mogelijkheden voor innovatieve toepassingen die staan of vallen met voldoende datadoorvoercapaciteit. De meeste gebruikers zijn terughoudend om LTE oplossingen te implementeren door de onzekerheid of er in de toekomst voldoende en betrouwbaar spectrum beschikbaar zal zijn om de mogelijkheden van de technologie en het netwerk volledig te kunnen benutten. De verwachting is dat de datadoorvoercapaciteit die op 2 x 5 MHz met LTE gerealiseerd kan worden niet langer toereikend zal zijn. Deze beperkte datadoorvoercapaciteit van het momenteel beschikbare spectrum is nu reeds bij een aantal grote gebruikers de showstopper voor innovatieve toepassingen van private oplossingen.

11.2.2 Voornemen 2100 MHz

Ecosysteem en 2100 MHz

Een belangrijk voordeel van gebruik van de 2100 MHz band voor private toepassingen is het bestaan van een ecosysteem in deze frequentieband. De volgende conclusies worden getrokken m.b.t. het ecosysteem voor privaat gebruik:

- Op wereldschaal zijn er meerdere partijen die een pLTE oplossing of delen daarvan kunnen leveren, zowel voor netwerk core, radio als randapparatuur. In potentie zijn dit meer partijen dan de beperkte set die tot nu toe in Nederland zijn ingezet voor pGSM oplossingen.
- Het is onbekend of meer dan de huidige beperkte set leveranciers de Nederlandse markt willen en kunnen betreden. Een belangrijk aspect daarbij is het kennisniveau dat vereist is voor een goede integratie en configuratie van pLTE systemen. De complexiteit van pLTE is hoger dan die van pGSM, zeker als daar functionaliteit zoals access control, QCI, MCPTT etc. voor wordt ingezet. Het risico hiervan is dat dergelijke pLTE oplossingen minder succesvol in de markt kunnen worden.
- Hoewel Nederland het enige land binnen de EU lijkt te zijn waar mogelijk een deel van de 2100 MHz band vergunningvrij gebruikt zou gaan worden, hoeft dit geen belemmering te geven omdat deze band al wordt ondersteund door alle randapparatuur en een aantal leveranciers van picocellen. Door dit initiatief zou Nederland een voortrekkersrol kunnen spelen.
- In totaliteit lijkt het mogelijk dat in Nederland een pLTE ecosysteem ontstaat voor de 1800 MHz DECT guardband plus de voorgestelde 2100 MHz vergunningvrije band, vergelijkbaar met het huidige pGSM ecosysteem.
- Naast de pure LTE oplossingen komen er alternatieven op de markt beschikbaar in de vorm van ecosystemen met LTE varianten als LTE-LAA en MulteFire. Deze oplossing zouden ook ingezet kunnen worden voor private netwerken.
- Gezien het huidige gebruik van de 2100 MHz band door MNOs adviseren de grote netwerkleveranciers om in een andere band vergunningvrij spectrum beschikbaar te stellen. Ook daar zijn ecosystemen beschikbaar.
- Afgezien van het gegeven dat de 2100 MHz band t.g.v. de komende veiling opnieuw kan worden ingedeeld, zijn er geen doorslaggevende redenen om voor deze band te kiezen voor missie/bedrijfskritische toepassingen.

Evaluatie keuze van 2100 MHz band en MNOs

Vanuit MNO-perspectief is het duidelijk dat de volledige 2100 MHz band vergund zou moeten blijven en toegewezen aan operators, gebaseerd op:

- Spectrum behoefte op basis van voorspelde groei van de generieke en specifieke mobiele communicatie behoefte in Nederland.
- Bij de toewijzing van relevant en zeer schaars frequentiespectrum moet het efficiënt gebruik van dit spectrum een belangrijke factor zijn.
- Internationale standaardisatie afspraken door CEPT / EU maakt dat in Nederland geen unieke situatie gaat ontstaan die afwijkt van de spectrum afspraken op Europees niveau;
- Investerings die gedaan zijn door de huidige operators die gebruik maken van de 2100 MHz band.
- Creëren van extra schaarste door de capaciteit van zeer bruikbaar spectrum te verkleinen. Dit kan consequenties hebben in de komende frequentieverdeling in 2019.
- De specifieke kritische mobiele bedrijfscommunicatie behoefte in de Nederlandse markt denken de operators voor een belangrijk deel te kunnen invullen met het bieden van specifieke diensten op hun macronetwerken.

