Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Interferentieonderzoek 700 MHz

Onderzoek m.b.t. vergunningen multibandveiling

Colofon

Aan	Agentschap Telecom
Van	Projectgroep
Nummer	1.0
Datum	April 2019

Copyright Agentschap Telecom ©

Inhoud

1 Compatibiliteit met DVB-T —4

2 Compatibiliteit met PPDR —10

3 Compatibiliteit met PMSE —12

4 Compatibiliteit met radioastronomie —16

5 Compatibiliteit met kabeltelevisie —23

6 Conclusies —24

Inleiding

Dit rapport geeft antwoord op de onderstaande onderzoeksvraag in het kader van de introductie van mobiele communicatie in de zogenoemde 700 MHz-band, betreffende de frequentiebanden 703 – 733 MHz (uplink) gepaard met 758 – 788 MHz (downlink):

"Zijn er voor de te veilen frequentiebanden aanvullende vergunningsvoorwaarden nodig om interferentie te voorkomen of beperken in de specifieke Nederlandse situatie? Het gaat dus om aanvullende voorwaarden aan hetgeen in de CEPT-studies al is aangegeven."

De volgende compatibiliteitsscenario's zijn van belang:

1. LTE vs. DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) in de band 470 – 694 MHz
2. LTE vs. PPDR (Public Protection and Disaster Relief) in de banden
   * 698 – 703 MHz (uplink) gepaard met 753 – 758 MHz (downlink)
   * 733 – 736 MHz (uplink) gepaard met 788 – 791 MHz (downlink)
3. LTE vs. PMSE (Programme Making and Special Events) in (delen van) de band 738 – 753 MHz
4. LTE vs. Radioastronomie in de band 1400 – 1427 MHz
5. LTE vs. kabeltelevisie in de frequenties
   * 702 – 734 MHz (tv-kanalen 50 t/m 53)
   * 758 – 790 MHz (tv-kanalen 57 t/m 60)

Hieronder zijn deze vijf compatibiliteitsscenario’s uitgewerkt.

1 Compatibiliteit met DVB-T

De volgende CEPT-rapporten en ETSI-norm zijn van belang voor het onderzoek naar compatibiliteit tussen LTE en DVB-T:

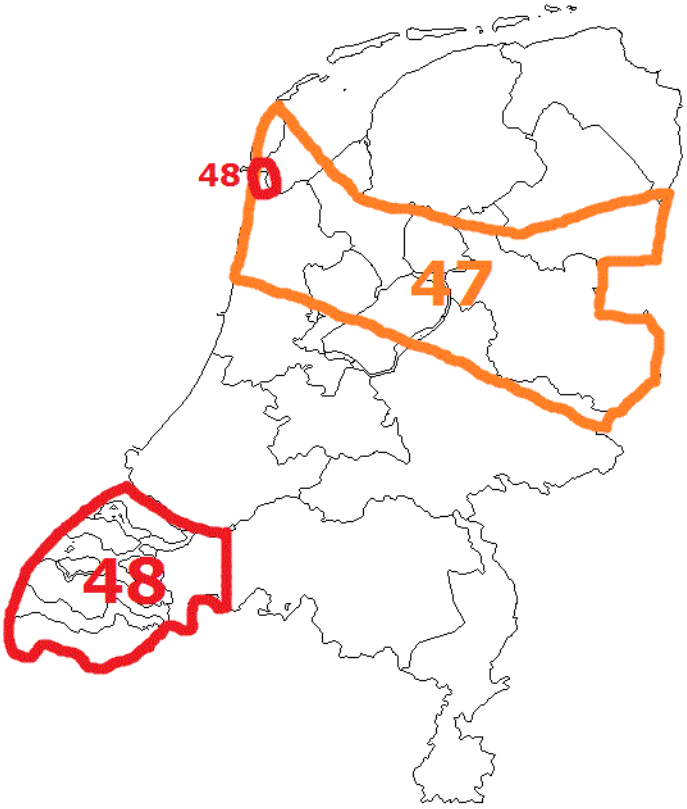
- CEPT Report 30 (2009) getiteld:
  Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on "The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union"

- CEPT Report 53 (2014) getiteld:
  Report A from CEPT to the European Commission in response to the mandate "to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"

- CEPT Report 60 (2016) getiteld:
  Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"

- ETSI EN 301 908-13 V11.1.2 (2017-07) getiteld:
  IMT cellular networks; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU;
  Part 13: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE)

LTE-mobieltjes kunnen storen op DVB ontvangers. Hoe dichter de frequenties van de LTE-mobieltjes en DVB ontvangstfrequentie bij elkaar liggen, hoe groter de kans op storing.
Vanaf 2020 vinden DVB-T(2) uitzendingen plaats in de frequentieband 470 – 694 MHz. De bovenste twee DVB-T kanalen vanaf het jaar 2020 zijn tv-kanaal 47 (678 – 686 MHz) en tv-kanaal 48 (686 – 694 MHz). Daarmee is er een guard band van minimaal 703 – 694 = 9 MHz tussen LTE en DVB-T.
De onderstaande figuur geeft aan in welke geografische gebieden in Nederland kanaal 47 (weergegeven in oranje) en kanaal 48 (weergegeven in rood) vanaf 2020 in gebruik zullen zijn voor DVB-T(2). Uiteraard kun je alleen storing op DVB-T krijgen in de geografische gebieden waar een frequentie voor DVB-T wordt gebruikt die door LTE gestoord kan worden.



Storing van LTE op DVB-T

Eventuele stoorgevallen van LTE op DVB-T zullen met name komen van de LTE-mobiel, aangezien de LTE-basisstations op relatief grote afstand in frequentie (minimaal 758 – 694 = 64 MHz) van de DVB-T (zend- en) ontvangstfrequenties verwijderd zullen zijn. Bovendien zal de DVB-T ontvangstantenne en de LTE-mobiel in het algemeen binnenshuis in gebruik zijn, wat een extra demping geeft van het signaal van het LTE-basisstation.

CEPT Report 30 (Executive summary) zegt het volgende over ECNs (Electronic Communication Network) terminals:

> *"An ECN terminal baseline requirement of -50dBm/8MHz for frequencies below 790 MHz is needed for protection of fixed TV reception. In the case of protection of portable TV reception, an ECN baseline of -65 dBm/8 MHz would be needed."*

(Bij het schrijven van CEPT Report 30 ging men er nog van uit dat DVB-T tot 790 MHz werkt, maar de conclusies voor DVB-T tot 694 MHz zijn vergelijkbaar).

CEPT Report 60 tabel 12 stelt het volgende:

> *"Unwanted emissions requirements for TS over frequencies occupied by broadcasting: -42 dBm/8 MHz in the frequency range 470-694 MHz.*
>
> *This value has been derived with regard to fixed DTT reception. Administrations who wish to consider portable-indoor DTT reception may need, on a case-by-case basis, to implement further measures at a*

national/local level. Examples of potential mitigation techniques which may be considered by administrations include using additional DTT filtering, reducing the in-block power of the TS, reducing the bandwidth of the TS transmissions, or using techniques contained in the non-exhaustive list of potential mitigation techniques given in CEPT Report 30."

