Technisch onderzoek randvoorwaarden uitgifte 2.6 GHz

dr. ir. R. Schiphorst
ir. A.C. Aarden
prof. dr. ir. C.H. Slump

De Nederlandse Staat is auteursrechthebbende van dit rapport.

Universiteit Twente
Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica
Leerstoel Signalen & Systemen
Postbus 217
7500 AE Enschede

Rapportnummer: 027.07
Versie: 1.0
Datum: 17 september 2007

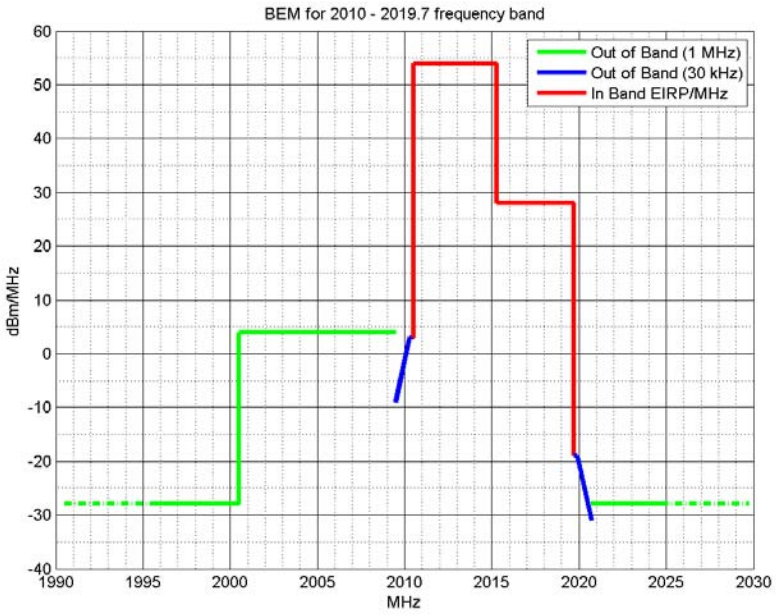
Samenvatting

Draadloze netwerken in aangrenzende frequentiekanalen kunnen interferentie opleveren. In dit rapport is onderzocht hoe deze interferentie beperkt kan worden voor de 2,6 GHz frequentieband. Het Ministerie van Economische Zaken is voornemens om deze band begin 2008 uit te geven. Een goed middel om interferentie te beperken is door middel van een Block Edge Mask (BEM). Een BEM geeft aan, hoe groot het maximale vermogen in de toegewezen frequentiekavel mag zijn. In praktische systemen is het onmogelijk om alleen in de toegewezen band uit te zenden. Een klein deel van het zendvermogen zal ook in aangrenzende frequentiekanalen worden uitgezonden en daarnaast hebben ontvangers een beperkte selectiviteit. Daarom definieert een BEM niet alleen het maximale zendvermogen binnen, maar ook buiten de toegewezen frequentieblok.

Bij het bepalen van de BEM is uitgegaan van frequentie-efficiënt spectrum gebruik. Daarnaast zijn de 3GPP standaarden en de voorstellen die andere landen reeds voor deze frequentieband hebben gedaan, als uitgangspunt genomen. Er zijn twee frequentiegebieden die worden geveild, het spectrum van 2010 tot 2019,7 MHz en de band 2500 – 2690 MHz.

2010 – 2019,7 MHz

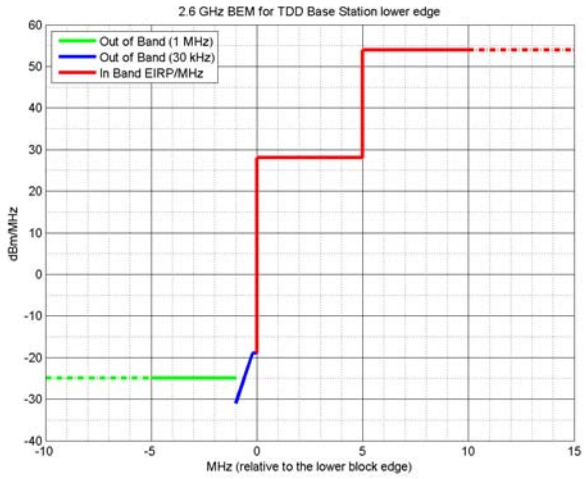
In onderstaande figuur wordt de BEM voor TDD base stations getoond voor de 2010 – 2019,7 MHz frequentieband.

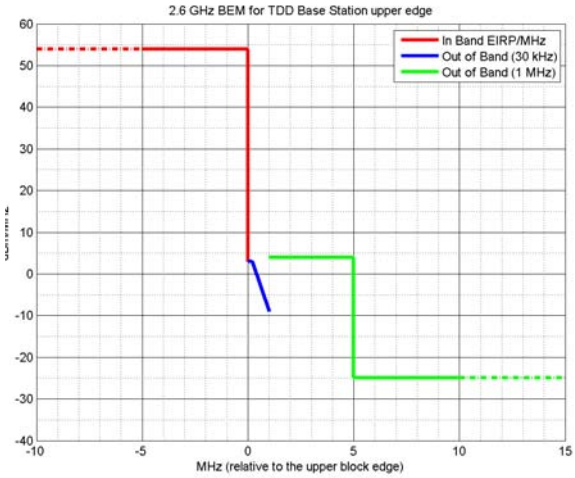


Er is een 500 kHz guard band aan de lower edge gecreëerd om interferentie met de MSS frequentieband te beperken. De upper edge grenst aan een ander, reed uitgegeven, TDD frequentieblok. Om verstoring met dit TDD netwerk te voorkomen wordt aan het bovenste deel van het frequentiespectrum (2015 – 2019,7 MHz) een beperking opgelegd aan het zendvermogen (pico cel vermogen, 28 dBm/MHz). Andere restricties zijn gebaseerd op de 3GPP standaard.

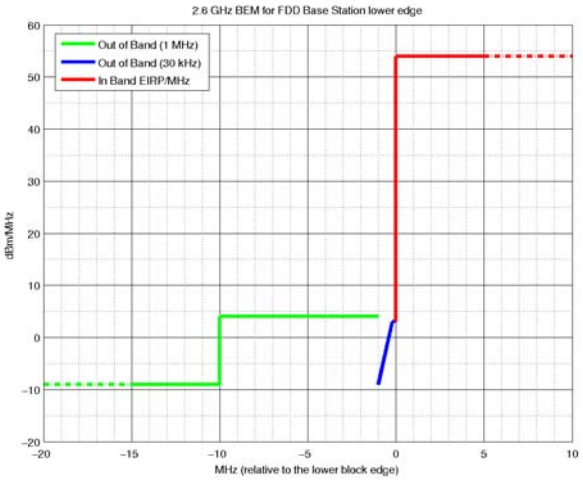
2500 – 2690 MHz

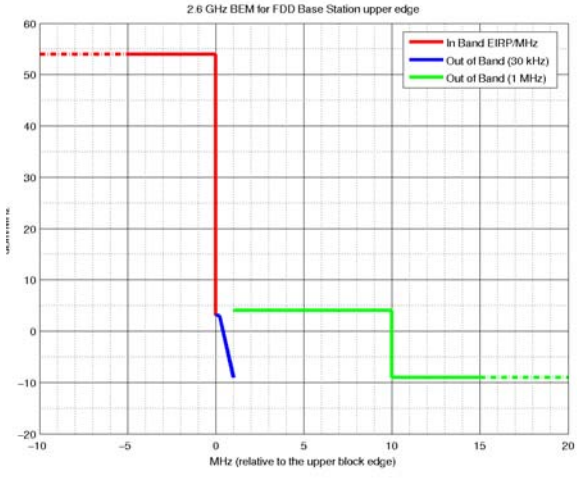
Voor de uitgifte van deze band bestaan er drie scenario's, een Europees voorstel van de ECC, een voorstel van TNO en een derde voorstel van Agentschap Telecom. In scenario 1, de ECC aanbeveling, wordt 140 MHz aan FDD systemen toegewezen en 50 MHz aan TDD. In de aanbeveling van TNO (100 MHz FDD en 90 MHz TDD) is meer ruimte gecreëerd voor TDD systemen om de technologie-neutraliteit van de band te garanderen. Daarnaast is er nog een derde scenario van Agentschap Telecom (40 MHz FDD en 150 MHz TDD). De meeste interferentieproblemen doen zich voor in het TDD spectrum. Om interferentie tussen TDD kavels te beperken, wordt aan de onderste 5 MHz van een TDD kavel een vermogensrestrictie (pico cel vermogen, 28 dBm/MHz) opgelegd. De keuze voor de onderste 5 MHz is willekeurig, dit had ook de bovenste 5 MHz kunnen zijn. De onderste 5 MHz zal naast deze vermogensrestrictie ook meer interferentie ontvangen van het aangrenzende TDD netwerk. M.a.w. de onderste 5 MHz is een soort guard band, echter de BEM zorgt ervoor dat een operator deze kavel alsnog (beperkt) kan gebruiken. Daarnaast geldt de Out-Of-Band (OOB) emissie-eis van de 3GPP standaard (-25 dBm/MHz) van 5 MHz tot de upper edge en 0 MHz tot de lower edge van een TDD kavel. Hieronder zijn de BEMs voor TDD base stations weergegeven.





De BEMs voor FDD base stations zijn in overeenstemming met het EU voorstel en zijn hieronder getoond.





Aan de BEM voor FDD systemen wordt geen vermogensrestricties toegepast in het toegewezen frequentieblok. Dit komt omdat er minder interferentie optreedt tussen twee aangrenzende FDD systemen vergeleken met TDD systemen. Dit betekent ook dat Scenario 1 het meest efficiënt gebruik maakt van het spectrum.

Radioastronomie

De upper edge van de 2500 – 2690 MHz band grenst aan een radioastronomieband (2690 – 2700 MHz). Er moeten verschillende beperkingen opgelegd worden om deze band te beschermen. Allereerst moet de kavel 2685 – 2690 MHz ingezet worden als guard band. Daarnaast mogen aangrenzende TDD en FDD base stations een maximale OOB emissie hebben van -75 dBm/MHz in de radioastronomie-frequentieband.

Interferentie van en naar het buitenland

Indien Nederland en het buitenland, de ERC aanbeveling 01-01 [1] als uitgangspunt nemen, zal Nederland geen storing uit het buitenland ontvangen of veroorzaken. Als buurlanden zich niet houden aan de ERC aanbeveling, heeft een onderzoek van de Ofcom [2] laten zien, dat in de Britse situatie er in grote gebieden interferentie vanuit zowel Frankrijk alsmede Ierland op kan treden.

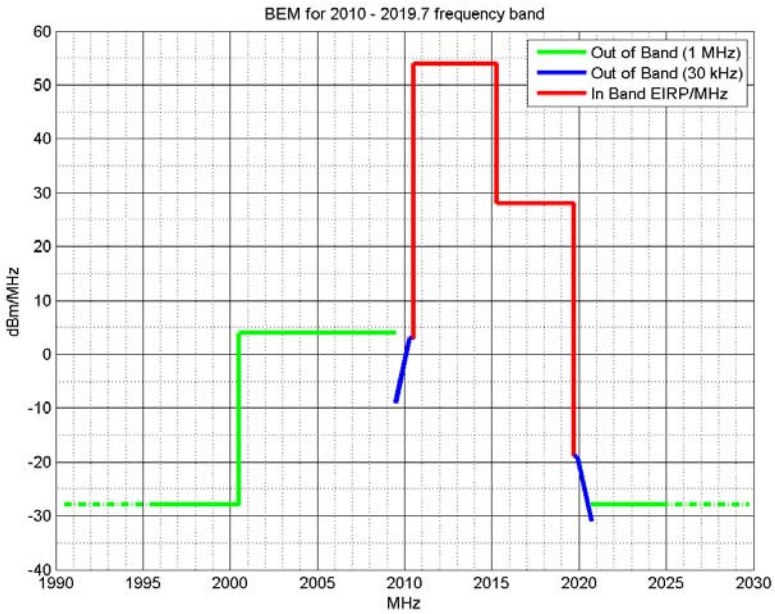
Summary

Wireless networks in adjacent frequency channels can interfere each other. In this report it has been investigated how this interference can be minimized for the 2.6 GHz frequency band. The Dutch Ministry of Economic Affairs intends to issue begin 2008 spectrum licenses for this band. A good method to minimize interference is a Block Edge Mask (BEM). A BEM dictates the maximum transmit power in the awarded frequency spectrum. In practical systems it is nearly impossible to transmit only in the awarded spectrum. A small part of the transmit power is transmitted in adjacent frequency channels and also receivers have limited channel selectivity. For this reason, a BEM not only dictates the maximum in-band transmit power, but also defines the maximum transmit power outside the awarded frequency spectrum.

An important parameter for constructing the BEM is frequency efficiency. The 3GPP standards and the proposals of other countries have been used as a starting point. There are two frequency bands where spectrum licenses will be issued, 2010 to 2019.7 MHz and 2500 – 2690 MHz.

2010 – 2019.7 MHz

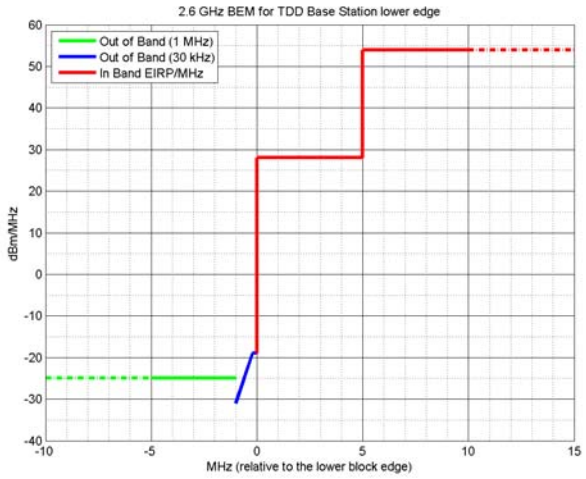
The figure below shows the BEM of TDD base stations for the 2010 – 2019.7 MHz frequency band

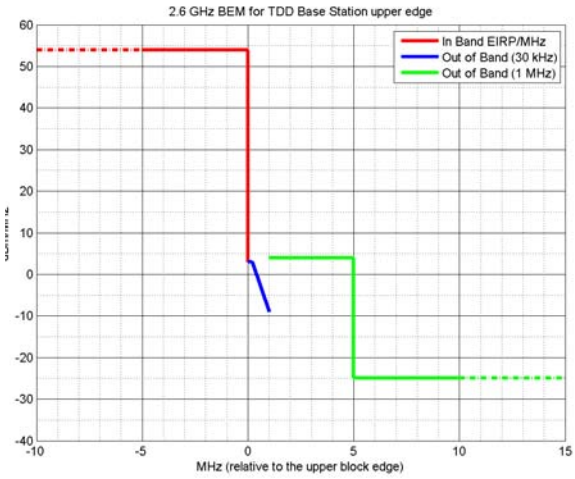


At the lower edge there is a 500 kHz guard band to minimize the interference with the MSS frequency band. The upper edge is with another, already awarded, TDD frequency block. To minimize interference with this other TDD network, the upper part of the frequency band (2015 – 2019.7 MHz) has power restrictions (pico cell power, 28 dBm/MHz). Other restrictions are based on the 3GPP standard.