Kanttekeningen daarbij zijn echter:

- Voor de komende velling van de 2100 MHz band bestaat de mogelijkheid dat het totaal van 2x60 MHz wordt verdeeld over 4 MNOs. In dat geval is een reële mogelijkheid dat 1, 2 of zelfs 3 van de huidige vergunninghouders een deel van hun huidige spectrum zullen verliezen.
- Op de totale hoeveelheid spectrum vergund aan de MNOs is 2x10 MHz slechts een beperkt deel. De gevolgen van 2x10 MHz vergunningvrij in de 2100 MHz band zouden kunnen worden opgevangen door verhoogde inzet van b.v. spectrum in de ongepaarde banden (1900 MHz, 2600 MHz) of de 2600 MHz gepaarde band.

11.2.3 Evaluatie vergunningvrij gebruik van spectrum

In het onderzoek is naar voren gekomen dat gebruikers specifieke eisen hebben aan betrouwbaarheid, beschikbaarheid en radiodekking die op dit moment niet door de MNOs aangeboden worden. De belangrijkste redenen, waarom gebruik van een vergunningvrije frequentieband voor missie/bedrijfskritische netwerken niet geschikt is, zijn:

- Zowel gebruikers als leveranciers, integrators en MNOs zijn van mening dat vergunningvrij spectrum niet kan voldoen aan de vereiste betrouwbaarheid, beschikbaarheid, capaciteit, kwaliteit.
- Vergunningvrij spectrum veroorzaakt een risico ten aanzien van investeringen, omdat er geen maatregelen beschikbaar zijn om, in geval van verstoringen, b.v. bij congestie, deze op te heffen.
- Gebruik van standaard 4G LTE technologie heeft geen LBT (listen before talk) functionaliteit, en vereist daardoor gedetailleerde coördinatie afspraken tussen netwerken onderling, waardoor de noodzaak tot een (evt. licht) vergunning regime ontstaat. Een coördinatie proces vergelijkbaar met “cross-border coördination” lijkt noodzakelijk.

De doelstelling van een licht vergunning regime is het voorkomen van onderlinge verstoringen, en mogelijkheden bieden om, in geval er toch verstoringen ontstaan, deze door tussenkomst van Agentschap Telecom op te lossen.

Naast vergund spectrum en vergunningvrij spectrum is ook LSA (License Shared Access) een oplossing variant. Met LSA is het mogelijk om meerdere partijen gebruik te laten maken van frequentiespectrum met als doel de efficiency van het gebruik van spectrum te verhogen, en daarbij de kans op onderlinge verstoringen voldoende laag te houden.

Bij het bepalen van het toe te passen vergunning regime voor frequentiespectrum t.b.v. bedrijfskritische netwerken zal een afweging gemaakt moeten worden van de voor- en nadelen van vergund spectrum versus vergunningvrij spectrum versus toepassing van LSA.

11.3 Beantwoording vraag 2. Voorziene ontwikkelingen

11.3.1 Ontwikkeling Vraag

Door de continue digitale transformatie bij bedrijven wordt mobiel dataverkeer steeds belangrijker voor zowel primaire als ondersteunende bedrijfsprocessen. In plaats van 'nice to have' wordt het steeds vaker 'need to have'. In een ziekenhuis wordt bijvoorbeeld op de operatieafdeling met behulp van een tablet de laatste status van een patiënt weergegeven. Deze data wordt mobiel aangeleverd. Indien deze informatie niet beschikbaar is, worden operaties afgelast. De behoefte van de markt is voor oplossingen die beschikbaar zijn in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021, wanneer de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band beschikbaar zou komen.