ETSI EN 301 908-13 V11.1.2 (Harmonised ETSI Standard voor E-UTRA User Equipment) geeft de onderstaande 'spurious emission limits' in tabellen 4.2.4.1.2-2, 4.2.4.1.2-3 en 4.2.4.1.2-4. Alleen selecties voor de relevante frequentiebanden in dit rapport zijn weergegeven:

Table 4.2.4.1.2-2: General spurious emissions limits

Frequency range	Maximum level	Measurement bandwidth	Comment
30 MHz ≤ f < 1 000 MHz	-36 dBm	100 kHz	

Table 4.2.4.1.2-3: Spurious emission band UE co-existence limits (network signalled value "NS_01")

E-UTRA Band	Spurious emission						
	Protected band	Frequency range (MHz)			Maximum Level (dBm)	MBW (MHz)	Comment
28	Frequency range	470	-	694	-42	8	Notes 3, 7

NOTE 3: These requirements shall also apply for the frequency ranges that are less than Δf_{OOB} (MHz) in table 4.2.4.1.2-1 from the edge of the channel bandwidth.

NOTE 7: This requirement shall be applicable in the case of a 10 MHz E-UTRA carrier confined within 703 MHz and 733 MHz, otherwise the requirement of -25 dBm with a measurement bandwidth of 8 MHz applies.

Table 4.2.4.1.2-4: Additional spurious emissions limits (network signalled value "NS_01")

E-UTRA band	Protected Frequency range	Maximum Level (dBm)	MBW (MHz)
20	470 MHz ≤ f ≤ 790 MHz	-65	8 MHz
NOTE: The conformance shall be assessed using the measurement position placed at the following centre frequencies: 474 MHz, 586 MHz, 690 MHz, 754 MHz, 770 MHz and 786 MHz.			

Dit zijn de E-UTRA operating bands die in tabellen 4.2.4.1.2-3 en 4.2.4.1.2-4 gebruikt worden:

Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive
20	832 – 862 MHz	791 – 821 MHz
28	703 – 748 MHz	758 – 803 MHz

NS_x staat voor "Network signalled value "x", wat gedefinieerd is als "signalling value sent from the BS to the UE to indicated additional unwanted emission".

Het is van belang dat de "network signalled value" NS_01 van toepassing is in Nederland ter bescherming van DVB-T. De algemene spurious emission limiet van -36 dBm/100 kHz is niet streng genoeg, de limiet van -42 dBm / 8 MHz moet op zijn minst gelden (zie uitleg hieronder).

Tabel 4.2.4.1.2-4 bevat de meest strenge spurious emission limiet van -65 dBm/8 MHz onder de 790 MHz, maar deze geldt alleen voor User Equipment in de 832 – 862 MHz band. Die limiet geldt dus vanaf een frequentieafstand van 832 – 790 = 42 MHz.

Als je ervan uitgaat dat LTE-mobieltjes in de band 703 – 733 MHz een soortgelijk emissiemasker hebben als de LTE-mobieltjes in de 832 – 862 MHz band, dan zou een LTE-mobieltje in de 700 MHz maximaal -65 dBm / 8 MHz aan spurious emissions uitzenden op frequenties onder de 703 – 42 = 661 MHz. Dat komt grofweg overeen met DVB-T kanaal 44 dat in het frequentiebereik 654 – 662 MHz ligt.
De DVB-T kanalen na 2020 zijn kanalen 21 t/m 48. Met de aanname dat de LTE-mobieltjes in de band 703 – 733 MHz band een soortgelijk emissiemasker hebben als in de 832 – 862 MHz, zijn er geen problemen te verwachten met storing door LTE-mobieltjes in 703 – 733 MHz op de DVB-T kanalen 21 t/m 44.

De limiet van -65 dBm/8 MHz ter bescherming van DVB-T ontvangst is echter afgeleid m.b.v. worst case aannames, zoals:

* De DVB-T ontvanger bevindt zich op de rand van het verzorgingsgebied. In de meeste gevallen zal echter de DVB-T veldsterkte een stuk hoger liggen dan aan de rand van het verzorgingsgebied, waardoor ook het ongewenste LTE-signaal hoger kan zijn zonder merkbare storing te veroorzaken op het DVB-T signaal.
* Iemand gebruikt tegelijkertijd en in dezelfde kamer de LTE terminal via de 700 MHz en tv kijkt via DVB-T. De kans dat dat gebeurt zal in de praktijk niet zo groot zijn, en als het gebeurt is het meestal te herleiden tot het eigen gebruik van de LTE terminal. De storing kan iemand dan zelf oplossen door in een andere ruimte de LTE terminal te gebruiken, of door niet tegelijkertijd de LTE terminal te gebruiken en tv te kijken via DVB-T.

Het is wel vervelend als de LTE terminal in de 700 MHz de DVB-T ontvangst van de buren verstoord, maar dan is er al snel een 10 dB demping van een tussenmuur.

Een spurious emission limiet van -65 dBm/8 MHz voor LTE terminals in de band 470 – 694 MHz is vanwege bovenstaande punten onnodig streng. Een limiet van -42 dBm/8 MHz is wel nodig ter bescherming van DVB-T(2). Die limiet wordt ook voorgeschreven in het ‘Uitvoeringsbesluit (EU) 2016/687 van de Commissie’.

Overigens zijn er meer mogelijkheden om compatibiliteit te realiseren indien de operator die het DVB-T netwerk beheert ook de operator is die de laagste frequentieblokken in de 700 MHz verkrijgt in de veiling. In dat geval kan de operator de netwerkplanning van DVB-T en mobiele communicatiediensten in de 700 MHz op elkaar afstemmen. Hier kunt u ten tijde van het opstellen van dit onderzoeksrapport (november 2017) echter niet van uitgaan.

Het bovenstaande, gecombineerd met het feit dan het meest kritische DVB-T kanaal 48 in een dun bevolkt gebied in Nederland ligt (Zeeland), maakt het aannemelijk dat mogelijke storing van de LTE terminal op DVB-T2 in de praktijk in Nederland zal meevallen.