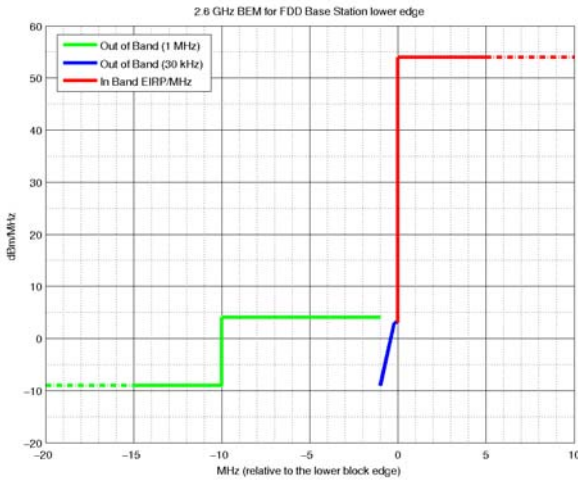
2500 – 2690 MHz

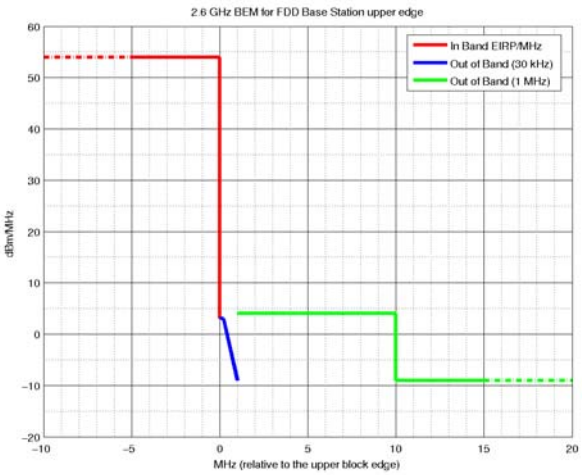
There exists three proposals for the issue of this band, an European proposal by the ECC, one by TNO and a third proposal by the Radiocommunications Agency Netherlands. In scenario 1, the ECC recommendation, 140 MHz is reserved for FDD systems and 50 MHz for TDD systems. In the recommendation of TNO (100 MHz FDD and 90 MHz TDD) more space is reserved for TDD systems to guarantee the technology neutrality of the band. In the third proposal of Radiocommunications Agency Netherlands (40 MHz FDD and 150 MHz TDD) even more spectrum is reserved for TDD systems. Most interference problems will be in the TDD spectrum. To minimize interference between TDD networks, a power restriction (pico cell power) is applied to the lower 5 MHz of the awarded frequency spectrum. This is an arbitrary choice, another option would be the upper 5 MHz of the awarded spectrum. The lower 5 MHz does not only has power restrictions, it will also receive more interference from the adjacent TDD network. In other words, the lower 5 MHz is some kind of guard band, but the BEM allows the operator to use this spectrum (with restrictions). In addition, the Out-Of-Band (OOB) emission requirements of the 3GPP standard are applied from 5 MHz of the upper edge and 0 MHz of the lower edge of the awarded spectrum. Below, the BEMs for TTD base stations are shown.





The BEMs for FDD base stations are in line with the EU proposal and are depicted below.





The BEM for FDD systems do not have power restrictions in the awarded frequency block, because there is less interference between two adjacent FDD systems compared to TDD systems. As a result Scenario 1 is the most frequency-efficient scenario.

Radio astronomy

The upper edge of the 2500 – 2690 MHz band is adjacent to a radio astronomy band (2690 – 2700 MHz). To protect this band, several restrictions have to be applied. First, the channel 2685 – 2690 MHz has to be used as guard band. In addition, the maximum OOB emissions of adjacent TDD or FDD base stations should not exceed -75 dBm/MHz in the radio astronomy band.

Interference from and to neighbouring countries

If the Netherlands and neighbouring countries, use the ERC recommendation 01-01 [1] as a starting point, the Netherlands will not cause interference to other countries, nor will it receive interference from other countries. If this recommendation is not used, a report of Ofcom [2] has shown that Britain will have large interference areas caused by networks in both France and Ireland.

Inhoudsopgave

Samenvatting....3
Summary....7
Lijst met afkortingen....13
1 Inleiding....15
1.1 Achtergrond....15
1.2 Frequentietechnisch onderzoek....15
1.2.1 Scenario's....15
1.3 Onderzoeksvragen....17
1.4 Rapportindeling....18
2 Interne interferentie....19
2.1 Interferentie tussen aangrenzende kanalen....19
2.2 Interferentie-paden....20
2.3 Interferentie-onderzoek in het buitenland....22
3 Block-Edge Mask....25
3.1 EU voorstel BEM 2,6 GHz band....25
3.1.1 TDD Base Station....25
TDD kavels met beperkingen....26
Lower edge....26
Upper edge....27
3.1.2 FDD Base Stations....28
Beperkingen vanaf 10 MHz of meer voor een FDD Base Station (down-link)....30
3.1.3 TDD of FDD Mobile/Terminal Stations....30
3.2 Evaluatie EU BEM....34
3.2.1 TDD BEM voor Base Stations....34
3.2.2 FDD BEM voor Base Stations....35
3.2.3 TDD/FDD BEM voor Mobile/Terminal Stations....35
3.2.4 Mobiele WiMAX (IEEE 802.16e)....35
3.2.5 Wifi (IEEE 802.11g/n)....36
4 Externe interferentie....39
4.1 2010 – 2019,7 MHz....39
4.2 2500 – 2690 MHz....40
4.2.1 Radioastronomie....40
4.3 Interferentie van en naar het buitenland....42
4.3.1 Gevolgen voor Nederland....42
5 Technische randvoorwaarden....43
5.1 2010 – 2019,7 MHz....43
5.2 2500 – 2690 MHz....44
5.2.1 FDD up-link spectrum....44
5.2.2 TDD spectrum....45
Extra TDD spectrum boven de FDD down-link in Scenario 2 en 3....47
5.2.3 FDD down-link spectrum....48
5.3 Scenario's....50
5.3.1 Scenario 1....50
5.3.2 Scenario 2....51
5.3.3 Scenario 3....52

6 Conclusies.....53
7 Referenties.....55

Lijst met afkortingen

3GPP	Third Generation Partnership Project
ACIR	Adjacent Channel Interference Ratio
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio
ACS	Adjacent Channel Selectivity
BEM	Block-Edge Mask
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
ECC	Electronic Communications Committee
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EV-DO	Evolution-Data Only
FDD	Frequency Division Duplex
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
IMT-2000	International Mobile Telecommunications for the year 2000
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector
LTE	Long-Time Evolution
MMS	Mobile Satelite Service
MS	Mobile Station
OOB	Out-Of-Band
SS	Subscriber Station
TDD	Time Division Duplex
TS	Terminal Station
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systems

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Ministerie van Economische Zaken is voornemens begin 2008 de vergunningen uit te geven voor mobiele communicatie in de 2,6 GHz band (2500 – 2690 MHz) en in het deel van het spectrum tussen 2010 en 2019,7 MHz. Een belangrijke voorwaarde in deze uitgifte is de technologie-neutraliteit. In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken heeft TNO reeds frequentietechnisch onderzoek naar deze band verricht. In het TNO rapport [3] is een selectie gemaakt van mogelijke technologieën. Daarnaast wordt in [3] een voorstel gedaan voor een indeling van deze frequentieband.

Echter, om tot uitgifte over te gaan, dienen nog een aantal technische randvoorwaarden te worden bepaald. Deze voorwaarden worden in dit rapport beschreven en dienen er voor om storing tussen de verschillende frequentiekavels zo veel mogelijk te beperken. Daarnaast is efficiënt frequentie-gebruik een belangrijke voorwaarde.

1.2 Frequentietechnisch onderzoek

In deze sectie worden de uitkomsten van het TNO rapport [3] kort gepresenteerd. Het rapport heeft een overzicht gemaakt van technologieën die representatief en daarnaast ook kansrijk zijn voor toepassing in de 2,6 GHz band. Het gaat om de volgende technologieën:

- mobiele WIMAX (IEEE 802.16e)
- Wifi (IEEE 802.11g/n)
- UMTS FDD met HSDPA
- UMTS TDD
- UMTS LTE (op langere termijn)
- CDMA2000 1xEV-DO (rev. A en B)

1.2.1 Scenario's

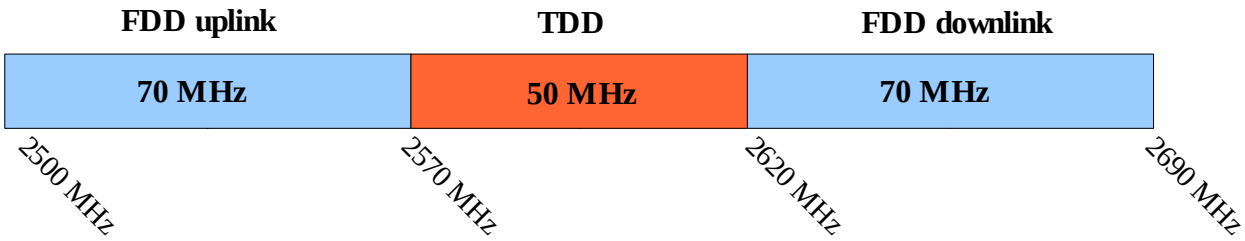
Voor de uitgifte van de 2,6 GHz band bestaan er drie scenario's [4]:

- Scenario 1: 50 MHz TDD, 140 MHz FDD (ECC aanbeveling)
- Scenario 2: 90 MHz TDD, 100 MHz FDD (TNO aanbeveling)
- Scenario 3: 150 MHz TDD, 40 MHz FDD

De Electronic Communications Committee (ECC) commissie van de European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) heeft voor de 2,6 GHz band een frequentie-indeling gemaakt [5] die afgestemd is op International Mobile Telecommunications for the year 2000 (IMT-2000) standaarden (Scenario 1). Onder de IMT-2000 standaarden, ook wel 3G

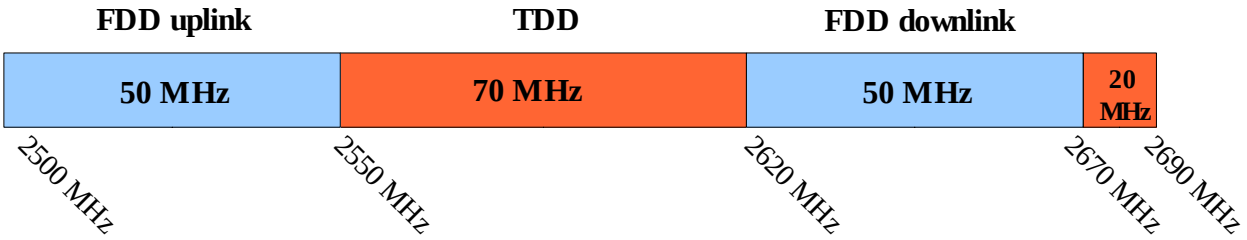
standaarden genoemd, vallen de meeste van de bovenstaande standaarden. Uitzonderingen zijn de bovenste twee standaarden: mobiele WiMAX en Wifi. Echter, het WiMAX forum[1] heeft voorstellen gedaan om WiMAX onder de paraplu van de IMT-2000 familie te laten vallen [6].

TNO heeft geadviseerd af te wijken van deze ECC aanbeveling om de technologie-neutraliteit van deze band te waarborgen. In Figuur 26 is de ECC/CEPT aanbeveling (scenario 1) weergegeven. In deze indeling zijn er drie blokken: FDD up-link, TDD en FDD down-link. Het TDD blok is bestemd voor Time Division Duplex (TDD) systemen en is in totaal 50 MHz groot. Daarentegen zijn de blokken FDD up-link en FDD down-link bedoeld voor Frequency Division Duplex (FDD). Dit deel van het spectrum is in totaal 2 x 70 = 140 MHz groot. IMT-2000 standaarden zijn voornamelijk FDD gebaseerd en hierdoor bevooroordeeld de huidige ECC/CEPT verdeling deze standaarden.



Figuur 1: Scenario 1 voor de 2500 – 2690 MHz frequentieband

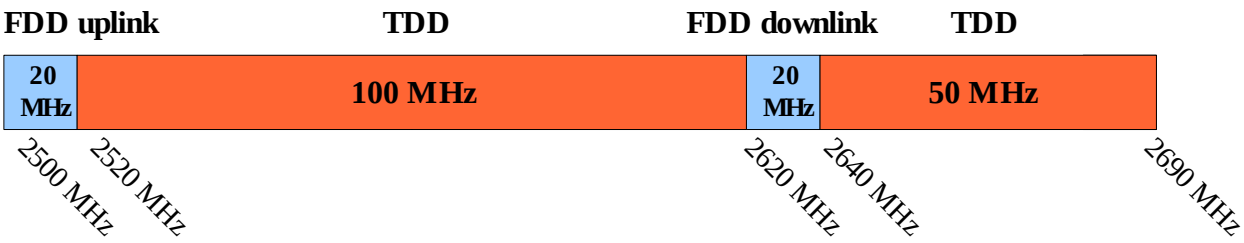
In het TNO rapport wordt voorgesteld om het FDD deel te verkleinen zodat er meer ruimte beschikbaar is voor TDD-gebaseerde systemen. Dit is in Figuur 2 (Scenario 2) weergegeven. Het nadeel van deze indeling is een extra overgang tussen het FDD en TDD spectrum. Deze extra overgang kan voor meer interferentie tussen FDD en TDD systemen zorgen.