Een aantal gebruikers ziet het datagebruik dusdanig groeien dat zij van publieke naar private oplossingen willen. Bij hun huidige gebruik is het publieke net van de MNO prima in staat om al het verkeer af te handelen. Het risico van te grote netwerkbelasting en congestie op publieke netwerken groeit echter. Bij problemen in de mobiele dataverbinding kan de verstoring van het bedrijfsproces zodanig groot worden, dat gebruikers zich genoodzaakt zien een eigen netwerk te realiseren.

11.3.2 Ontwikkeling Aanbod

De grote netwerkleveranciers stellen dat de mogelijkheden die 5G en network slicing met zich mee brengen een alternatief kan bieden voor private netwerken.

De MNOs geven aan dat zij met zogenaamde 4,5G technologie specifieke diensten kunnen aanbieden aan gebruikers met specifieke/kritische mobiele communicatie behoefte. En niet hoeven te wachten tot 5G beschikbaar komt. Deze oplossingen zullen door de MNOs in het macronetwerk van MNOs gerealiseerd worden.

Daarentegen zien de op private netwerkoplossingen gespecialiseerde systeemintegratoren en leveranciers dat er nog steeds onduidelijkheid is of de MNOs passend diensten gaan aanbieden. De integrators geven aan dat zij verwachten de markt voor private netwerken te blijven bedienen met private LTE oplossingen.

De grote vraag voor de komende drie jaar is: kunnen gebruikers met specifieke mobiele communicatiebehoefte ervan uitgaan dat er in de markt oplossingen geboden worden die aansluiten op de behoefte. Deze gebruikers zullen zich in toenemende mate geplaagd zien voor de keuze tussen het investeren in de aanschaf en het onderhoud van een eigen netwerk of gebruik maken van de dienstverlening van de MNOs. In de huidige situatie kunnen beide opties in onvoldoende mate tegemoetkomen aan de wensen van de vraagkant van de markt. Voor de private oplossing is er behoefte

aan frequentiespectrum in een gebied waar een ecosysteem van oplossingen is. Voor de MNO oplossing is er behoefte aan specifieke mobiele communicatiediensten, afgestemd op de gebruikersbehoefte.

11.3.3 Ontwikkeling Technologie

De 3GPP standaardisatie organisatie bepaalt op wereldniveau de ontwikkelingen van de mobiele communicatietechnologie voor LTE 4G en 5G gebaseerd op vergund spectrum. LTE is de technologieontwikkeling voor de mobiele diensten van MNOs. Daarnaast is de LTE technologie ook de basis voor oplossingen van private netwerken.

Naast de LTE technologie standaardiseert 3GPP ook oplossingen die gebruik maken van zowel vergund als vergunningvrij spectrum zoals LWA en LTE-LAA.

Daarnaast zijn er initiatieven in de markt, geïnitieerd door groepen technologie leveranciers, die gebruik maken van vergunningvrij frequentiespectrum voor oplossingen zoals MulteFire.

Hierdoor komen er verschillende oplossingen op de markt beschikbaar voor zowel vergund als vergunningvrij spectrum, die ieder een eigen ecosysteem kunnen gaan realiseren. De vraag is wat het succes van deze verschillende alternatieve oplossingen op wereldniveau gaat worden.

11.4 Beantwoording vraag 3. Spectrum behoefte en alternatieven

11.4.1 Spectrum behoefte

Voor grotere organisaties, zoals grote ziekenhuizen en bedrijfsterreinen met enige honderden tot duizenden medewerkers, zal meer spectrum dan 2 x 5 MHz plus 2x10 MHz noodzakelijk zijn. Zeker gezien de digitalisering van bedrijfsprocessen, de verschuiving van vaste naar mobiele communicatie (spraak, data, video, internet), en de verwachting dat dataverkeer exponentieel blijft stijgen na 2021. Naar onze mening zal daarom i.p.v. 2x10 MHz, spectrum ruimte voor 2x20 MHz of 2x40 MHz respectievelijk 1x40 of 1x80 MHz bij gebruik van TDD, beschikbaar moeten worden gemaakt onder een licht vergunning regime.