EBU onderzoek

Een EBU document met de titel "Technology Fact Sheet; Protection of DTT from LTE 700" [1] geeft de onderstaande figuur:

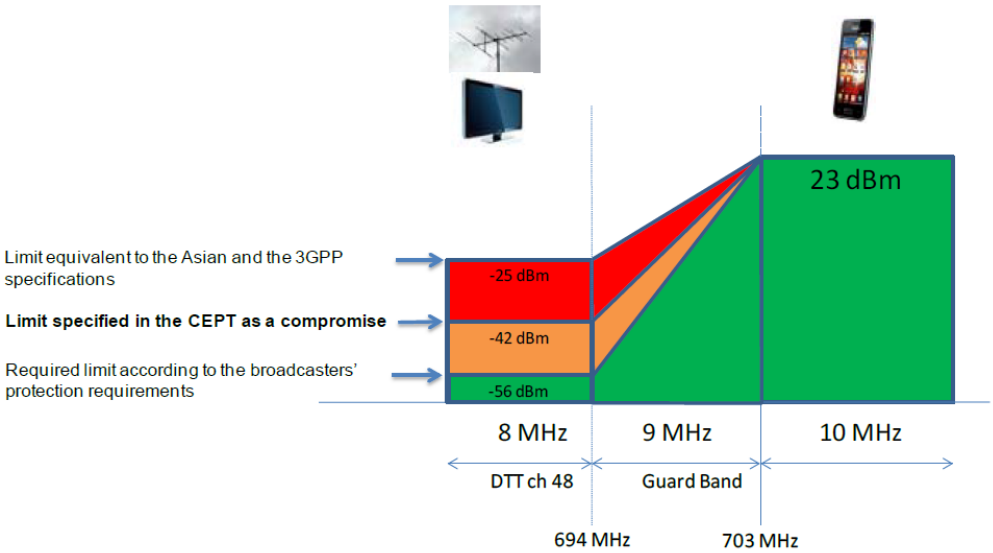


Figure 2: The different OOBE limits considered in the CEPT studies including the finally agreed level

De EBU, een belangenbehartiger van omroeppartijen in Europa, geeft zelf aan dat een LTE-stoorsignaal van -56 dBm/8MHz op de antenne van de DVB-T ontvanger voldoende is om DVB-T te beschermen.

Verder geeft dit document van de EBU aan:

> *"In summary, National Regulators should consider allocating 5 MHz blocks for LTE700 uplink at 703 MHz, implementing power limits to LTE700 UE in areas of DTT channel 48 use and setting up suitable mechanisms to provide the affected DTT viewers with rejection filters when needed. Accordingly, National Broadcasters and Broadcast Network Operators should make sure that their National Regulators are taking the adequate decisions in this respect before licensing and implementing the LTE700 mobile networks."*

Dit suggereert dat eventuele storingsgevallen met name op DVB-T kanaal 48 zullen plaatsvinden aangezien dat het meest kritische kanaal is (dat vanaf 2020 in Zeeland, een relatief dunbevolkt gebied, in gebruik zal zijn).

[1] Zie https://tech.ebu.ch/docs/factsheets/EBU%20Fact_Sheet_DTTB_protection_from_LTE700.pdf

Conclusies

- ⇨ Om te voorkomen dat LTE terminals portable indoor ontvangst van DVB-T in andere ruimtes verstoort als waar de LTE terminal zich bevindt, moeten LTE terminals in de band 703 – 733 MHz in elk geval voldoen aan de spurious emission limit van -42 dBm / 8 MHz in het frequentiebereik 470 – 694 MHz. Dit is geen vergunningseis, maar moet wel in de nationale regelgeving worden opgenomen, namelijk in de 'Regeling gebruik van frequentieruimte zonder vergunning en zonder meldingsplicht' [2].

- ⇨ Als de DVB-T ontvanger signalen boven de 694 MHz goed kan wegfilteren, zal deze beter bestand zijn tegen blocking door LTE terminals.

Storing van DVB-T op LTE

Citaat uit CEPT Report 53 (clause 4):
"With regard to blocking of DTT receiver by MFCN BS, additional isolation could be required between the MFCN base station and the DTT Receiver. One way to address this issue would be to improve the DTT adjacent channel rejection capability through enhancing receiving chains (e.g. by adding at the beginning of the receiver system a filter which reduces the unwanted emissions) where needed."

Een andere manier om storing van DVB-T basisstations op LTE basisstations te voorkomen is om de fysieke afstand ertussen te vergroten. Het wordt in elk geval afgeraden om DVB-T basisstations en LTE-basisstations op dezelfde locatie te plaatsen.

Conclusies

- ⇨ Eventuele storing van DVB-T basisstations op LTE basisstations is op te lossen door goede filtering in LTE basisstations te implementeren. Dit hoeft geen vergunningseis te zijn.

- ⇨ Het wordt afgeraden om DVB-T basisstations en LTE-basisstations op vlak naast elkaar op dezelfde locatie te plaatsen, omdat LTE-basisstations dan storing kunnen ondervinden.

[2] De huidige versie van deze regeling staat hier: http://wetten.overheid.nl/BWBR0036378/2016-12-28

2 Compatibiliteit met PPDR

De volgende CEPT- en ECC-rapporten zijn belang voor het onderzoek naar compatibiliteit tussen LTE en PPDR (Public Protection and Disaster Relief):

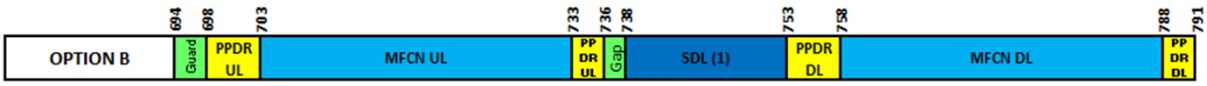
- CEPT Report 53 (2014) getiteld:
  Report A from CEPT to the European Commission in response to the mandate "to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"

- ECC Report 218 (2015) getiteld:
  "Harmonised conditions and spectrum bands for the implementation of future European Broadband Public Protection and Disaster Relief (BB-PPDR) systems"

- ECC Report 239 (2015) getiteld:
  Compatibility and sharing studies for BB PPDR systems operating in the 700 MHz range

In Nederland is het voornemen om PPDR in de volgende frequentiegebieden in te zetten:
* 698 – 703 MHz (uplink) gepaard met 753 – 758 MHz (downlink)
* 733 – 736 MHz (uplink) gepaard met 788 – 791 MHz (downlink)

Dat komt overeen met de zogenoemde option B uit ECC Report 218 voor PPDR, die in de onderstaande figuur is weergegeven:



Citaten uit CEPT Report 53:

> *"CEPT noted that LTE technology is expected to form the future platform to meet broadband PPDR needs", en*
> *"As broadband PPDR will use LTE technology, BS and TS parameters can be assumed to be the same as commercial MFCN in the co-existence analysis"*

Aangezien PPDR parameters gebruikt die vergelijkbaar zijn met LTE, is de compatibiliteit van LTE vs. LTE vergelijkbaar met de compatibiliteit tussen PPDR en LTE.

Een uitzondering hierop is het gegeven dat een LTE-netwerk een dichter netwerk heeft dan PPDR. Met andere woorden: een LTE-netwerk heeft gemiddeld een groter aantal basisstations per km^2 dan PPDR.

Op locaties waar een LTE-basisstation staat en geen PPDR-basisstation kan het LTE-basisstation een gat in de verzorging van PPDR veroorzaken.

ECC Report 239 stelt hierover:

"A limited increase of the terminal selectivity (from 33 to 41 dB) would enable the victim PPDR UE to operate in a sparse network when adjacent in frequency to a dense network. Terminal selectivity may potentially be increased through the introduction of improved sharp filtering that reduces interference from adjacent band."

Het is dus aan te bevelen dat PPDR terminals een betere dan standaard selectiviteit hebben, waardoor ze beter bestand zijn tegen blocking LTE-signalen op aangrenzende kanalen. Dit geeft overigens niet alleen extra bescherming tegen storing door LTE-basisstations, maar in het geval van PPDR-terminals in de band 698 – 703 MHz ook tegen storing door DVB-T zenders onder de 694 MHz.