Figuur 2: Scenario 2 voor de 2500 – 2690 MHz frequentieband

In Scenario 3 is nog meer ruimte gereserveerd voor TDD systemen (150 MHz) en dit scenario heeft dezelfde overgangen als in Scenario 2.

1 Het WiMAX forum is een industrieconsortium dat de WiMAX standaard promoot.



Figuur 3: Scenario 3 voor de 2500 – 2690 MHz frequentieband

De 2,6 GHz frequentieband zal in frequentiekavels van 5 MHz worden uitgegeven en operators willen graag meerdere 5 MHz-kavels verwerven. Bij de uitgifte krijgt iedere operator een aaneengesloten blok van kavels (frequentieblok) toegewezen. Om interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken te voorkomen/beperken, stelt TNO voor om een zogenaamde Block-Edge Mask (BEM) te hanteren. In dit rapport wordt onderzocht of een BEM bruikbaar is. De specifieke onderzoeksvragen die door het Agentschap Telecom zijn gesteld, zijn weergegeven in de volgende sectie.

1.3 Onderzoeksvragen

Voorafgaand aan de vergunningverlening wil Agentschap Telecom een antwoord op een aantal technische onderzoeksvragen om de storing tussen aangrenzende frequentieblokken te beperken:

1. Kan er gebruik gemaakt worden van het Block-Edge Mask (BEM) principe om interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken in voldoende mate te beperken zodat er in de praktijk een goede basis is voor de uitrol van netwerken?
   - Zo ja, bepaal de BEM voor ieder 5MHz-kavel en iedere frequentie-indeling, genoemd in de vorige sectie.
   - Zo nee, op welke wijze kan onderlinge storing voorkomen worden
2. Indien één of meerdere guard bands[2] noodzakelijk zijn, geef aan welke kavels hiervoor gebruikt dienen te worden.
3. Welke beperkingen moeten worden opgelegd worden aan het kavel dat ligt aan de bandgrens met radioastronomie (2690 MHz)? Is er een geografisch gebied waar extra bescherming voor radioastronomie noodzakelijk is?
4. Wat zijn de technische voor- en nadelen voor de genoemde scenario's voor de verdeling FDD/TDD spectrum in relatie tot:
   - coördinatie-aspecten met de buurlanden indien zij zich wel aan de ECC aanbeveling houden.
   - efficiënt gebruik van het spectrum.

2 Een guard band is een deel van het spectrum wat onbenut blijft om storing tussen verschillende frequentieblokken te voorkomen.

1.4 Rapportindeling

Dit rapport is als volgt ingedeeld:

- Hoofdstuk 2 beschrijft de interferentie die op kan treden tussen aangrenzende frequentieblokken. Daarnaast beschrijft dit hoofdstuk ook de interferentie tussen TDD/FDD en TDD/TDD systemen.
- In andere landen van de EU is reeds onderzoek gedaan naar een BEM in de 2,6 GHz band. Hoofdstuk 3 behandelt deze Europese resultaten voor de BEM.
- Naast interferentie tussen de uit te geven kavels kan er ook interferentie optreden met gebruikers in naburige banden. Deze interferentie wordt beschreven in Hoofdstuk 4.
- Aan de hand van de gegevens van Hoofdstuk 2, 3 en 4 kunnen de technische randvoorwaarden voor de 2,6 GHz worden opgesteld. Dit is weergegeven in Hoofdstuk 5.
- In Hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek gegeven.

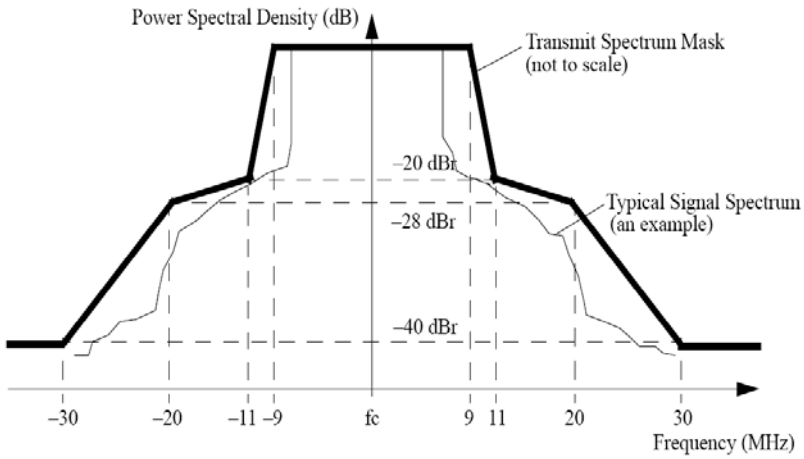
2 Interne interferentie

2.1 Interferentie tussen aangrenzende kanalen

In een draadloos communicatiesysteem zijn er twee oorzaken van interferentie tussen aangrenzende kanalen:

1. Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR)
2. Adjacent Channel Selectivity (ACS)

Adjacent Channel Leakage Ratio
Voor ieder communicatiesysteem is er een bepaalde frequentieband toegewezen om uit te mogen zenden. Buiten deze band is het niet toegestaan om emissies te hebben. Voor praktische systemen is dit echter een moeilijk realiseerbare eis. Om dit te ondervangen is een *Transmit Spectrum Mask* gedefinieerd voor iedere standaard. Een voorbeeld van de 802.11a standaard is te vinden in Figuur 4 [7].



Figuur 4: de Transmit Spectrum Mask van de IEEE 802.11a standaard (dBr is dB relatief tot het gewenste in-band vermogen)

Een Transmit Spectrum Mask is een relatieve eis, omdat het aangeeft hoeveel de emissies mogen zijn t.o.v. het vermogen in de gewenste band. Ieder apparaat moet voldoen aan de Transmit Spectrum Mask die de draadloze standaard heeft gedefinieerd. Daarnaast definieert iedere standaard ook een maximaal zendvermogen. Met deze twee gegevens kan worden bepaald hoe groot de niet-gewenste emissies maximaal mogen zijn.

Adjacent Channel Leakage Ratio is de ratio tussen het uitgezonden vermogen en het vermogen in een naburig kanaal. Dus de ACLR is een onderdeel van de Transmit Spectum Mask. Indien er een grote verschillen in vermogen ontstaan tussen naburige kanalen, kunnen de ongewenste emissies van het sterke signaal de ontvangst van het zwakke signaal onmogelijk maken.

Adjacent Channel Selectivity
Een tweede oorzaak van interferentie ontstaat doordat de ontvanger een beperkte selectiviteit heeft. In praktische systemen is het moeilijk realiseerbaar om naburige signalen volledig te onderdrukken. De Adjacent Channel Selectivity (ACS) geeft aan hoe sterk een naburig kanaal mag zijn om het gewenste zwakkere signaal te kunnen ontvangen. Vanwege vermogensgebruik en fysieke beperkingen, is de ACS van een handheld een stuk lager dan van een base station. Hetzelfde geldt voor de ACLR.

Adjacent Channel Interference Ratio
De ACS en ACLR parameter zijn twee onafhankelijke oorzaken en kunnen d.m.v. optelling in het lineaire domein worden gecombineerd tot één getal, de Adjacent Channel Interference Ratio (ACIR):

$$\frac{1}{ACIR} = \frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}$$

Het ACIR getal geeft aan hoe sterk een naburig kanaal t.o.v. het gewenste signaal maximaal mag zijn zonder dat er interferentie optreedt. Daarnaast wordt er door de standaard een eis gesteld aan het maximale zendvermogen.

Het maximale zendvermogen en de ACIR kunnen omgezet worden in een Equivalent Isotropically Radiated Power Block Edge Mask (EIRP[3] BEM). Deze EIRP BEM kan nog worden gemodificeerd met aanvullende eisen van de overheid om interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken te beperken.

2.2 Interferentie-paden

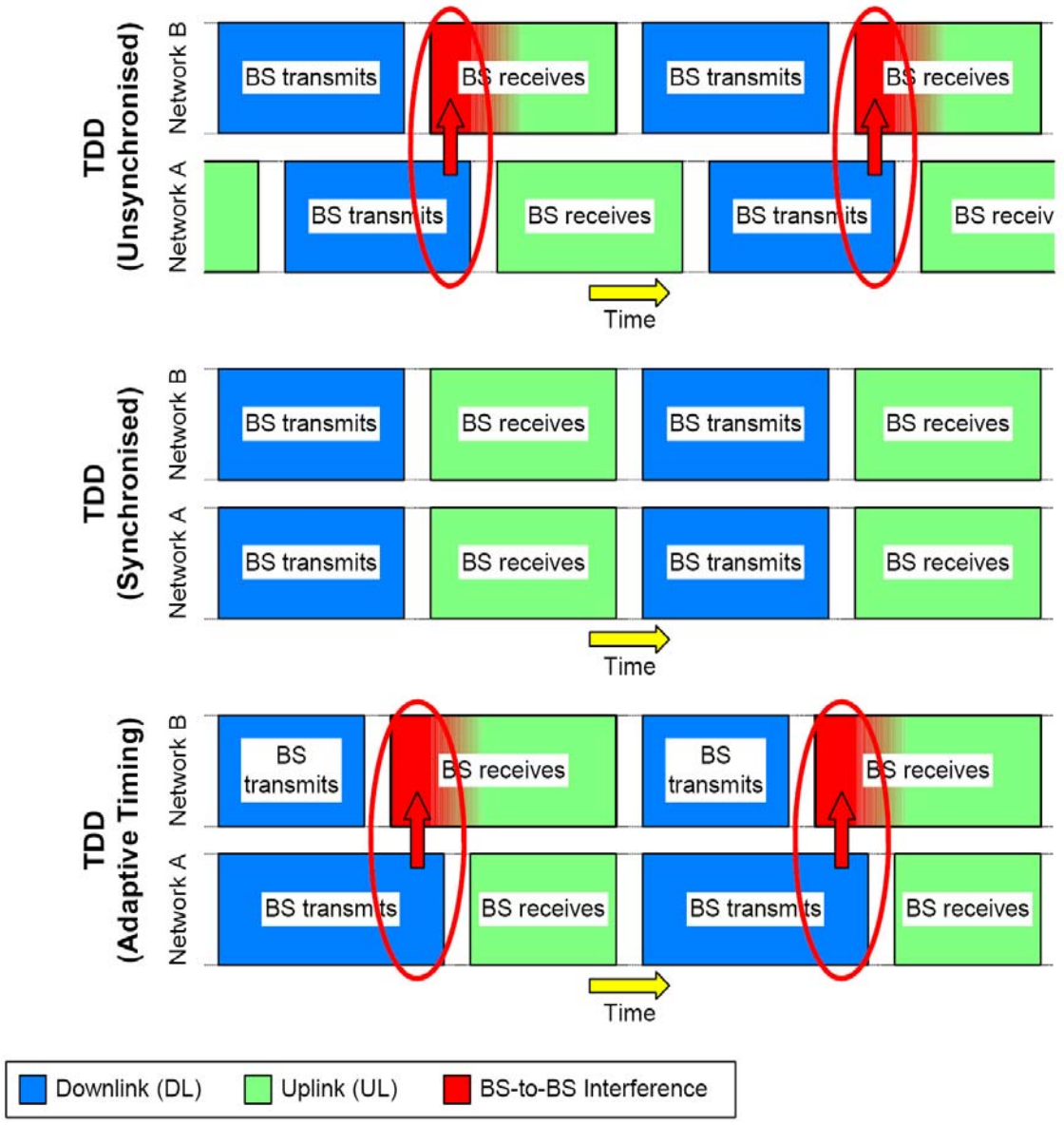
In de vorige sectie is aangegeven welke parameters interferentie veroorzaken tussen aangrenzende frequentieblokken. In deze sectie wordt er verder op ingegaan *waar* in het systeem deze interferentie op kan treden. Voor bi-directionele communicatie bestaan er twee systemen: Frequency Division Duplex (FDD) en Time Division Duplex (TDD).

In het geval van FDD wordt de down-link (communicatie van Base Station (BS) naar Mobile Station (MS)/Subscriber Station (SS)) en up-link (communicatie van MS/SS naar BS) op verschillende frequenties uitgezonden. Tussen down- en up-linkfrequentie is er een verschil van 120 MHz voor standaarden binnen de IMT-2000 familie in de 2,6 GHz band. Hiermee wordt interferentie tussen de up- en down-link voorkomen. Aan de andere kant maakt TDD gebruik van tijdsloten om een up- en down-link te faciliteren. TDD systemen hebben hierdoor meer last van interferentie door naburige kanalen, omdat de up- en down-link tussen naburige kanalen niet synchroon lopen. Het is dus mogelijk dat een TDD BS aan het uitzenden is terwijl het andere TDD BS in het naburige kanaal aan het ontvangen is. Dit betekent dat beide netwerken niet gesynchroniseerd zijn (unsynchronised). Dit is grafisch weergegeven in het bovenste figuur van Figuur 5. Een effectieve manier om interferentie te beperken tussen aangrenzende TDD systemen, is door middel van tijdsynchronisatie. Tijdsynchronisatie betekent dat de down-link (of up-link) van beide netwerken op hetzelfde moment begint, (onderste figuur van Figuur 5). In Figuur 5 wordt dit aangegeven met Adaptive Timing, omdat beide netwerken nog steeds de tijdsduur van de up- en

3 EIRP is het vermogen dat effectief wordt uitgestraald door de antenne.

downlink kunnen bepalen.

Daarnaast moet de tijdsduur van de up- en down-link tijdsloten voor beide netwerken gesynchroniseerd zijn, om interferentie volledig op te lossen. In dat geval (middelste figuur van Figuur 5) zijn beide netwerken totaal gesynchroniseerd (synchronized). Dit is dus alleen mogelijk wanneer beide netwerken, dezelfde standaarden gebruiken. Een ander nadeel van deze oplossing is dat de upload/download ratio van beide netwerken gelijk moet zijn.