Omdat voor dit onderzoek wordt uitgegaan van gebruik van 4G LTE technologie, waarbij naburige netwerken gebruik kunnen maken van hetzelfde spectrum mits er adequate coördinatie is (vandaar de noodzaak voor een licht vergunning regime), lijkt het niet noodzakelijk om separaat spectrum voor meerdere partijen te definiëren.

11.4.2 Mogelijkheden alternatieve frequentie banden

Een belangrijke randvoorwaarde bij de keuze van frequentiespectrum voor privaat gebruik is het bestaan van een ecosysteem in de betreffende frequentieband. In dit onderzoek is gekeken naar LTE frequentie banden die op wereldniveau gestandaardiseerd zijn en die nog niet in Nederland worden toegepast voor LTE. Er is onderzocht in hoeverre er een ecosysteem is van netwerkapparatuur en terminal apparatuur voor de betreffende frequentiebanden.

Van de onderzochte spectrum opties, blijken alleen band 40 (2300 MHz) en de combinatie van band 42 met band 43 (3400 – 3800 MHz) een mogelijk alternatief te kunnen bieden voor de voorgestelde 2x10 MHz in de 2100 MHz band. Daarnaast kan de 5GHz band als alternatief worden beschouwd, met de aantekening dat daar de eerdergenoemde nadelen gelden van vergunningvrij gebruik.

	Network apparatuur beschikbaar?	Randapparatuur beschikbaar?	Niet in gebruik door MNO's?	Voldoende frequentie ruimte?	FDD of TDD	Nader onderzoek?
LTE TDD Band 40 - 2300 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
LTE TDD Band 42 - 3600 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
LTE TDD Band 43 - 3700 MHz	✓	✓	✓	✓	TDD	✓
5 GHz						✓

Figuur 18. Conclusie frequentiebanden.

11.5 Beantwoording vraag 4. Bestemmen van 2100 MHz vs alternatieven

De onderzoekers vinden het voornemen van het ministerie van Economisch Zaken om vergunningvrij 2x10 MHz in de 2100 MHz band te bestemmen voor mobiele toepassingen, i.c. bedrijfskritische netwerken, niet aan te bevelen om de volgende redenen:

- Er zijn geen redenen anders dan de komende veiling om te kiezen voor de 2100 MHz band
- De spectrum behoefte voor privaat gebruik is groter dan de 2x10 MHz die voorzien is in de 2100 MHz band. Het is logischer om een frequentieband te zoeken waar potentieel meer spectrum beschikbaar gemaakt kan worden.
- Er zijn in het wereldwijde ecosysteem van LTE potentieel frequentiebanden die op dit moment nog niet in Nederland gebruikt worden voor mobiel gebruik.
- De vraag uit de markt naar oplossingen is in de nabije toekomst, en niet pas vanaf 2021.
- Het is denkbaar dat uit de potentiële frequentiebanden er mogelijkheden zijn om eerder dan 2021 gebruik te maken van deze frequenties.
- De marktpartijen vragen om spectrum met een (licht) vergunning regime, want achten vergunningvrij spectrum niet geschikt voor missie/bedrijfskritische toepassingen.
- De 2100 MHz band is in Nederland op dit moment in gebruik door MNOs. Zekerheid dat deze gehele band bestemd blijft voor gebruik door MNOs, resulteert in beperking van investeringsrisico's.