Conclusies

- ⇨ De compatibiliteitsaspecten van LTE vs. PPDR zijn vergelijkbaar met LTE vs. LTE. Zolang PPDR en LTE basisstations opstelpunten delen is er geen serieuze storing te verwachten.
- ⇨ Op locaties waar LTE en PPDR-operators niet dezelfde opstelpunten gebruiken, kan een basisstation een lokaal gat in de verzorging veroorzaken van het andere netwerk. Deze situatie is vergelijkbaar met GSM-Rail vs. LTE in de 900 MHz.
- ⇨ Een verbeterde selectiviteit van PPDR-terminals kan de kans op storing aanzienlijk verminderen. Aangeraden wordt om de selectiviteit te verhogen van 33 naar 41 dB.
- ⇨ Ook kan afstemming tussen de LTE operator en PPDR operator in bijvoorbeeld de keuze van opstelpunten van basisstations de compatibiliteit tussen beide netwerken verbeteren.

3 Compatibiliteit met PMSE

De volgende CEPT- en ECC-rapporten zijn belang voor het onderzoek naar compatibiliteit tussen LTE en PMSE (Programme Making and Special Events):

- CEPT Report 53 (2014) getiteld:
  Report A from CEPT to the European Commission in response to the mandate "to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"

- CEPT Report 60 (2016) getiteld:
  Report B from CEPT to the European Commission in response to the Mandate "to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives"

- ECC Report 221 getiteld:
  Adjacent band compatibility between MFCN and PMSE audio applications in the 700 MHz frequency band

In Nederland wordt overwogen of PMSE ingezet kan worden in (delen van) de duplex gap: 738 – 758 MHz.

Storing van LTE op PMSE

In ECC Report 221 worden de volgende scenario's uitgewerkt waarin PMSE gestoord wordt door LTE (UE = User Equipment, BS = basisstation):

Scenario	Outdoor/ Indoor	Interferer	Victim	Separation Distance
2	Outdoor	LTE UE	PMSE	15 – 100 m
4		LTE BS	PMSE	
5	Mixed	LTE BS (outdoor)	PMSE (indoor)	100 – 350 m
7	Indoor	LTE UE	PMSE	5 – 50 m

Dit zijn de bijbehorende kansen dat PMSE gestoord wordt door LTE:

Scenario	PMSE Frequency [MHz] Unwanted / Blocking probability [%]							
	733.1 MHz	734.1 MHz	742.9 MHz	743.9 MHz	754.9 MHz	755.2 MHz	756.9 MHz	757.9 MHz
2	6.87 / 0	3.06 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0			
4	0 / 0.12	0 / 0.12	0 / 0.12	0 / 0.10	4.80 / 0.13			18.35 / 0.13
5	0 / 0.03	0 / 0.03	0 / 0.03	0 / 0.03	1.73 / 0.03			8.11 / 0.04
7	64.25 / 0	47.11 / 0	3.16 / 0	0.35 / 0	0.13 / 0			

In deze tabel is te zien dat er een guard band van een aantal MHz nodig is boven de 733 MHz om indoor gebruik van PMSE te beschermen tegen storing door indoor gebruik van LTE Terminals in de band 703 – 733 MHz (zie scenario 7).
Er is een guard band van ±1 MHz nodig onder de 758 MHz om outdoor gebruik van PMSE te beschermen tegen storing door LTE basisstations in de band 758 – 788 MHz (zie scenario 4)

Citaat uit CEPT Report 53:

> *The ECC Report 221 results indicate that for PMSE operation*
> - *a frequency separation of approximately 1 MHz from MFCN downlink and*
> - *1 to 10 MHz from MFCN uplink (depending on spatial distance between MFCN TS and PMSE receiver)*
>
> *are needed.*

Verder:

> *PMSE is able to find an operational channel with sufficient Quality of Service with the assumption of certain spatial distances between the PMSE equipment and the MFCN equipment. The most critical case is when the PMSE is close to a MFCN UE but if the separation distance is increased the probability of interference decreases accordingly.*
> *PMSE should be operated only if a check of quality of service in the radio environment is performed before use and results in sufficient quality. The PMSE setup indicates whether enough PMSE channels with no interference are available to guarantee the needed quality of service. This procedure is described in Annex 5 of the ECC Report 191.*

Conclusies

- ⇨ Als PMSE een guard band van ± 5-10 MHz boven de 733 MHz, en een guard band van ± 1 MHz onder de 758 MHz toepast, dan is de kans op storing door LTE signalen op PMSE klein genoeg om de duplex gap te gebruiken voor vergunningvrije PMSE toepassingen.

- ⇨ Er zijn geen additionele vergunningsvoorwaarden nodig voor LTE in de 700 MHz om PMSE te beschermen.

Storing van PMSE op LTE

In ECC Report 221 worden de volgende scenario's uitgewerkt waarin LTE gestoord kan worden PMSE (UE = User Equipment, BS = basisstation):

Scenario	Outdoor/ Indoor	Interferer	Victim	Separation Distance
1	Outdoor	PMSE	LTE UE	15 – 100 m
3		PMSE	LTE BS	
6	Indoor	PMSE	LTE UE	5 – 50 m

In de berekening van de stoorkansen wordt onderscheid gemaakt tussen PMSE handheld en PMSE body worn. Dit zijn de resultaten in ECC Report 221:

Kansen op PMSE handheld storing op LTE:

Scen ario	PMSE Frequency [MHz] Unwanted / Blocking probability [%]							
	733.1	734.1	742.9	743.9	754.9	755.2	756.9	757.9
1	Not simulated				0.53 / 9.73	0.58 / 17.51	0.64 / 23.92	0.61 / 70.78
3	0.57 / 0.24							
6	Not simulated				3.23 / 12.03	3.19 / 24.09	3.22 / 34.36	3.24 / 100.0

Kansen op PMSE body worn storing op LTE:

Scen ario	PMSE Frequency [MHz] Unwanted / Blocking probability [%]							
	733.1	734.1	742.9	743.9	754.9	755.2	756.9	757.9
1	Not simulated				0 / 0	0 / 0.6	0 / 3.02	0 / 99.33
3	0.12 / 0.01							
6	Not simulated				0 / 7.41	0 / 16.72	0 / 25.63	0 / 100.0

Hieruit blijkt dat een handheld PMSE apparaat meer storing op LTE veroorzaakt dan een body worn PMSE device. Om deze reden maakt CEPT Report 60 onderscheid in power restrictions in de duplex gap 738 – 758 MHz for PMSE handheld apparaten en PMSE body worn apparaten ter bescherming van LTE, als volgt:

Table 13: Power restrictions for handheld microphone

Frequency Range	e.i.r.p.	Measurement bandwidth	Reasoning
MFCN, PPDR and M2M uplink frequencies	-45 dBm(unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422 [5]
More than -4.2 MHz offset from MFCN or PPDR downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	19 dBm(in-block power)	200 kHz	Annex 2 of ECC Report 221 [6]
-4.2 to -2.8 MHz offset from MFCN or PPDR downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	13 dBm(in-block power)	200 kHz	
- 2.8 to 0 MHz offset from MFCN downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block (guard band)	guard band	-	
MFCN, PPDR downlink and SDL frequencies	-45 dBm(unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422 [5]

Table 14: Power restrictions for body worn microphone

Frequency Range	e.i.r.p.	Measurement bandwidth	Reasoning
MFCN, PPDR and M2M uplink frequencies	-45 dBm(unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422 [5]
More than -1.2 MHz offset from MFCN or PPDR downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block	19 dBm(in-block power)	200 kHz	Annex 2 of ECC Report 221 [6]
- 1.2 to 0 MHz offset from MFCN or PPDR downlink lower band edge or lower edge of the lowest SDL block (guard band)	guard band	-	
MFCN,PPDR downlink and SDL frequencies	-45 dBm(unwanted emissions)	200 kHz	ETSI EN 300 422 [5]

Conclusies

- ⇨ Als PMSE zich aan de power restrictions uit Table 13 en 14 van CEPT Report 60 houdt, dan is LTE voldoende beschermd. Dit houdt in dat er een frequentie-offset (guard band) van minimaal 2,8 MHz is t.o.v. LTE/PPDR downlink (UE ontvangstfrequentie) tussen PMSE en LTE of PPDR.

- ⇨ Dit leidt niet tot additionele vergunningseisen voor LTE, maar het is wel van belang dat de LTE basisstations goed kunnen filteren waardoor ze geen last hebben van blocking door PMSE apparaten.

4 Compatibiliteit met radioastronomie

De volgende bronnen zijn van belang voor het onderzoek naar compatibiliteit tussen LTE en radioastronomie:

- ETSI EN 301 908-13 V11.1.2 (2017-07) getiteld:
  IMT cellular networks; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU;
  Part 13: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE)

- ITU-R Recommendation P.525-3 (2016-09) getiteld:
  Calculation of free-space attenuation

- ITU-R Recommendation ITU-R RA.769-2 (2003) getiteld:
  Protection criteria used for radio astronomical measurements

- ITU-R Recommendation ITU-R P.1546-5 (2013-09) getiteld:
  Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz

Mobiele communicatie in de 700 MHz-band zal worden gerealiseerd d.m.v. basisstations in het banddeel 758 – 788 MHz en mobiele stations in het banddeel 703 – 733 MHz. De 2e harmonische van de LTE terminals in de frequenties 703 – 713,5 MHz kan leiden tot storing op de waarnemingen van ASTRON in de band 1400 – 1427 MHz in Westerbork. Hieronder wordt berekend welke ruimtelijke separatie rond Westerbork nodig is om radioastronomie te beschermen.

De geharmoniseerde norm EN 301 908 is van toepassing op deze apparatuur. Voor *spurious emissions* in de band 1400 – 1427 MHz is de limiet -30 dBm/MHz van toepassing. De vraag is nu in welke mate de ongewenste emissie*s* van de mobiele terminals kunnen storen op de waarnemingen van ASTRON.

Recommendation ITU-R RA.769-2 geeft de volgende protectiewaarden:

	Centre frequency (MHz)	Assumed bandwidth (MHz)	Power flux density (dB $\left(\frac{W}{m^2}\right)$)	Spectral power flux density (dB $\left(\frac{W}{m^2 \cdot Hz}\right)$)
Radio astronomy continuum observations	1413.5	27	-180	-255
Radio astronomy spectral-line observations	1420	0.020	-196	-239
Very Long Baseline Interferometry (VLBI) observations	1413.5	27 (aanname)	-136 (berekend)	-211

Het verschil tussen de power flux density (pfd) en spectral power flux density (spfd) kan als volgt berekend worden met de bandbreedte B:

pfd = spfd + 10·log(B)

pfd : power flux density ($\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right)$)
spfd : spectral power flux density ($\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{Hz}}\right)$)
B: bandbreedte (Hz)

De spectral power flux density is in feite de power flux density per Hz.
Als voorbeeld gebruiken we de bovenstaande formule om de eerste rij uit bovenstaande tabel te controleren:

-180 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right)$= -255 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{Hz}}\right)$ + 10·log(27000000) dBHz

Uit 10·log(27000000) = 74,3 volgt dat dit ongeveer klopt
(-255 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{Hz}}\right)$ + 74,3 dBHz = -180,7 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right)$)

Recommendation ITU-R P.525-3 (Calculation of free-space attenuation) geeft de volgende formule voor de relatie tussen de power flux density en veldsterkte:

S □ *E* – 145.8

S : power flux density ($\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right)$)
E : electric field strength ($\mathrm{dB}\left(\frac{\mu\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right)$)

Deze formule is in de rechter kolom van onderstaande tabel gebruikt om de spectral power flux density protectiewaarden om te rekenen naar veldsterkte in 1 Hz.

	Centre frequency (MHz)	Spectral power flux density ($\mathrm{dB}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{Hz}}\right)$)	Corresponding field strength ($\mathrm{dB}\left(\frac{\mu\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right)$) in 1 Hz *E* □ *S* + 145.8
Radio astronomy continuum observations	1413.5	-255	-109,2
Radio astronomy spectral-line observations	1420	-239	-93,2
Very Long Baseline Interferometry (VLBI) observations	1413.5	-211	-65,2

Om te berekenen op welke afstand van de mobiele terminal de bovenstaande veldsterktes ontstaan, moeten we eerst het spurious vermogen van de 2de harmonische in de band 1400 – 1427 MHz omrekenen naar 1 Hz.

De spurious limiet in dat frequentiebereik voor de mobiele terminal is -30 dBm/MHz. Stel dat dat het vermogen is dat de mobiele terminal daadwerkelijk uitzendt, dan is dit de omrekening van dat vermogen naar dBW / Hz:

Spurious emission limiet	-30 dBm / MHz
Omrekening van dBm naar dBW	-60 dBW / MHz
Omrekening van MHz naar Hz	-120 dBW / Hz

Om de separation distance te bepalen gebruiken we een realistisch propagatiemodel, Recommendation ITU-R P.1546-5. In de onderstaande figuur zijn de propagatiecurves uit die Recommendation weergegeven die gelden in het frequentiebereik 1000 tot 3000 MHz, en dus betrekking hebben op de band 1400 – 1427 MHz.