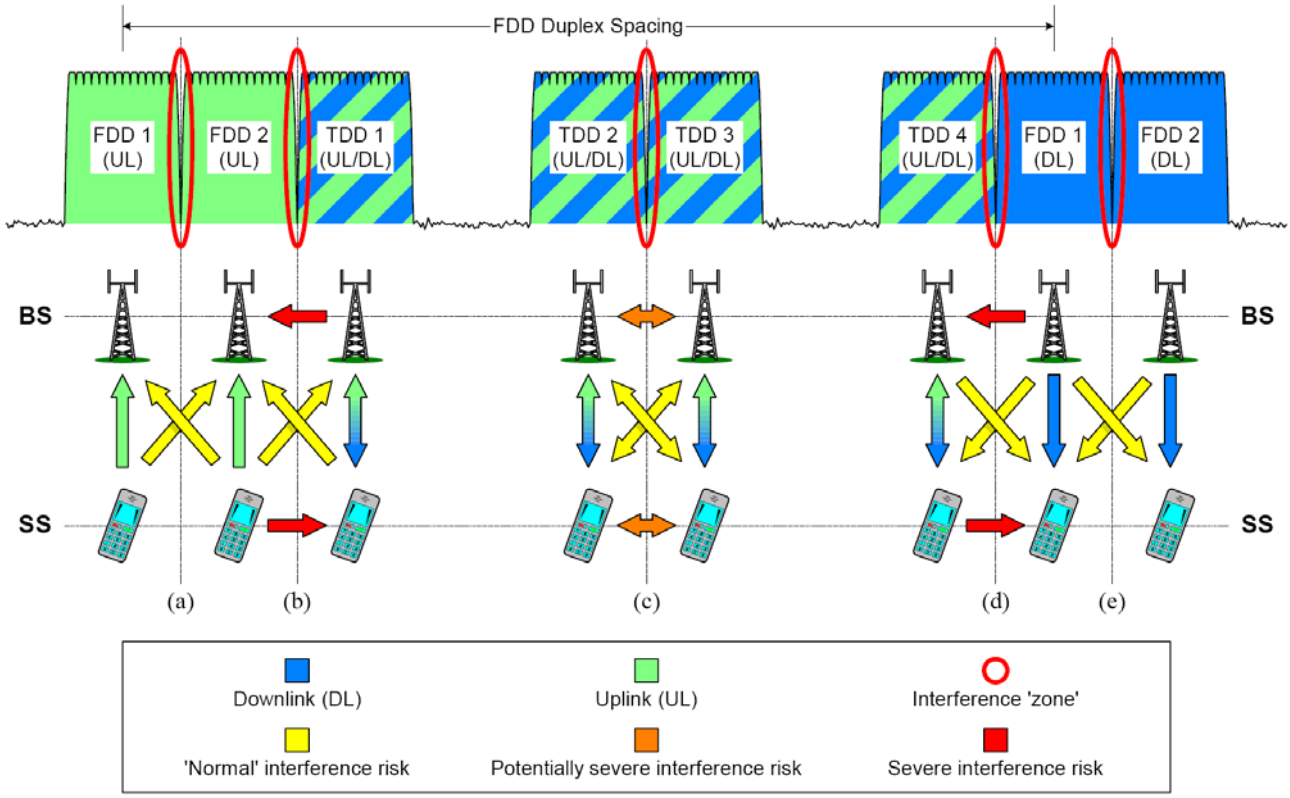


Figuur 5: Interferentie tussen TDD systemen [9]

In Figuur 6 zijn alle mogelijke interferentie-paden weergegeven tussen FDD en TDD systemen. In het algemeen geldt dat interferentie tussen BS en BS belangrijker is dan tussen MS en MS. Dat komt omdat een MS zich niet bevindt op een vaste plek in een netwerk. De interferentie zal dus alleen plaatsvinden wanneer twee MSs zich binnen een bepaalde afstand (10 m [8]) van elkaar bevinden. Hetzelfde geldt voor interferentie tussen MS en BS. Een BS heeft echter een vaste plek in

het netwerk en het interferentie-niveau tussen BSs zal daarom altijd constant zijn.

Uit Figuur 6 wordt duidelijk dat de grootste interferentie zich tussen aangrenzende FDD en TDD systemen bevindt. Tussen TDD en aangrenzende TDD systemen kan er ook grote interferentie ontstaan, maar deze kan door middel van tijdsynchronisatie opgelost worden.



Figuur 6: Bronnen van interferentie veroorzaakt door aangrenzende kavels [9]

2.3 Interferentie-onderzoek in het buitenland

In opdracht van Ofcom is recent in de UK door Mason Communcations Ltd uitvoerig onderzoek [8] verricht naar interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken in de 2,6 GHz band. Hierbij zijn de verschillende bronnen van interferentie uit Figuur 6 door middel van simulatie geëvalueerd. De waarden die gebruikt zijn in deze simulaties zijn grotendeels gebaseerd op documentatie van de International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector (ITU-R). Hierover bestaat internationale overeenstemming.

In het Mason onderzoek [8] zijn alle voor Nederland relevante frequentiebanden onderzocht (2500 – 2690 MHz en 2010 - 2019,7 MHz) en er is naar voren gekomen dat een BEM in de meeste situaties een goed instrument is om interferentie in voldoende mate te beperken, zodat alleen in de nabijheid (< 100m) van een BS interferentie op kan treden tussen aangrenzende frequentiekavels. Hierbij dienen wel interferentie-beperkende technieken worden geïmplementeerd. Indien een BEM niet realistisch is, kan er gekozen worden om een guard band te gebruiken [9]. Het verschil tussen een BEM en een guard band is dat in het laatste geval een stuk spectrum in zijn geheel onbenut blijft om interferentie te beperken.

Hieronder volgen de resultaten van dit onderzoek in detail:

- Co-existentie tussen een FDD en TDD netwerk is niet mogelijk op 5 MHz kanaalafstand. (5 MHz kanaalafstand betekent dus het aangrenzende kanaal.)
- Co-existentie tussen een TDD en TDD netwerk is **alleen** mogelijk op 5 MHz kanaalafstand, indien beide netwerken dezelfde standaard gebruiken en als daarnaast de up- en down-link tijdsloten zijn gesynchroniseerd.
- Co-existentie tussen een FDD en TDD netwerk of een TDD en TDD netwerk is mogelijk op 10 en 15 MHz kanaalafstand, indien interferentie-beperkende technieken worden toegepast. Zonder deze technieken moet de minimale afstand tussen de BSs van beide netwerken meer dan 1 km zijn. Een aantal van deze interferentie-beperkende technieken kan worden toegepast zonder coördinatie met aangrenzende operators. Zie ook hieronder.
- In alle bovenstaande scenario's treedt er interferentie tussen MSs van aangrenzende kavels op, indien de afstand kleiner is dan 10 m.

In het Mason rapport [8] worden de volgende interferentie-beperkende maatregelen in de BS besproken, welke gebaseerd zijn op de ITU-R aanbeveling M.2045 [10]:

zonder coördinatie met naburige kanalen

- Transmitter/receiver filtering, 15 dB extra demping op 5 MHz en 60 dB op 10 MHz kanaalafstand. Dit filter wordt geplaatst in een BS en dient er voor om de eigen ongewenste emissies buiten de 10 MHz verder te reduceren. Daarnaast kan dit filter tijdens ontvangst worden gebruikt voor betere kanaalscheiding zodat naburige sterke signalen beter worden onderdrukt.
- Power amplifier linearisatie technieken, 18 dB winst op 5 MHz en 13 dB op 10 MHz kanaalafstand.

met coördinatie met naburige netwerkoperators

- BS Site placement (for macro/micro scenario's), 17 dB extra demping.
- Antenne-scheiding, 10 – 15 dB extra demping.
- Antenne-polarisatie, paar dB extra demping.
- Adaptieve antennes, kan de kans op interferentie aanzienlijk verkleinen omdat het richtingsgevoelige antennes zijn.
- TDD power control, kan de kans op interferentie aanzienlijk verkleinen.
- TDD externe tijdsynchronisatie, kan de interferentie tussen TDD systemen volledig opheffen. Hierbij dienen ook de tijdsduur van de up- en down-link tijdsloten te worden gesynchroniseerd.
- Reductie van het zendvermogen, kan interferentie verminderen en kan daarnaast gebruikt worden in kanalen die ongeschikt zijn voor vol-vermogen gebruik.

Een netwerkoperator kan dus zonder coördinatie met andere netwerkoperators, de interferentie beperken met 33 dB op 5 MHz en 73 dB op 10 MHz kanaalafstand (of verder). Dit is voor 10-MHz kanaalafstand (of verder) genoeg om co-existentie tussen twee netwerken mogelijk te maken.

Uit het Mason onderzoek kan verder worden geconcludeerd dat:

- De 5-MHz band tussen het FDD up-link en het TDD spectrum kan niet volledig worden gebruikt door een TDD systeem, aangezien dit de FDD up-link stoort. Het vermogen van de TDD BS moet worden beperkt tot pico-cel niveau (28 dBm/MHz).
- De 5-MHz band tussen het TDD en FDD down-link spectrum kan zonder restricties worden gebruikt. Echter, de aangrenzende FDD down-link netwerken zullen het TDD netwerk

grotendeels storen. De stoorzone rond een FDD down-link BS is namelijk groter dan 1 km.

3 Block-Edge Mask

Met de gegevens van het vorige hoofdstuk kan de eerste onderzoeksvraag worden beantwoord:

Kan er gebruik gemaakt worden van het Block-Edge Mask (BEM) principe om interferentie tussen aangrenzende kavels in voldoende mate te beperken zodat er in de praktijk een goede basis is voor de uitrol van netwerken?

Antwoord: Ja, een Block-Edge Mask (BEM) kan worden gebruikt om interferentie tussen aangrenzende kavels in voldoende mate te beperken, zodat alleen in de nabijheid (< 100m) van een BS deze interferentie optreedt. Dit wordt ondersteunt door onderzoek uit het buitenland. Een andere oplossing is om een limiet te stellen aan het vermogen dat het gehele netwerk in naburige kanalen zendt (power flux density limit). Deze oplossing heeft twee nadelen. Allereerst is het moeilijk voor de toezichthouder vast te stellen of een operator hieraan voldoet. Daarnaast stelt deze oplossing geen beperking aan het zendvermogen in de gewenste band. Hierdoor kunnen er toch problemen ontstaan door beperkte selectiviteit in de ontvanger. Een BEM neemt zowel de beperkte selectiviteit van de ontvangers, alsmede de emissies in naburige kanalen mee. Bovendien is een BEM eenvoudig meetbaar. Een nadeel van het BEM principe is dat de storing op andere netwerken toeneemt naarmate er meer BSs worden gebruikt. Aangezien in het grootste deel van het netwerk het signaal van één BS dominant is, zal dit nadeel slechts in kleine delen van het netwerk optreden.

De frequentieband 2500 – 2690 MHz wordt uitgegeven in kavels van 5 MHz. Een operator kan meerdere kavels bemachtigen welke een aaneengesloten frequentieblok vormen. De BEMs die in dit rapport worden besproken, hebben dus betrekking op een frequentieblok wat wordt toegewezen aan één operator. Dit blok is een veelvoud van 5 MHz. In andere EU landen (o.a. Verenigd Koninkrijk en Zweden) is reeds een BEM bepaald voor de 2,6 GHz. Doordat de uitgangspunten van ieder land verschillend waren heeft dit geleidt tot twee verschillende BEMs, waarvan de Zweedse de strengste is. Hieronder worden beide BEMs verder uitgediept. Meer informatie kan worden gevonden in [11].

3.1 EU voorstel BEM 2,6 GHz band

De volgende gegevens zijn overgenomen uit [11]. In dit voorstel worden voor zowel een TDD BS, FDD BS en een FDD/TDD MS Terminal Station (TS) een BEM afgeleid.

3.1.1 TDD Base Station

De TDD EIRP BEM (afgeleid van de 3GPP specificaties voor macro cellen) is berekend als volgt:

43 dBm + 17 dBi = 60 dBm (in een 3.84 MHz kanaal)
(maximaal vermogen + antenna gain)

Dit is omgezet naar een per MHz niveau (6 dB conversie) om het minder technologie-afhankelijk te maken: 54 dBm/MHz.

TDD kavels met beperkingen

Aan rand van een frequentieblok (lower edge) zijn extra beperkingen opgelegd qua zendvermogen om interferentie te voorkomen. In het EU voorstel worden twee opties gepresenteerd: een BEM met minder beperkingen, maar met interferentie-beperkende maatregelen en een andere strengere BEM zonder deze aanvullende maatregelen. In de onderstaande tabellen en figuren worden beide BEMs weergegeven:

Lower edge

1st Restricted TDD in-block EIRP = (for lower 5 MHz block, based on pico cell powers)	28 dBm/MHz (Note 1) to 18 dBm/MHz (see note 2)
2nd Restricted TDD in block EIRP = (this second restricted 5 MHz block only applies under Option A in Figuur 7)	28 dBm/MHz (see Note 2)
Note 1: Limits that maybe applied where additional mitigation and/or co-ordination is assumed to be used by spectrally adjacent operators where necessary. See option B in Figuur 7.	
Note 2: Limits that maybe applied where conditions under Note 1 are not met. See option A in Figuur 7.	