12 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

12.1 Conclusies

- De markt van vraag en aanbod van private mobiele netwerken in de 1800 MHz DECT guardband heeft zich de afgelopen jaren zeer succesvol ontwikkeld. Er zijn oplossingen in de markt ontstaan die voldoen aan de specifieke behoefte van de gebruikers, waarbij de zorgmarkt het meest tot ontwikkeling is gekomen.
- Er is een LTE ecosysteem in de markt voor de 2100 MHz band voor private toepassing.
- Vergunningvrij gebruik van spectrum als antwoord op de markt behoefte voor kritische communicatie wordt breed aan aanbodzijde en vraagzijde als ongewenst aangegeven. De markt vraagt bij toekennen van frequentiespectrum voor privaat gebruik om een lichte vorm van vergunning.
- De vraagzijde van de markt met specifieke kritische mobiele (breedband) communicatie behoefte is in Nederland aanwezig. Echter is de behoefte nog onvoldoende gearticuleerd zodat de aanbodzijde nog onvoldoende op de vraag is ingespeeld.
- De toekomst van de aanbodzijde van de markt is gebaseerd op LTE technologie. Deze technologie is zowel inzetbaar als dienstenoplossing op macronetwerken van MNOs als ook voor private netwerkoplossingen. Als spin-off van LTE zijn er ontwikkelingen als LTE-LAA en MulteFire die mogelijkheden bieden voor private toepassingen.
- De spectrum behoefte voor private toepassing is groter dan de 2x10 MHz die door het ministerie van Economische Zaken voorzien is. De spectrum ruimte die gezocht zou moeten worden is 2x20 MHz of 2x40 MHz bij gebruik van FDD, dan wel 1x40 of 1x80 MHz bij gebruik van TDD.
- Het voornemen om spectrum in de 2100 MHz te bestemmen voor ander gebruik dan door de MNOs wordt door de MNOs zeer sterk afgeraden.
- Er zijn alternatieve frequentiebanden (band 40, band 42, band 43) die voldoen aan de criteria voor private toepassing:
 - Voldoende groot LTE ecosysteem.
 - Niet in gebruik door MNOs in NL.
 - Licht vergunning regime.

12.2 Aanbevelingen

- De vraagzijde van de markt met behoefte aan kritische mobiele communicatie zal deze behoefte op korte termijn specifiek moeten maken om de aanbodzijde van de markt tot ontwikkeling te kunnen brengen. Faciliteer de concretisering van deze behoefte.
- De markt vraagt toekenning van frequentiespectrum voor privaat gebruik met een lichte vorm van vergunning. Kom de markt hierin tegemoet door frequentiespectrum buiten de 2100 MHz band beschikbaar te stellen met een lichte vorm van vergunning. Voer nader onderzoek uit naar LSA mogelijkheden.
- Bestem de volledige 2x60 MHz van de 2100 MHz band exclusief voor gebruik door MNOs.
- Voer nader onderzoek uit naar de alternatieve frequentiebanden (band 40, band 42, band 43) op:
 - Huidige gebruik en afweging van belangen.
 - Beschikbare capaciteit tot 2x40 MHz FDD c.q. 80 MHz TDD.
 - Moment van beschikbaar worden.