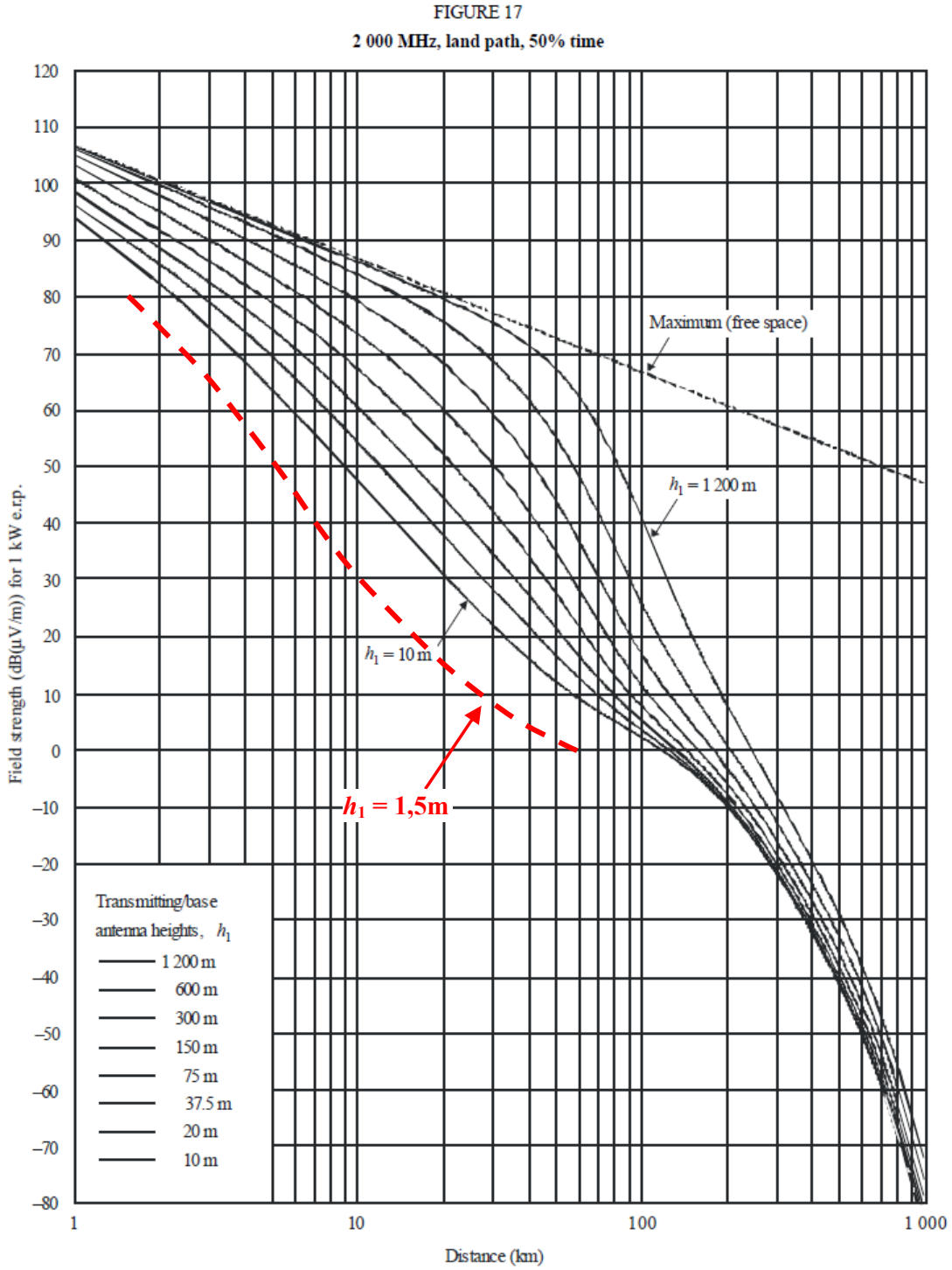
We nemen aan dat de mobiele terminal zich op 1,5 meter hoogte bevindt. Annex 5 paragraaf 9 uit Recommendation ITU-R P.1546-5 geeft de volgende twee formules om de correctie als gevolg van het hoogteverschil ten opzichte van 10 meter antennehoogte in een landelijke omgeving te bepalen:

Correction = $K_{h2} \log\left(\frac{h_2}{10}\right)$ dB (h_2 in m)

$K_{h2} = 3.2 + 6.2\log(f)$ dB (f in MHz)

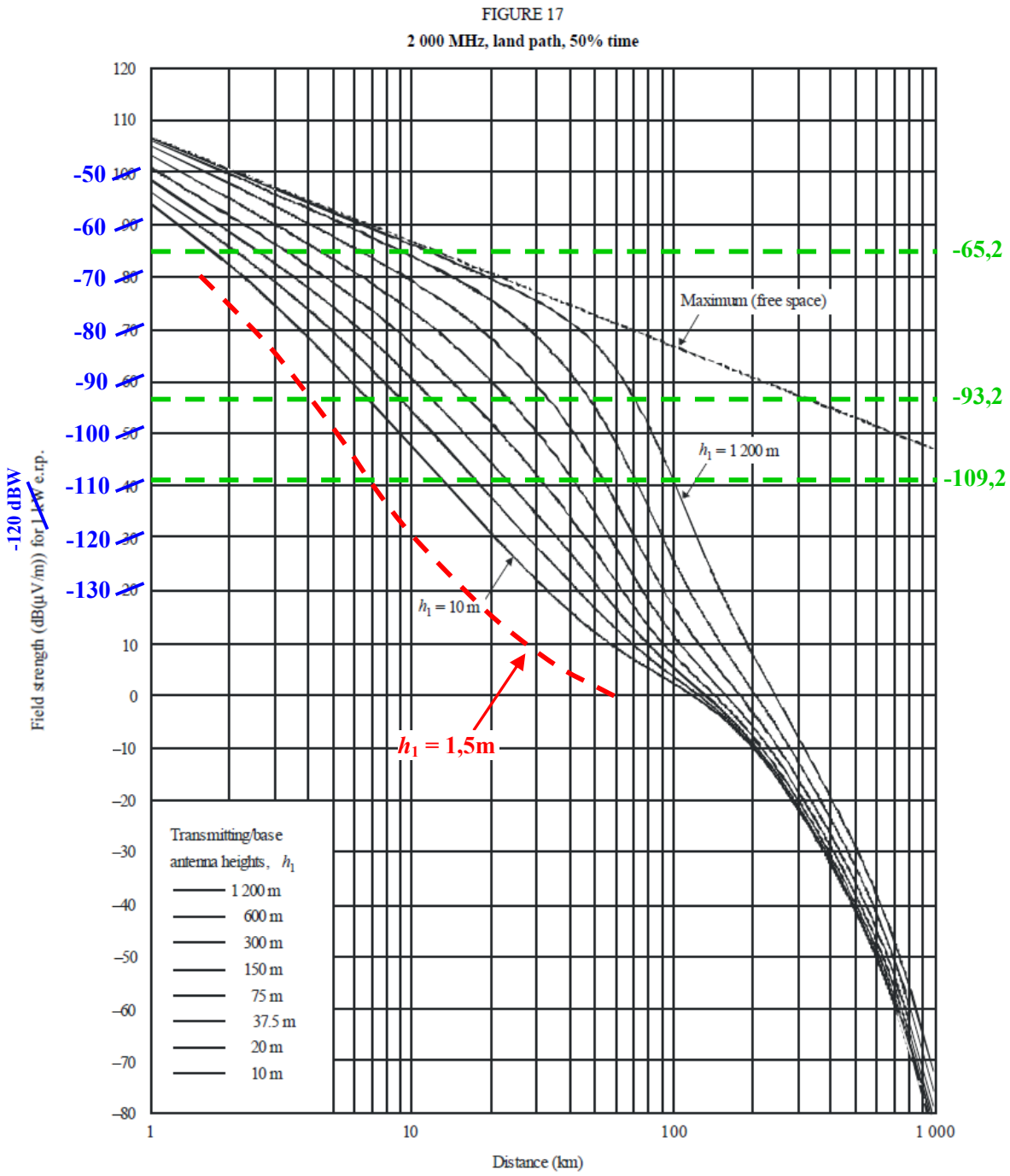
Invullen van f = 1400 MHz en h_2 = 1,5 m geeft een correctie voor het hoogteverschil van -18,7 dB.