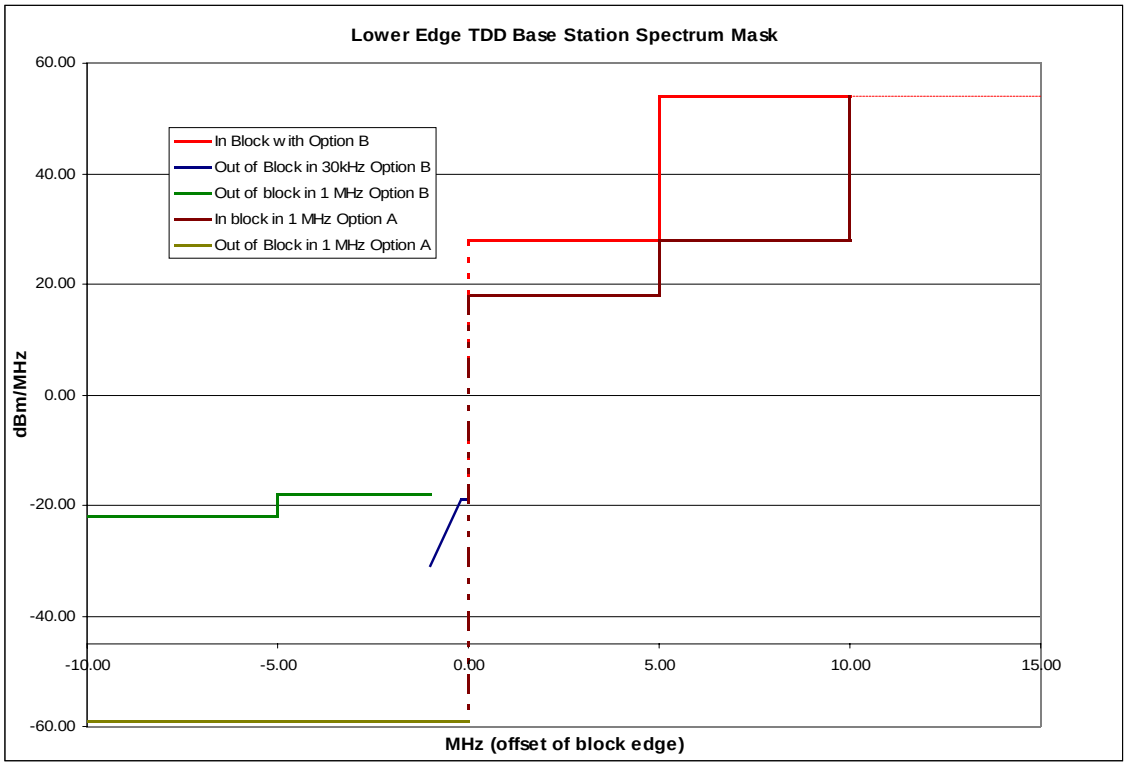
Tabel 1: Lower Edge – In Block EIRP levels for Restricted TDD blocks

Offset from lower block edge	**Maximum mean EIRP**
–10.0 to –5.0 MHz (lower edge)	–22 dBm/MHz
–5.0 to –1.0 MHz (lower edge)	–18 dBm/MHz
–1.0 to –0.2 MHz (lower edge)	$-19 + 15(\Delta_F + 0.2)$ dBm/30kHz
–0.2 to 0.0 MHz (lower edge)	–19 dBm/30kHz
Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)	

Tabel 2: TDD Lower Edge Out-of-block EIRP (Zie Figuur 7- Optie B)

Offset from lower block edge	**Maximum mean EIRP**
Outside allocated block (lower edge)	–59 dBm/MHz
Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)	

Tabel 3: TDD Lower Edge Out-of-block EIRP (Zie Figuur 7 - Optie A)



Figuur 7: Base Station EIRP BEM for TDD lower block edge

Optie A is een methode waarbij geen technische coördinatie hoeft plaats te vinden met het TDD frequentieblok aan de lower edge. Dit wordt bereikt door het vermogen in de laagste 5 MHz van het verworven frequentieblok te beperken tot 18 dBm/MHz. Bovendien wordt het maximale zendvermogen in de daaropvolgende 5 MHz beperkt tot 28 dBm/MHz.

In optie B is wel technische coördinatie vereist en in dit geval mag het vermogen in de laagste 5 MHz van een frequentieblok 28 dBm/MHz zijn, zonder restricties aan de rest van de frequentieblok.

Upper edge

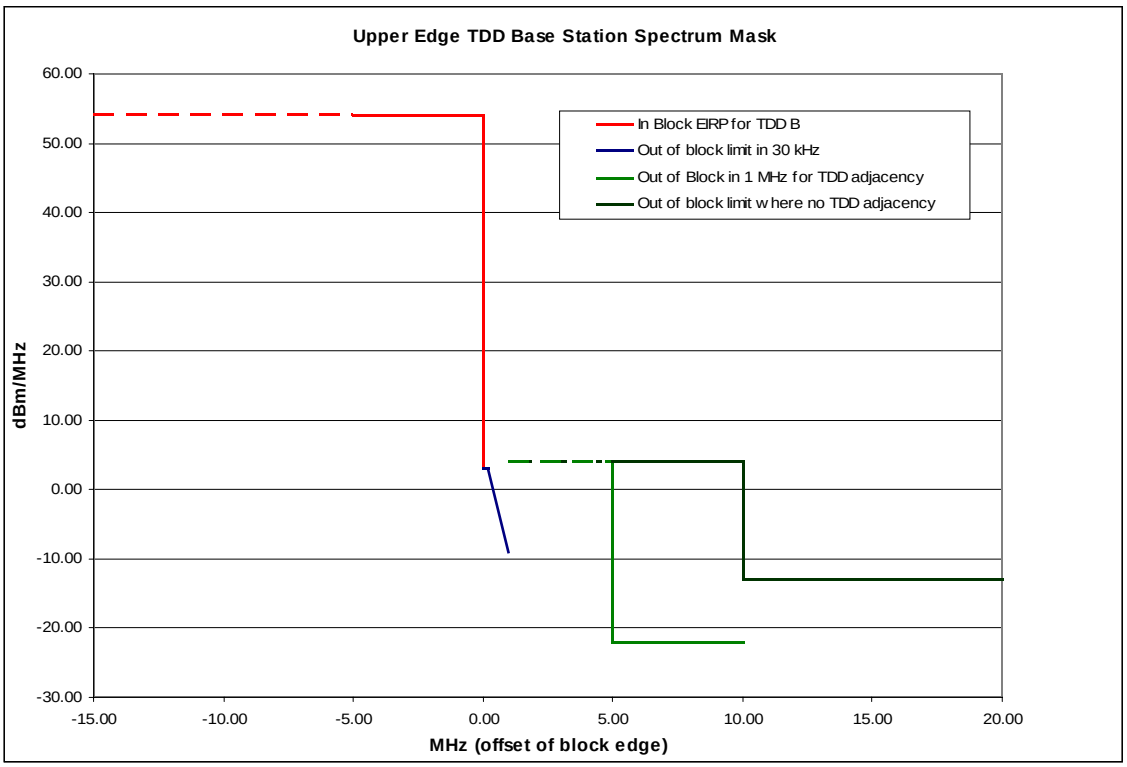
Omdat in de lower edge aanvullende beperkingen zijn opgelegd, zijn de eisen aan de upper edge van een frequentieblok minder stringent. Hieronder volgen de tabellen en figuren die de upper edge definiëren.

Offset from relevant block edge	Maximum mean EIRP
0.0 to +0.2 MHz (upper edge)	+3 dBm/30kHz
+0.2 to +1.0 MHz (upper edge)	+3 – 15(Δ_F – 0.2) dBm/30kHz
+1.0 to +10.0 MHz (upper edge)	+4 dBm/MHz
>10.0 MHz (upper edge)	–22 dBm/MHz
Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)	

Tabel 4: Upper Edge Out-of-block EIRP (Zie Figuur 8 – TDD adjacency)

Offset from relevant block edge	Maximum mean EIRP
0.0 to +0.2 MHz (upper edge)	+3 dBm/30kHz
+0.2 to +1.0 MHz (upper edge)	+3 – 15(Δ_F – 0.2) dBm/30kHz
+1.0 to +10.0 MHz (upper edge)	+4 dBm/MHz
>10.0 MHz (upper edge)	–13 dBm/MHz
Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)	

Tabel 5: Upper Edge Out-of-block EIRP (Zie Figuur 8 – No TDD adjacency)



Figuur 8: Base Station EIRP BEM for TDD upper block edge

Bovenstaande BEM geldt alleen als optie B wordt toegepast. Indien het TDD frequentieblok aan een ander TDD frequentieblok grenst worden er extra eisen opgelegd voor een 10 MHz kanaalafstand of meer, om interferentie te beperken. Zie ook Figuur 8. Indien optie A wordt gebruikt, geldt de BEM voor de lower edge van optie A ook voor de upper edge. Dit betekent dat de bovenste 5 MHz van een frequentieblok gelimiteerd is in vermogen tot 18 dBm/MHz en het frequentiegebied van 10 tot 5 MHz tot de upper edge bandgrens is beperkt tot 28 dBm/MHz.

Optie A legt dus in totaal aan 20 MHz van een verworven frequentieblok beperkingen op.

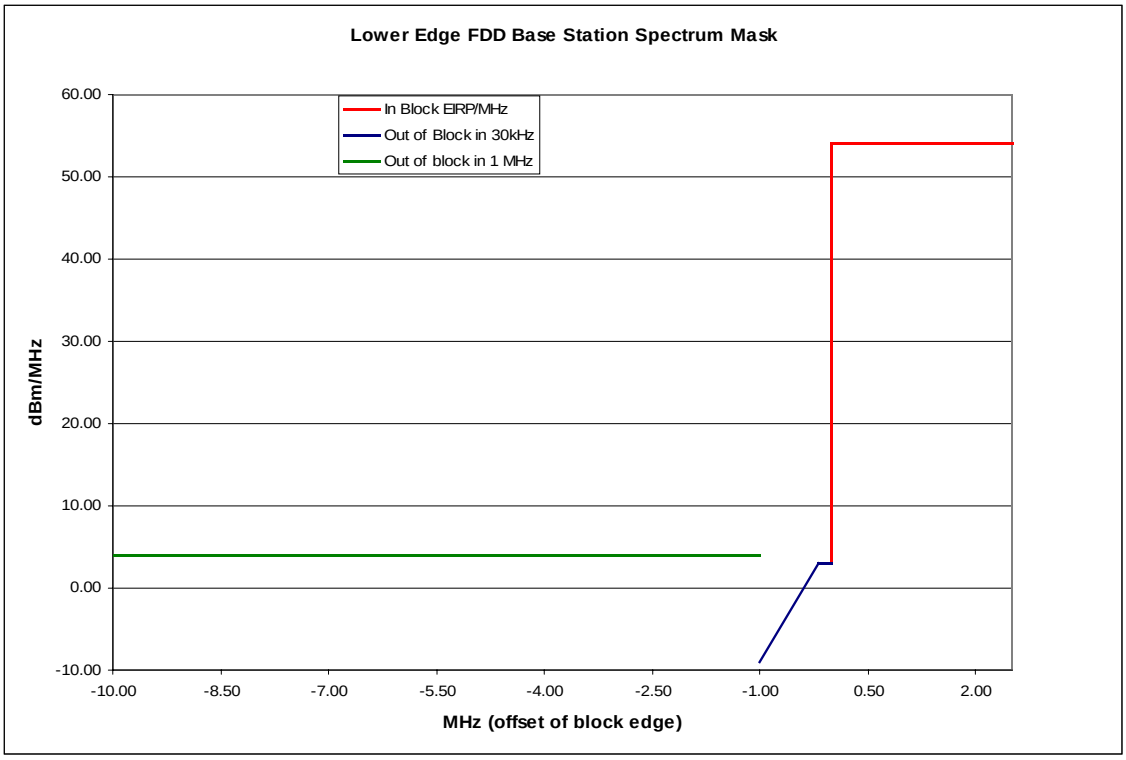
3.1.2 FDD Base Stations

Ook voor FDD BSs geldt een maximaal vermogen van 54 dBm/MHz. In onderstaande tabellen en figuren wordt de BEM getoond die afgeleid is van de 3GPP specificatie voor macro cellen.

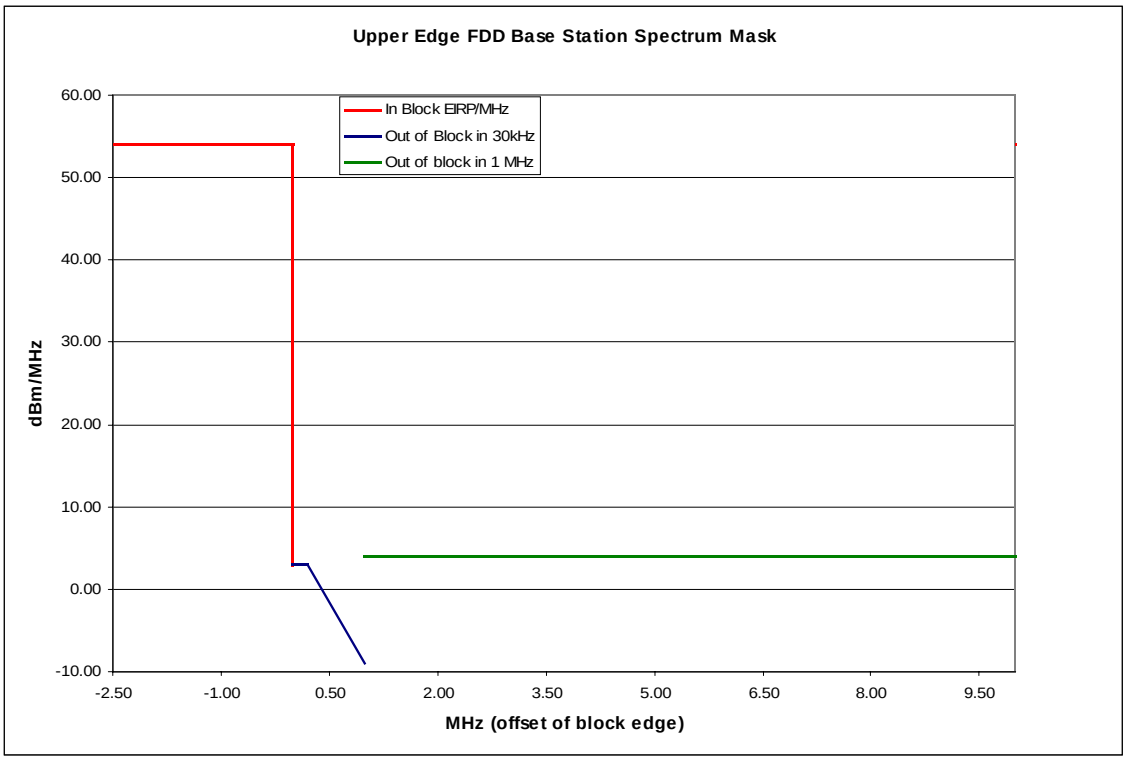
Offset from relevant block edge	Maximum mean EIRP
–10.0 to –5.0 MHz (lower edge)	+4 dBm/MHz
–5.0 to –1.0 MHz (lower edge)	+4 dBm/MHz
–1.0 to –0.2 MHz (lower edge)	+3 + 15(Δ_F + 0.2) dBm/30kHz
–0.2 to 0.0 MHz (lower edge)	+3 dBm/30kHz
0.0 to +0.2 MHz (upper edge)	+3 dBm/30kHz
+0.2 to +1.0 MHz (upper edge)	+3 – 15(Δ_F – 0.2) dBm/30kHz
+1.0 to +5.0 MHz (upper edge)	+4 dBm/MHz
+5.0 to +10.0 MHz (upper edge)	+4 dBm/MHz

Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)

Tabel 6: Base Station Out-of-block EIRP BEM for FDD



Figuur 9: Base Station EIRP BEM for FDD BS lower block edge



Figuur 10: Base Station EIRP BEM for FDD BS upper block edge

Beperkingen vanaf 10 MHz of meer voor een FDD Base Station (down-link)

Indien er geen technische coördinatie tussen operators plaatsvindt, geldt er voor frequenties vanaf 10 MHz of meer een extra reductie van 63 dB relatief tot het uitgezonden vermogen per MHz. Dit komt overeen met -9 dBm/MHz.