ANNEX 1 - REFERENTIES

1. Ministerie Economische Zaken, Offerteaanvraag Onderzoek naar vergunningvrij gebruik in de 2100 MHz band, 17 maart 2017
2. Staatscourant nr. 246 18 december 2008
3. Stratix consulting: Vergunningvrij gebruik voormalige DECT guardband, November 2010
4. Staatscourant nr. 25569 12 december 2012
5. Regeling gebruik van frequentieruimte zonder vergunning en zonder meldingsplicht 2015
6. Agentschap Telecom: 1800 MHz en mobiele elektronische communicatienetwerken met laag vermogen Spectrumonderzoek in de band 1875 – 1879,9 MHz, 9 mei 2017
7. P3: The 2017 P3 Connect Mobile benchmark in The Netherlands
8. Stratix: Wireless applications in Transport and Logistics Observations, trends, and potential vulnerabilities. March 2015
9. Ericsson Mobility Report (June 2017), <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-report-june-2017.pdf>
10. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021, June 6, 2017
11. Cisco The Zettabyte Era: Trends and Analysis, June 2017
12. Nota Mobiele Communicatie 2017
13. ECC Decision (06)01 The harmonised utilisation of the bands 1920-1980 MHz and 2110-2170 MHz for mobile/fixed communications networks (MFCN) including terrestrial IMT systems1Approved 24 March 2006 Amended 02 November 2012
14. IMPLEMENTING DECISION of 5 November 2012 on the harmonisation of the frequency bands 1 920-1 980 MHz and 2 110-2 170 MHz for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Union (notified under document C(2012) 7697) (Text with EEA relevance) (2012/688/EU)
15. Aetha: Research into linkages between the 700 MHz, 1452-1492MHz and 2100 MHz bands, 7 October 2016
16. Strict b.v.: Research into Market Usage of License-Exempt Equipment in the Netherlands Version 1.07 , April 11th, 2016
17. Strict b.v.: Research into the License Exempt Spectrum of the Netherlands Version 1.0, February 26, 2015
18. Addendum to CEPT Report 59
19. Wi-Fi Alliance: LTE band 40 desensitization of Wi-Fi® devices, Technical note, October 2014
20. ECC Report 218
21. NATO JOINT CIVIL/MILITARY FREQUENCY AGREEMENT (NJFA) Extract for Public Disclosure 2014
22. Europese commissie: 5G for Europe: An Action Plan. COM(2016) 588 final
23. ECC Roadmap for 5G Spectrum below 6 GHz, Eric Fournier Chairman, Electronic Communications Committee, 5G Spectrum Conference 2016
24. RSPG16-032 FINAL Strategic Roadmap Towards 5G for Europe
25. Stratix: Overwegingen uitgifte 3,5 GHz spectrum, november 2014
26. Smallcell forum SCF189-CBRS-shared-spectrum.

ANNEX 2 – 3GPP 4G FREQUENTIEBANDEN

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	F _{UL_low} – F _{UL_high}	F _{DL_low} – F _{DL_high}	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
6 (NOTE 1)	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9 MHz	1475.9 MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
15	Reserved	Reserved	FDD
16	Reserved	Reserved	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	
21	1447.9 MHz – 1462.9 MHz	1495.9 MHz – 1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz – 3490 MHz	3510 MHz – 3590 MHz	FDD
23 ¹	2000 MHz – 2020 MHz	2180 MHz – 2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
27	807 MHz – 824 MHz	852 MHz – 869 MHz	FDD
28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
29	N/A	717 MHz – 728 MHz	FDD (NOTE 2)
30	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
31	452.5 MHz – 457.5 MHz	462.5 MHz – 467.5 MHz	FDD
32	N/A	1452 MHz – 1496 MHz	FDD (NOTE 2)
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
42	3400 MHz – 3600 MHz	3400 MHz – 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz – 3800 MHz	3600 MHz – 3800 MHz	TDD
44	703 MHz – 803 MHz	703 MHz – 803 MHz	TDD
45	1447 MHz – 1467 MHz	1447 MHz – 1467 MHz	TDD
46	5150 MHz – 5925 MHz	5150 MHz – 5925 MHz	TDD (NOTE 3, NOTE 4)
47	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz – 5925 MHz	TDD (NOTE 7)
48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD

65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD (NOTE 5)
67	N/A	738 MHz – 758 MHz	FDD (NOTE 2)
68	698 MHz – 728 MHz	753 MHz – 783 MHz	FDD
69	N/A	2570 MHz – 2620 MHz	FDD (NOTE 2)
70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD ⁶
NOTE 1: Band 6, 23 are not applicable. NOTE 2: Restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured. The downlink operating band is paired with the uplink operating band (external) of the carrier aggregation configuration that is supporting the configured Pcell. NOTE 3: This band is an unlicensed band restricted to licensed-assisted operation using Frame Structure Type 3. NOTE 4: Band 46 is divided into four sub-bands as in Table 5.5-1A. NOTE 5: The range 2180 – 2200 MHz of the DL operating band is restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured. NOTE 6: The range 2010-2020 MHz of the DL operating band is restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured and TX-RX separation is 300 MHz. The range 2005-2020 MHz of the DL operating band is restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured and TX-RX separation is 295 MHz. NOTE 7: No BS requirement is defined for this band..			

Figuur 20. E-UTRA frequency bands. Bron: 3GPP TS 36.104 V14.3.0 (2017-03).