In onderstaande figuur is een rode stippellijn weergegeven die een (enigszins conservatieve) inschatting geeft voor de propagatiecurve voor een antennehoogte van 1,5 meter, die rond de afstand 10 – 20 km tot 18 dB onder de curve ligt die hoort bij een antennehoogte van 10 meter.



De volgende stap is om deze curves toe te passen op een zendvermogen van -120 dBW / Hz.

De bovenstaande curves gelden voor een vermogen van 1 kW = 30 dBW. Om de bovenstaande curves toe te passen op -120 dBW moeten de veldsterktes met 30 + 120 = 150 dB naar beneden worden bijgesteld. Dat leidt tot aanpassingen in de y-as zoals in blauwe tekst is aangegeven in onderstaande figuur:



De groene lijnen in bovenstaande figuur van -65,2 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mu V}{m}\right)$, -93,2 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mu V}{m}\right)$ en -109,2 $\mathrm{dB}\left(\frac{\mu V}{m}\right)$ zijn de limieten voor respectievelijk Very Long Baseline Interferometry, Radio astronomy spectral-line observations en Radio astronomy continuum observations.

De snijpunten van de rode en groene lijnen zijn de separation distances in het scenario waarin één mobiele terminal uitzendt met het maximum toegestaan spurious vermogen van -30 dBm / MHz in delen van de band 1400 – 1427 MHz.

Uit bovenstaande figuur kunnen de separation distances worden uitgelezen die in de rechter kolom van onderstaande tabel staan:

	Centre frequency (MHz)	Spectral power flux density (dB $\left(\frac{W}{m^2 \cdot Hz}\right)$)	Corresponding field strength (dB $\left(\frac{\mu V}{m}\right)$) in 1 Hz	Separation distance (km)
Radio astronomy continuum observations	1413.5	-255	-109,2	7
Radio astronomy spectral-line observations	1420	-239	-93,2	4,2
Very Long Baseline Interferometry (VLBI) observations	1413.5	-211	-65,2	1,3

Effect van meerdere mobiele terminals

De separation distances uit bovenstaande tabel zijn bepaald op basis van een enkele LTE terminal die uitzendt met het maximaal toegestaan spurious vermogen in de band 1400 – 1427 MHz.
In de praktijk is er sprake van meerdere terminals waarvan het cumulatieve effect groter is dan dat van een enkele terminal. Aan de andere kant zijn er factoren die de ervaren impact op radioastronomie verzachten, zoals:

- Mobiele terminals zenden gemiddeld een klein percentage van de tijd uit (aangezien ze vaak niet in gebruik zijn).
- Mobiele terminals zenden vaak uit met een lager vermogen dan het toegestaan maximum voor het gewenste signaal in de 700 MHz. In die gevallen is het vermogen van de 2de harmonische in de 1400 MHz ook lager.
- Van veel mobiele terminals zal het vermogen van de 2de harmonische naar verwachting ruim onder het maximum van -30 dBm/MHz liggen in die gevallen waarin terminal wel met het maximum toegestaan vermogen in de 700 MHz uitzendt (namelijk 200 mW).
- Een aanzienlijk deel van de mobiele terminals zal binnenshuis (indoor) gebruikt worden, wat al snel zo'n 10 dB verzwakking geeft op de radioastronomie site.
- Bij het voldoen aan de voorgestelde vergunningseis van ruimtelijke separatie rondom de Westerborktelescoop, is de kans dat een mobiele terminal uitzendt in 703 – 713,5 MHz bij benadering gelijk aan nul als deze zich bevindt op een afstand t.o.v. de telescoop die gelijk is aan de separatieafstand. Buiten de beschermingszone zal die kans (de zogenoemde locatiewaarschijnlijkheid) geleidelijk toenemen voordat er sprake is van een verzorgingsgebied.
  In een schil van in de praktijk minimaal enkele kilometers rondom de beschermingszone, is de kans op verbinding op de betreffende 700 MHz frequenties, en daarmee de kans op gebruik van die frequenties, klein.

We kunnen redelijkerwijze aannemen dat deze factoren voldoende compenseren voor het cumulatieve effect van meerdere terminals vergeleken met de storing van een enkele terminal.

Conclusies

- ⇨ De 2e harmonische van LTE terminals, die geheel of gedeeltelijk uitzenden in de frequenties 703 – 713,5 MHz, kan leiden tot storing op de waarnemingen van ASTRON in de band 1400 – 1427 MHz in Westerbork.

- ⇨ In een worst case scenario, waarin de meest gevoelige modus van radioastronomie, Radio astronomy continuum observations, beschermd wordt en waarin een mobiele terminal met het maximum toegestaan spurious vermogen van -30 dBm/MHz uitzendt, is de separation distance zo'n 7 km.

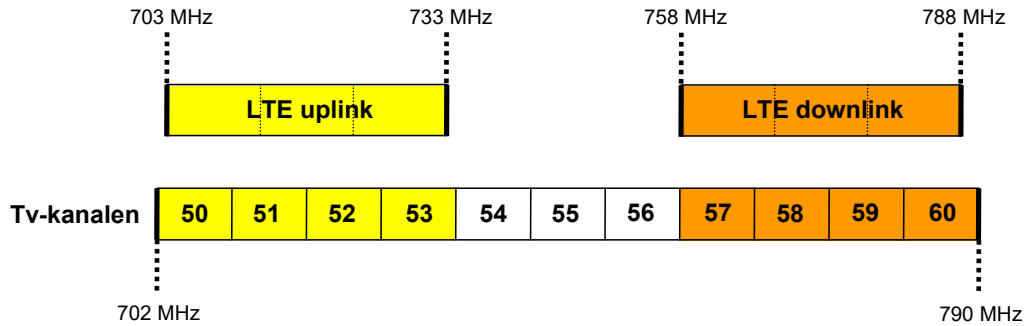
- ⇨ Een geografische beperking van het gebruik van LTE-terminals, die geheel of gedeeltelijk uitzenden in 703 – 713,5 MHz in de buurt van de Westerbork-telescoop, voorkomt storing op de waarnemingen van ASTRON in de band 1400 – 1427 MHz. Dit is o.a. van toepassing op blokken van 5 of 10 MHz in 713 – 718 MHz of 713 – 723 MHz (gepaard met respectievelijk 768 – 773 en 768 – 778 MHz), aangezien die blokken voor 0,5 MHz overlappen met de frequenties 703 – 713,5 MHz.