3.1.3 TDD of FDD Mobile/Terminal Stations

De EIRP of TX BEM voor de MS/Terminal Station (TS) voor zowel TDD en FDD is voornamelijk afgeleid van de 3GPP specificaties. Het maximale vermogen voor een MS is 24 dBm wat overeenkomt met 18 dBm/MHz. Voor een TS is dit 30 dBm (24 dBm/MHz)

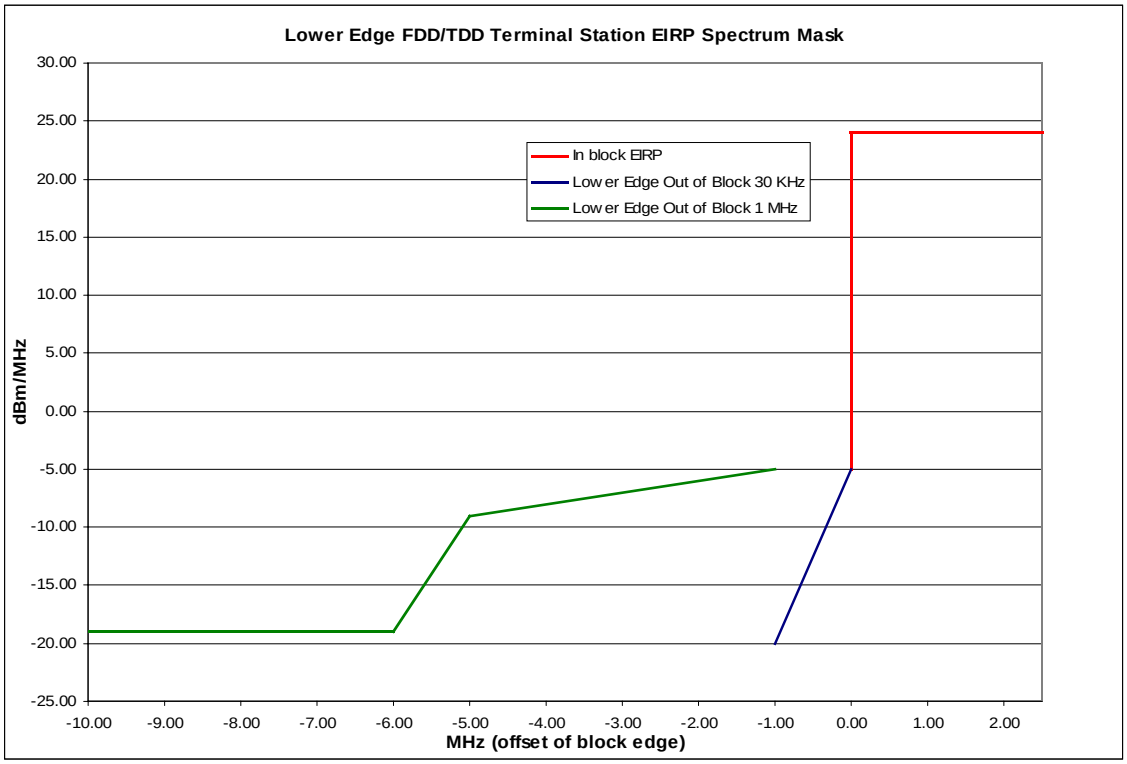
In onderstaande tabellen en figuren worden de BEMs voor zowel een MS als TS getoond. Afhankelijk van de situatie kan voor één van de twee BEMs worden gekozen. In bijvoorbeeld een landelijke omgeving zullen veel TSs worden gebruikt. In zo'n geval is de BEM van Figuur 11 en Figuur 12 beter geschikt. In stedelijke gebieden daarentegen is de BEM voor MS beter.

Offset from relevant block edge	Maximum mean EIRP
–10.0 to –6.0 MHz (lower edge)	–19 dBm/ MHz
–6.0 to –5.0 MHz (lower edge)	$-9 + 10(\Delta_F + 5.0)$ dBm/MHz
–5.0 to –1.0 MHz (lower edge)	$-5 + (\Delta_F + 1.0)$ dBm/MHz
–1.0 to 0.0 MHz (lower edge)	$-5 + 15(\Delta_F)$ dBm/30kHz
0.0 to +1.0 MHz (upper edge)	$-5 - 15(\Delta_F)$ dBm/30kHz
+1.0 to +5.0 MHz (upper edge)	$-5 - (\Delta_F - 1.0)$ dBm/MHz
+5.0 to +6.0 MHz (upper edge)	$-9 - 10(\Delta_F - 5.0)$ dBm/MHz
+6.0 to +10.0 MHz (upper edge)	–19 dBm/ MHz
Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)	

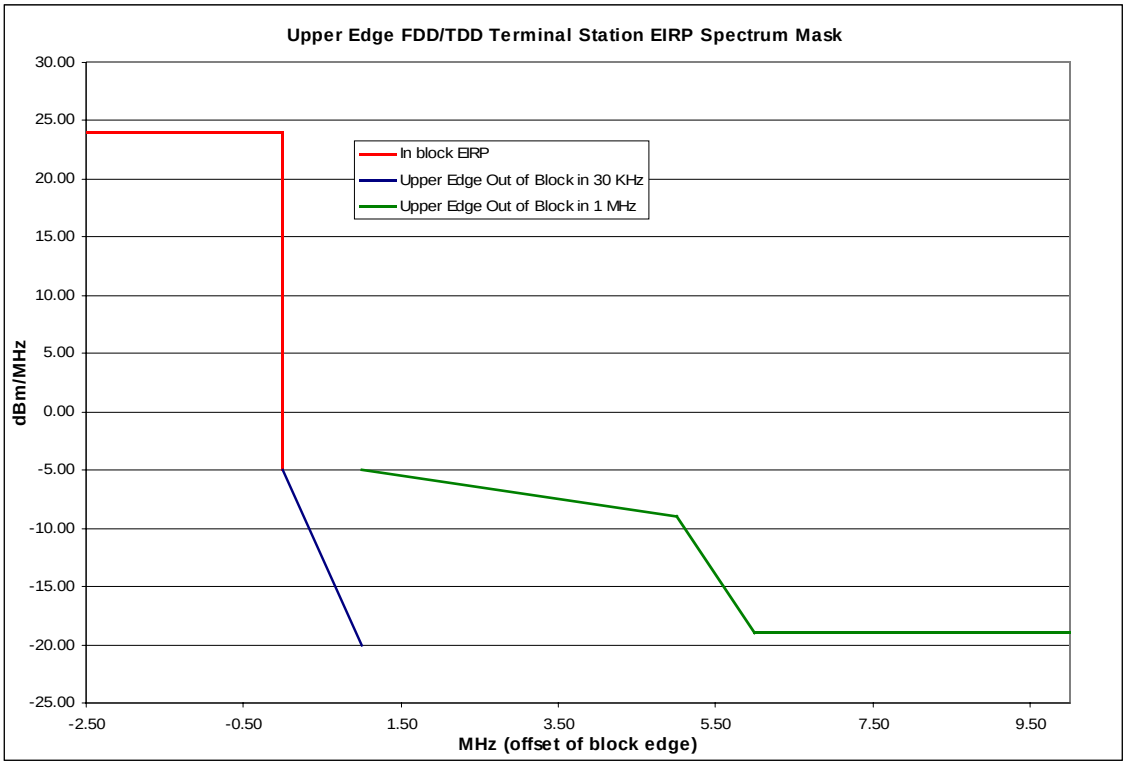
Tabel 7: TDD and FDD Mobile/Terminal Station out-of-block EIRP BEM

Offset from relevant block edge	Maximum mean EIRP
–10.0 to –6.0 MHz (lower edge)	–25 dBm/ MHz
–6.0 to –5.0 MHz (lower edge)	$-15 + 10(\Delta_F + 5.0)$ dBm/MHz
–5.0 to –1.0 MHz (lower edge)	$-11 + (\Delta_F + 1.0)$ dBm/MHz
–1.0 to 0.0 MHz (lower edge)	$-11 + 15(\Delta_F)$ dBm/30kHz
0.0 to +1.0 MHz (upper edge)	$-11 - 15(\Delta_F)$ dBm/30kHz
+1.0 to +5.0 MHz (upper edge)	$-11 - (\Delta_F - 1.0)$ dBm/MHz
+5.0 to +6.0 MHz (upper edge)	$-15 - 10(\Delta_F - 5.0)$ dBm/MHz
+6.0 to +10.0 MHz (upper edge)	–25 dBm/ MHz
Where: Δ_F is the frequency offset from the relevant block edge (in MHz)	

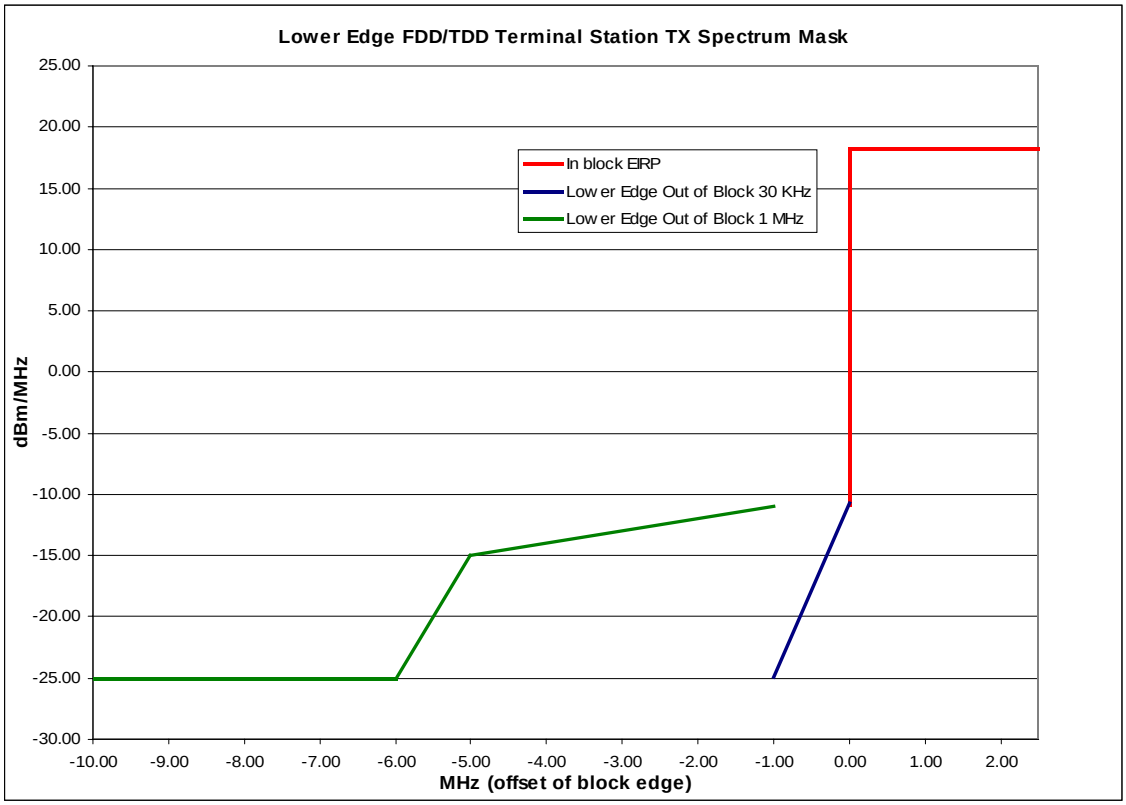
Tabel 8: TDD and FDD Mobile Station out-of-block TX BEM



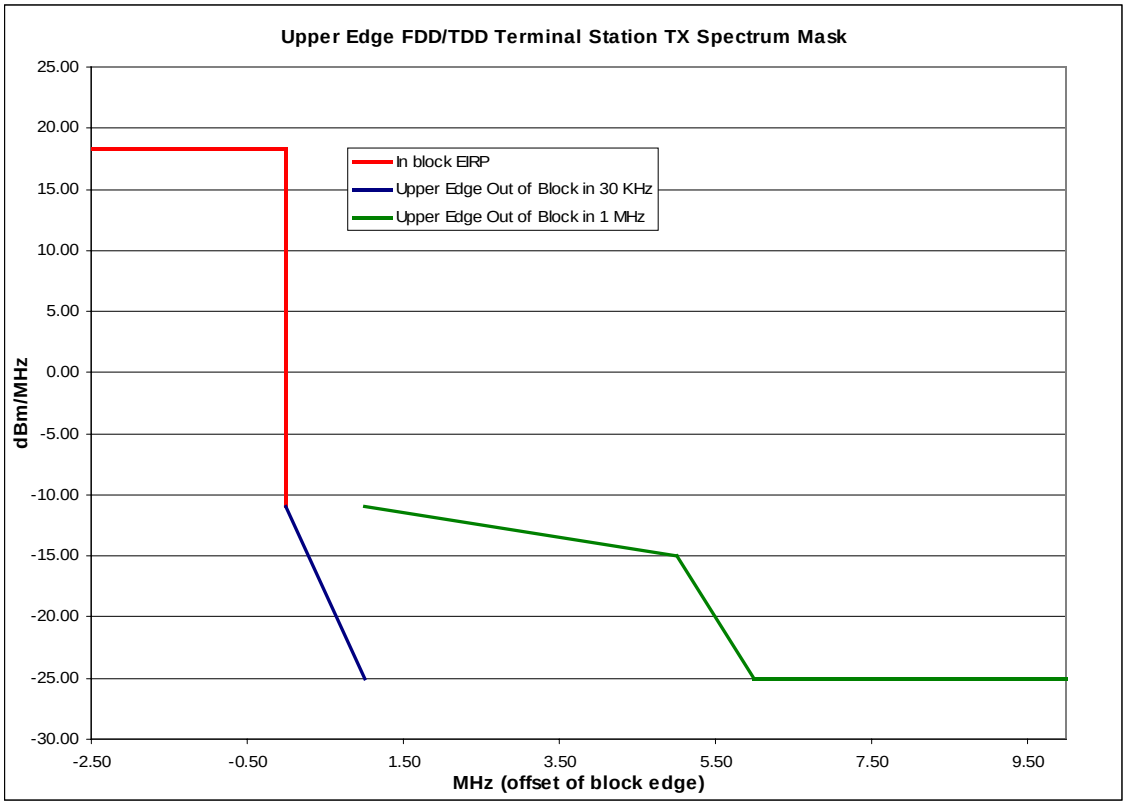
Figuur 11: Lower Edge TDD and FDD Terminal EIRP BEM