- ⇨ Bovenstaande conclusies zijn ook van toepassing op PPDR-terminals die uitzenden in de frequenties 700 – 703 MHz (wat gepaard is met PPDR-basisstations in de frequenties 755 – 758 MHz). De tweede harmonische van PPDR-terminals in de frequenties 700 – 703 MHz valt immers ook in de radioastronomieband 1400 – 1427 MHz.

5 Compatibiliteit met kabeltelevisie

Agentschap Telecom heeft in het voorjaar van 2017 een onderzoek uitgevoerd naar de kans op storing van LTE in de 700 MHz op kabeltelevisie.

De onderstaande figuur geeft weer dat tv-kanalen 50 t/m 53 door de LTE-terminal gestoord kunnen worden, en tv-kanalen 57 t/m 60 door de LTE-basisstations.



Uit het onderzoek van Agentschap Telecom blijkt dat in de meeste gevallen het aanleggen van kwalitatief goede tv-kabels eventuele storing van LTE op kabel-tv ontvangst verhelpt.

Conclusie

⇨ Er zijn geen additionele vergunningsvoorwaarden nodig ter bescherming van kabel-tv. Eventuele stoorgevallen bij consumenten thuis kunnen in de meeste gevallen verholpen worden door het aanleggen van een goed afgeschermde kabel.
Wel is aan te raden om met DGETM af te stemmen welke afspraken hierover gemaakt zijn met de kabelsector en mobiele sector.

6 Conclusies

Hieronder volgt een samenvatting van de conclusies van dit onderzoek. In de desbetreffende hoofdstukken zijn de conclusies uitgebreider beschreven.

1. Compatibiliteit tussen LTE in de 700 MHz en DVB-T in de band 470 – 694 MHz

⇨ **Nationale regelgeving**
Om te voorkomen dat LTE-terminals in de 700 MHz portable indoor ontvangst van DVB-T verstoren, moet voor deze terminals in de 'Regeling gebruik van frequentieruimte zonder vergunning en zonder meldingsplicht' een limiet van -42 dBm / 8 MHz in het frequentiebereik 470 – 694 MHz worden vastgesteld. Dit is geen vergunningseis.

⇨ **Optie: verbeterde filtering in DVBT-ontvangers**
Als de DVB-T ontvanger signalen boven de 694 MHz goed kan wegfilteren, zal deze beter bestand zijn tegen blocking door LTE-terminals.

⇨ **Filtering in LTE-basisstations en keuze van locaties**
Eventuele storing van DVB-T basisstations op LTE basisstations is op te lossen door goede filtering in LTE basisstations te implementeren. Verder wordt afgeraden om DVB-T basisstations en LTE-basisstations op dezelfde locatie te plaatsen, omdat LTE-basisstations dan storing kunnen ondervinden. Dit hoeven geen eisen in de vergunning te zijn.

2. Compatibiliteit tussen LTE in de 700 MHz en PPDR (Public Protection and Disaster Relief) in de banden
*** 698 – 703 MHz (uplink) gepaard met 753 – 758 MHz (downlink)**
*** 733 – 736 MHz (uplink) gepaard met 788 – 791 MHz (downlink)**

⇨ **Keuze van opstelpunten**
Wanneer PPDR en LTE basisstations opstelpunten delen, is er geen onderlinge storing te verwachten. Op locaties waar LTE en PPDR-operators niet dezelfde opstelpunten gebruiken, kan een basisstation een lokaal gat in de verzorging veroorzaken van het andere netwerk. Afstemming tussen de LTE-operator en PPDR-operator in de keuze van opstelpunten van basisstations kan de compatibiliteit tussen beide netwerken verbeteren.

⇨ **Betere selectiviteit PPDR-terminals**
Een verbeterde selectiviteit van PPDR-terminals kan de kans op storing die in het punt hierboven is benoemd aanzienlijk verminderen. Aangeraden wordt de selectiviteit te verhogen van 33 naar 41 dB (ECC Report 239).

3. Compatibiliteit tussen LTE in de 700 MHz en PMSE (Programme Making and Special Events) in delen van de band 738 – 753 MHz

Als het vermogen van PMSE microfoons voldoet aan de limieten uit tabellen 13 en 14 van CEPT Report 60, dan kunnen deze conclusies getrokken worden:

⇨ **PMSE vs. LTE**
PMSE is compatibel met LTE als PMSE een guard band toepast van
- ± 5-10 MHz boven de 733 MHz (voor bescherming van PMSE), en
- minimaal 2,8 MHz onder de 758 MHz (voor bescherming van LTE)

⇨ **PMSE vs. PPDR**
Rekening houdend met inzet van PPDR in de banden 733 – 736 MHz (uplink) en 753 – 758 MHz (downlink) in Nederland, kan PMSE in de praktijk gebruik maken van het frequentiebereik 738 – 750,2 MHz. In de onderste 5 MHz daarvan (738 – 743 MHz) bestaat er een kleine kans dat PMSE storing ondervindt van LTE en/of PPDR terminals.

4. Compatibiliteit tussen LTE in de 700 MHz en Radioastronomie in de band 1400 – 1427 MHz

De 2e harmonische van de LTE terminals in de frequenties 703 – 713,5 MHz kan storing veroorzaken op de waarnemingen van ASTRON in de band 1400 – 1427 MHz in Westerbork.

⇨ **Separatieafstand**
Dit zijn de minimale afstanden tot de radioastronomie locatie waarbij een mobieltje in de 700 MHz geen storing veroorzaakt op radioastronomie:

Radioastronomie observatie	Separatieafstand
Radio astronomy continuum observations	7 km
Radio astronomy spectral-line observations	4,2 km
Very Long Baseline Interferometry observations	1,3 km

⇨ **Geografische beperking voor LTE-basisstations**
Een geografische zone rondom de Westerbork-telescoop, waarin terminals niet uitzenden in de frequenties 703 – 713,5 MHz, voorkomt storing op de waarnemingen van ASTRON in de band 1400 – 1427 MHz. Dit betreft vergunningen voor basisstations die geheel of gedeeltelijk uitzenden in het frequentiebereik 758 – 768,5 MHz.

Deze conclusies zijn ook van toepassing op PPDR-terminals in de frequenties 700 – 703 MHz gepaard met PPDR-basisstations in de frequenties 755 – 758 MHz.

5. Compatibiliteit tussen LTE in de 700 MHz en kabeltelevisie

Kabeltelevisie op de frequenties 702 – 734 MHz (tv-kanalen 50 t/m 53) kan storing ondervinden van LTE-terminals in de band 703 – 733 MHz.
Kabeltelevisie op de frequenties 758 – 790 MHz (tv-kanalen 57 t/m 60) kan storing ondervinden van LTE-basisstations in de band 758 – 788 MHz.

- ⇨ Eventuele stoorgevallen bij consumenten thuis kunnen in de meeste gevallen verholpen worden door het aanleggen van een goed afgeschermde kabel.

- ⇨ Er zijn geen additionele vergunningsvoorwaarden nodig ter bescherming van kabeltelevisie.