Figuur 12: Upper Edge TDD and FDD Terminal EIRP BEM



Figuur 13: Lower Edge TDD and FDD Mobile Station TX BEM



Figuur 14: Upper Edge TDD and FDD Moble Station TX BEM

3.2 Evaluatie EU BEM

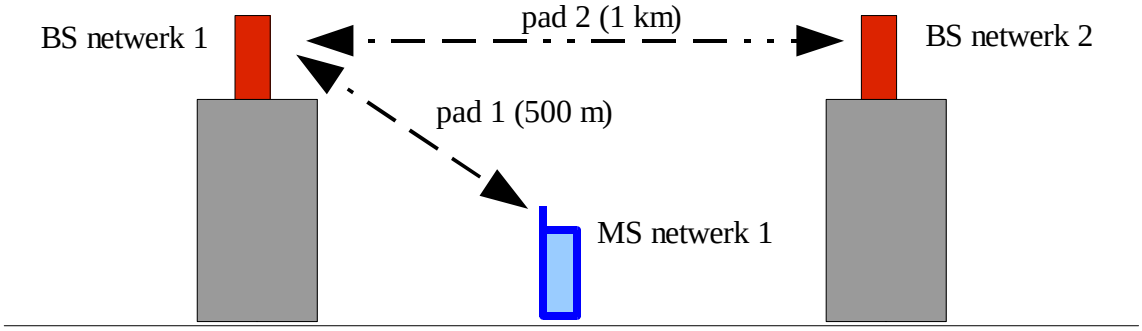
3.2.1 TDD BEM voor Base Stations

In het EU voorstel voor de BEM worden er twee alternatieven voorgesteld voor TDD frequentieblokken. In opties A worden er vermogensrestricties zowel aan de laagste alsmede aan de hoogste 10 MHz van een frequentieblok opgelegd. Deze optie geldt indien er geen verdere coördinatie met aangrenzende frequentieblokken wordt toegepast. In totaliteit worden dus aan 20 MHz van een frequentieblok beperkingen opgelegd qua zendvermogen.

Indien optie B wordt toegepast, wordt slechts aan de onderste 5 MHz van een frequentieblok vermogensbeperkingen opgelegd. In dit geval is wel coördinatie met aangrenzende frequentieblokken noodzakelijk. Echter, het rapport van Mason Communcations Ltd [8] heeft aangetoond dat met extra interferentie-beperkende maatregelen, gebaseerd op het ITU-R rapport M.2045 [10] (die geen coördinatie met andere frequentieblokken vereist), het technisch mogelijk is, om de Out-Of-Band (OOB) emissies met meer dan 70 dB te beperken op 10 MHz kanaalafstand (of meer). Indien, deze maatregelen worden geïmplementeerd is optie B ook zonder coördinatie mogelijk! Deze extra interferentie-beperkende maatregelen bestaan o.a. uit het toepassen van een extra filter in een base station [8].

Er is nog een belangrijk verschil tussen beide opties. De OOB emissies voor een kanaalafstand groter dan 10 MHz, zijn in optie B maximaal -22 dBm/MHz en in optie A -59 dBm/MHz. In de specificatie voor TDD BSs [12] staat beschreven dat voor co-existentie met TDD systemen -25 dBm/MHz wordt aangeraden.

Voorbeeld



Figuur 15: Voorbeeld van interferentie tussen aangrenzende TDD netwerken

In Figuur 15 is een schets weergegeven van twee aangrenzende TDD netwerken. De afstand tussen beide BSs is 1 km en er bevindt zich een MS van netwerk 1 tussen beide BSs in. Volgens Tabel A4 van [8] is de propagatie loss van pad 1 139,4 dB (kanaalmodel ITU-R M.1225) en voor pad 2 100,7 dB (kanaalmodel ITU-R PN.525). Verder zendt het MS uit met maximaal vermogen, 18 dBm/MHz. BS van netwerk 1 ontvangt dit signaal met een sterkte van -121,4 dBm/MHz (18 – 139,4). Voor succesvolle ontvangst dienen stoorsignalen ongeveer 6 dB lager te liggen [12]. Dit betekent dat in dit voorbeeld, de OOB emissies maximaal (-121,4 – 6 + 100,7) -26,4 dBm/MHz mogen zijn.

Uitgaande van de 3GPP specificaties en bovenstaand voorbeeld is het waarschijnlijk dat indien de

BEM van optie B wordt toegepast, er interferentie op zal treden met andere FDD en TDD systemen in de 2,6 GHz frequentieband.

3.2.2 FDD BEM voor Base Stations

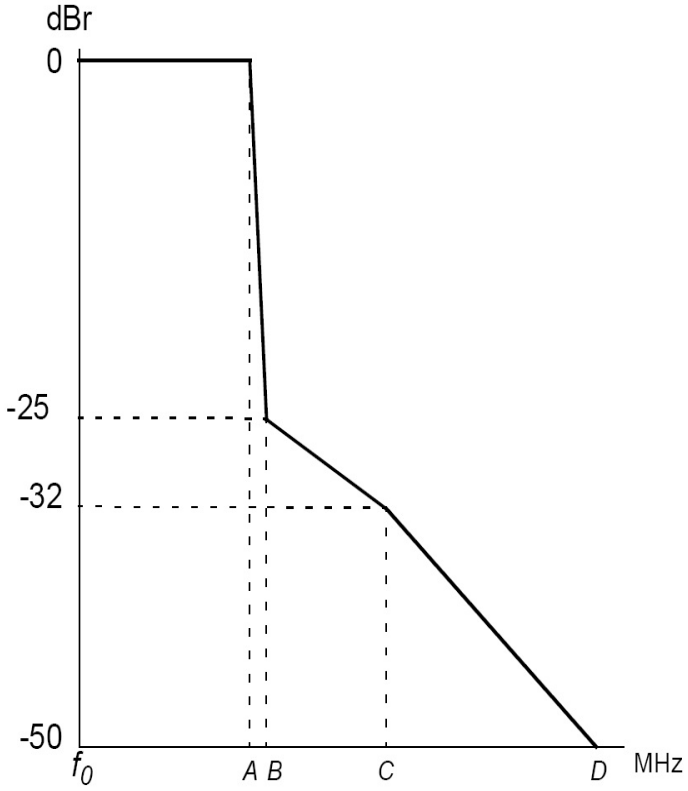
In het EU voorstel is er een BEM gedefinieerd voor FDD BSs. Indien er geen technische coördinatie tussen operators plaatsvindt, geldt voor frequenties vanaf 10 MHz dat de OBB emissies maximaal -9 dBm/MHz mogen zijn. Voor TDD BSs gelden strengere OOB emissie-eisen in het TDD en FDD up-link spectrum. Hierdoor is het aannemelijk dat als deze eisen ook niet worden toegepast voor FDD BSs, er in deze banden interferentie zal ontstaan. Hoofdstuk 5 behandelt dit onderwerp in meer detail.

3.2.3 TDD/FDD BEM voor Mobile/Terminal Stations

De BEM die wordt voorgesteld in het EU document, zijn in lijn met de specificaties van de 3GPP [13] [14]. Mobile/Terminals Stations worden in grote aantallen gemaakt en voor een relatief klein land, zoals Nederland, is het niet realistisch om aanvullende eisen te stellen aan de BEM. Hiervoor is simpelweg de Nederlandse markt te klein. Daarnaast zorgen de OOB emissies van een Mobile/Terminal Station alleen lokaal (< 10 m [8]) voor interferentie met andere TDD/FDD Mobile/Terminal Stations.

3.2.4 Mobiele WiMAX (IEEE 802.16e)

De BEM die voorgesteld wordt door de EU gaat uit van IMT-2000 in combinatie met de WiMAX familie van standaarden. Momenteel zijn er al voorstellen gedaan om de WiMAX standaard op te nemen in de IMT-2000 familie van standaarden [9]. De IEEE 802.16e standaard [15] vermeld dat de OOB emissies moeten voldoen aan lokale regelgeving. Daarnaast geldt voor WiMAX BSs de Transmit Spectrum Mask zoals weergegeven in Figuur 16 en Tabel 9. Deze mask is alleen gedefinieerd voor een kanaalbandbreedte van 10 of 20 MHz. De WiMAX Transmit Spectrum Mask is minder stringent dan die van de IMT-2000 standaard zoals gedefinieerd in Figuur 17. Een operator die kiest voor het uitrollen van een WiMAX netwerk zal daarom zonder aanvullende maatregelen minder efficiënt gebruik kunnen maken van zijn toegewezen frequentieblok vergeleken met een IMT-2000 netwerk. Dit inefficiënte frequentie-gebruik wordt dus niet veroorzaakt door het EU voorstel voor de BEM.



Figuur 16: Transmit Spectrum Mask voor WiMAX Base Stations

Kanaalbandbreedte	**A**	**B**	**C**	**D**
20 MHz	9,5	10,9	19,5	29,5
10 MHz	4,75	5,45	9,75	14,75

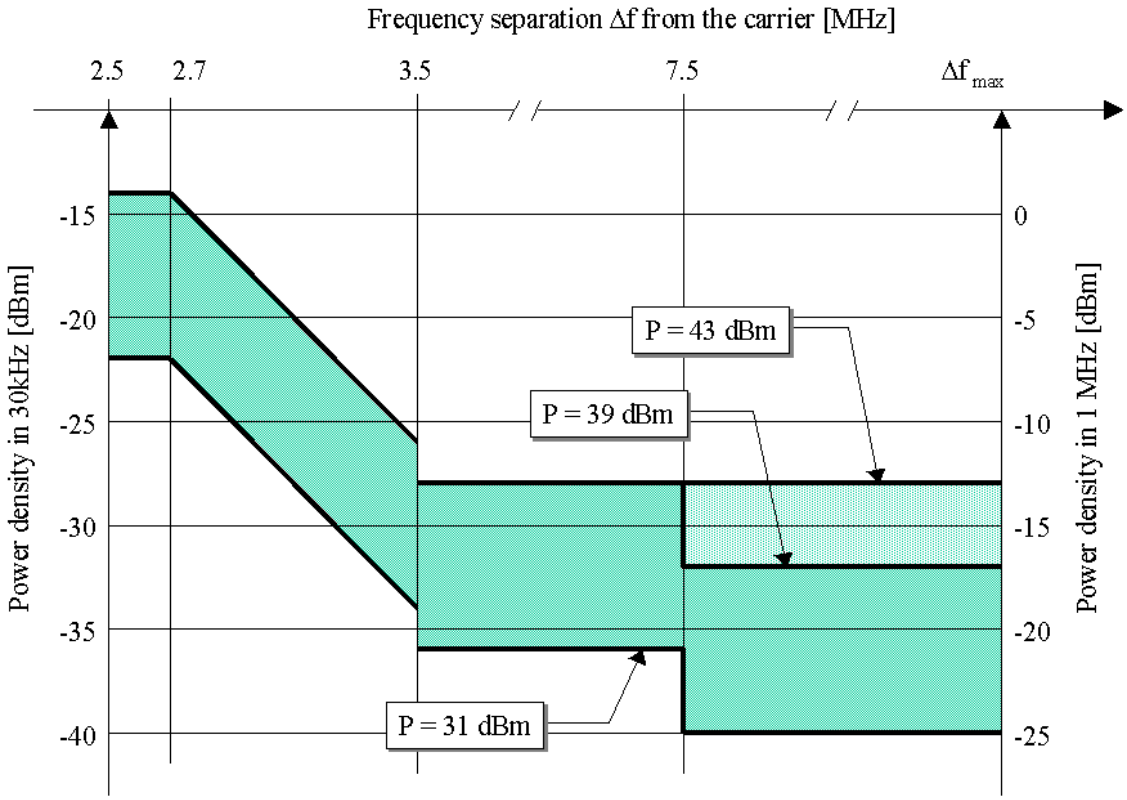
Tabel 9: Transmit Spectrum Mask parameters voor WiMAX Base Stations

3.2.5 Wifi (IEEE 802.11g/n)

De 802.11g/n standaard is geen lid van de IMT-2000 en er zijn ook geen initiatieven bekend die harmonisatie hiermee mogelijk zullen maken.

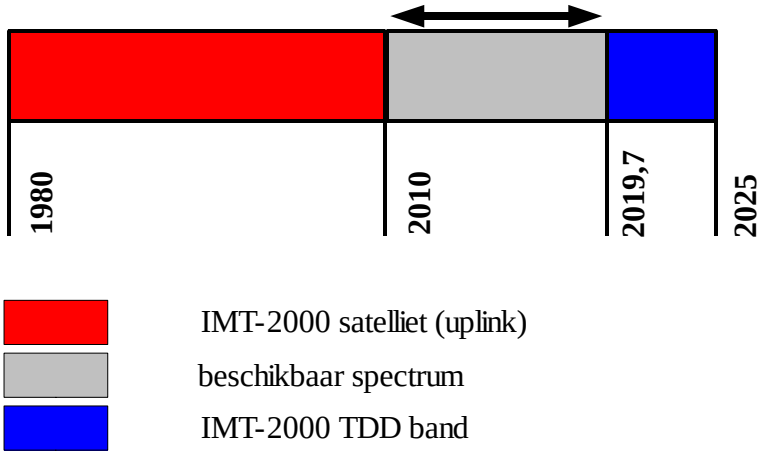
De Transmit Spectrum Mask van de 802.11g/n standaard is minder stringent dan voor IMT-2000 systemen. Zie Figuur 17 voor het Transmit Spectrum Mask van een IMT-2000 BS en Figuur 4 voor die van de 802.11a standaard (, welke ook van toepassing is op de 802.11g/n). De reden voor een minder stringente Transmit Spectrum Mask komt doordat 802.11g/n ontworpen is voor

laagvermogentoepassingen. Om interferentie met andere systemen te voorkomen, is het aan te raden om de BEM voor TDD BS ook toe te passen op Wifi (IEEE 802.11g/n) in de 2,6 GHz band.



Figuur 17: Transmit Spectrum Mask van een TDD Base Station (alleen Out-Of-Band). P geeft het vermogen in de gewenste band aan [12].

4 Externe interferentie



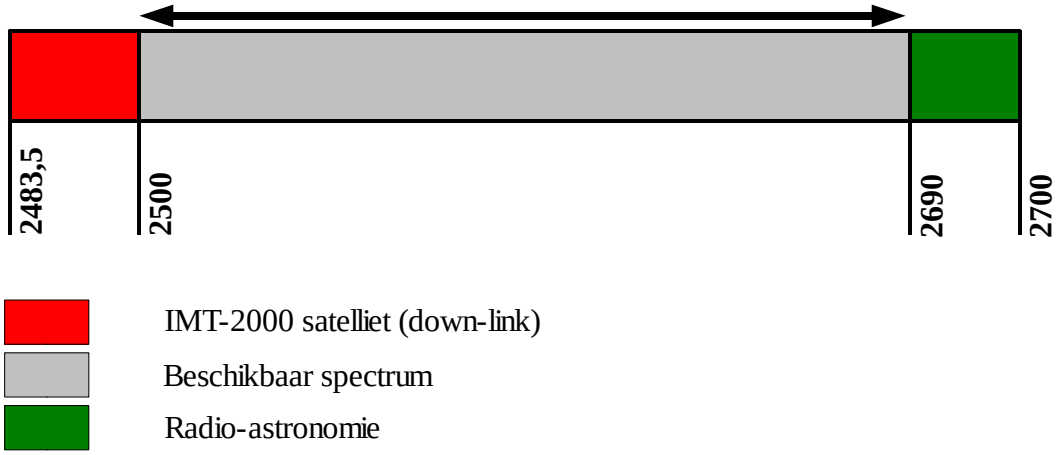
Figuur 18: 2010 – 2019,7 MHz en naburige banden

4.1 2010 – 2019,7 MHz

In Figuur 18 wordt het beschikbare spectrum en de relevante naburige kanalen weergegeven. De lower edge van deze frequentieband grenst aan een Mobile Satelite Service (MSS) band voor IMT-2000 toepassingen [16]. Hierbij wordt de band 1980 tot 2010 MHz gebruikt voor communicatie van aarde naar satelliet (up-link) en de frequentieband 2170 tot 2200 MHz als down-link. In [17] is onderzoek gedaan naar interferentie van UMTS TDD systemen op onder andere de 1980 – 2010 MHz band. Uit dit onderzoek blijkt dat er een minimale guard-band van 500 kHz nodig is tussen de MSS frequentieband en de 2010-2019,7 MHz band om interferentie te voorkomen. Deze guard-band heeft als doel om de interferentie van het TDD netwerk op de MSS up-link band te verlagen naar een acceptabel niveau.

De upper edge van het beschikbare spectrum grenst aan een ander, reeds uitgegeven, IMT-2000 TDD kavel [16]. In sectie 3.1 is aangeven, dat er tussen twee TDD kavels minimaal een ruimte van 5 MHz moet worden gereserveerd waarvoor vermogensrestricties gelden. Hiermee wordt de interferentie tussen aangrenzende twee TDD netwerken beperkt. Voor de band 2015 – 2019,7 MHz is het daarom aan te bevelen om het maximale zendvermogen te beperken tot 28 dBm/MHz. Zonder deze beperkingen zal er interferentie met het aangrenzende IMT-2000 TDD netwerk optreden. Co-existentie is dan alleen mogelijk indien de minimale afstand tussen BSs van de verschillende netwerken groter dan 1 km is [8].

4.2 2500 – 2690 MHz



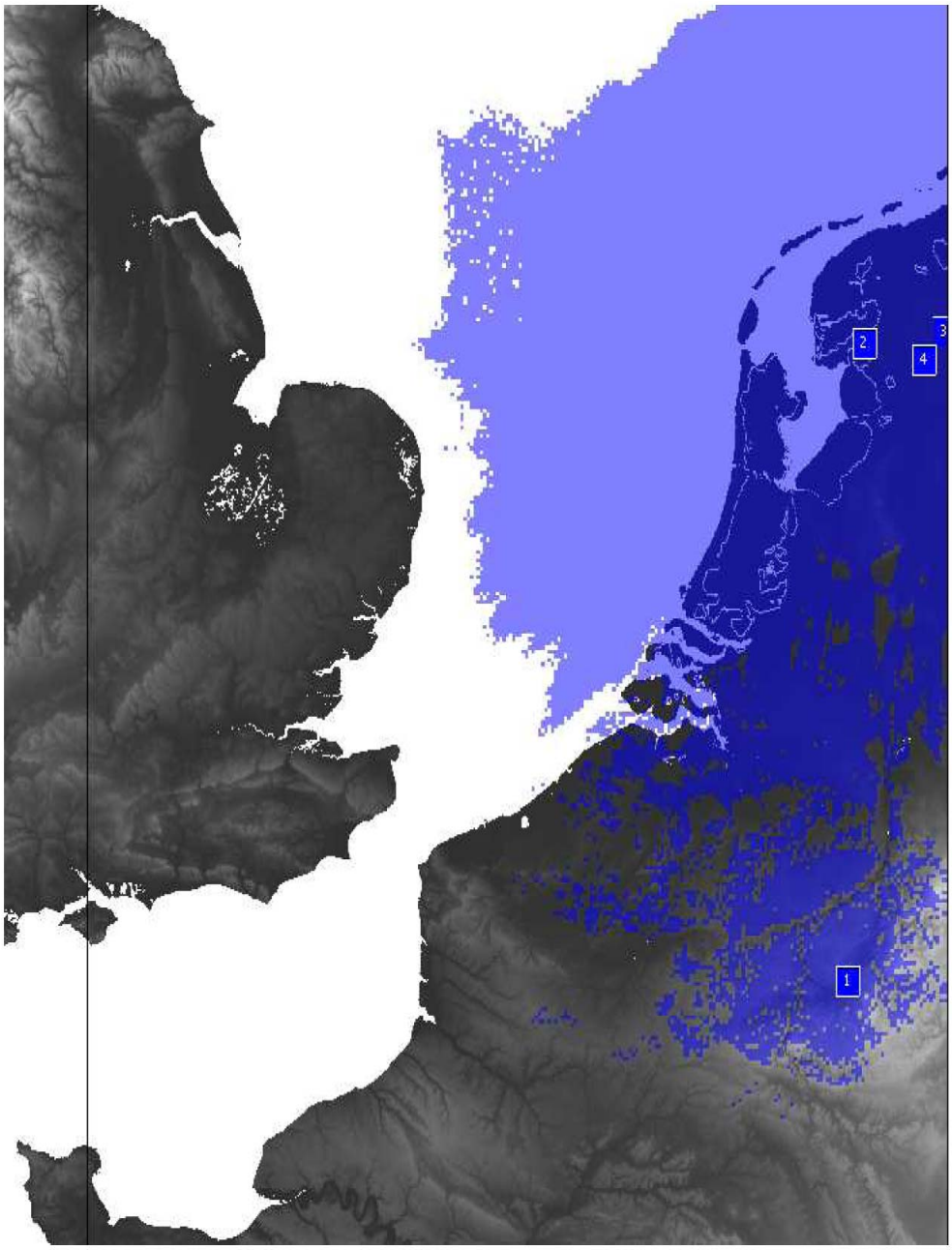
Figuur 19: 2500 - 2690 MHz en naburige banden

In Figuur 19 wordt het beschikbare spectrum in de 2,6 GHz band en de relevante naburige kanalen [16] weergegeven. De lower edge van deze frequentieband grenst aan een MSS band en is uitgegeven aan Globalstar. Het Globalstar systeem gebruikt de band 2483,5 – 2500 MHz voor communicatie van satelliet naar aarde. Het onderste deel van de 2500 – 2690 MHz band wordt uitgegeven voor FDD up-link communicatie. Dit geldt voor alle scenario's in Hoofdstuk 1. Er kan daarom alleen interferentie optreden tussen MSS MSs en FDD MSs. Uit [8] blijkt dat er alleen interferentie tussen beide MSs optreedt wanneer de afstand kleiner dan 10 meter is. Dit geldt zowel voor een kanaalafstand van 5 MHz en 10 MHz.

4.2.1 Radioastronomie

De upper edge van het frequentiespectrum 2500 – 2690 MHz grenst aan een radioastronomie frequentieband. Radioastronomie-frequenties zijn passief, dat wil zeggen er worden alleen signalen uit de ruimte ontvangen. Om deze reden mogen de OOB emissies van naburige frequentiekavels niet hoger zijn dan -187 dBm/MHz in de frequentieband 2690 – 2700 MHz [18]. Met deze gegevens kan een omgekeerde coverage plot worden gemaakt [2], zie Figuur 20. Deze figuur geeft aan waar het onmogelijk is om een UMTS BS in de aangrenzende frequentiekavel 2685 – 2690 MHz te plaatsen. Een UMTS BS in het blauwe gebied zou namelijk de norm van -187 dBm/MHz overschrijden. Daarnaast zal een TDD MS (2685 – 2690 MHz) in een gebied met een straal van 30 tot 50 km rondom een radioastronomie-locatie storing veroorzaken [18]. Voor andere kavels ligt de toegestane OOB emissies voor TDD MSs op -47 dBm [14] en dit voorkomt interferentie met de radioastronomie.

Naast de 2690 – 2700 MHz band is **ook** de band 2655 – 2670 MHz toegewezen aan radioastronomie gebruik [16]. Echter, de radioastronomie toepassing is secundair gebruik voor deze band en zal daarom niet meegenomen worden in dit onderzoek. Met bovenstaande gegevens is het aan te bevelen om de kavel 2685 – 2690 MHz in te zetten als guard band.



Figuur 20: Omgekeerde coverage plot voor een enkele UMTS base station in de aangrenzende frequentiekavel 2685 – 2690 MHz (het blauwe gebied geeft aan waar geen UMTS base station kan worden geplaatst, omdat dan de interferentie threshold wordt overschreden.) – Radioastronomie plaatsen zijn blauwe vierkantjes [2].

Ook voor TDD/FDD BSs moeten beperkingen worden opgelegd in de buurt van een radioastronomie-locatie. De storing die een radioastronomie-locatie maximaal mag ondervinden in de radioastronomie-band (2690 – 2700 MHz) is -187 dBm/MHz. Deze waarde is de totale interferentie van alle netwerken. Voor een afzonderlijk TDD/FDD netwerk wordt voorgesteld om een 6 dB marge te nemen. De propagatie loss tussen twee BSs is op een kilometer afstand 100,7 dB (appendix A van [8]). Op 8 km afstand is deze loss 118,7 dB (uitgaande van een free-space model). Indien het niet toegestaan is om een BS binnen 8 km van een radioastronomie-locatie te bouwen, dienen de maximale OOB emissies in de 2690 – 2700 MHz band: -187 – 6 + 118,7 = -74,3

dBm/MHz te zijn. (Volgens [2] is de antenna gain van een antenne voor de radioastronomie 0 dBi (standard side lobe antenna gain).

Voor Nederland zijn behalve de radioastronomie-locaties Dwingeloo en Westerbork ook de radioastronomie-locatie in Effelsberg net over de grens bij Venlo in Duitsland van belang.

4.3 Interferentie van en naar het buitenland

In de ERC aanbeveling 01-01 [1] zijn richtlijnen weergegeven om interferentie met het buitenland te beperken. Voor FDD systemen mag een BS geen hogere veldsterkte produceren dan 37 dBμV/m/5 MHz op een hoogte van 3 m op de landsgrens. Voor TDD systemen geldt een waarde van 21 dBμV/m/5 MHz. Hogere waarden zijn mogelijk indien er met het buitenland wordt gecoördineerd.

4.3.1 Gevolgen voor Nederland

De veldsterktes die hierboven zijn genoemd, kunnen omgerekend worden naar dBm. Indien uitgegaan wordt van een standaard dipool antenne [19], is de omrekenfactor:

$$P_{rx} = E - 143.5$$

waarbij E de veldsterkte is en P_rx het ontvangen vermogen in dBm.

De gegeven veldsterktes zijn op 3 m hoogte en niet op een typische base station hoogte van 40 à 50 m. Volgens [19] is er een veldsterkte-verschil van 10 dB tussen 1.5 m en 10 m hoogte. In [20] wordt een verschil van 3 dB aangegeven tussen een antenne op 10 m hoogte en op 37,5 m. Uitgaande van beide getallen, zal er ongeveer 12 dB verschil zijn tussen een antenne op 3 m hoogte en op 45 m hoogte. Dit betekent dat voor FDD systemen de interferentie uit het buitenland -101,5 dBm/MHz zal zijn en voor TDD systemen -117 dBm/MHz. Deze waardes zijn veel lager dan de eisen die gesteld worden in het EU voorstel voor de BEM. Het is daarom niet aannemelijk dat Nederland storing uit het buitenland zal ontvangen of veroorzaken.

Echter, een onderzoek van de Ofcom [2] heeft laten zien dat in de Britse situatie er in grote gebieden interferentie van uit zowel Frankrijk alsmede Ierland op kan treden. Dit onderzoek is niet uitgegaan van de ERC aanbeveling 01-01, maar is uitgegaan van de 3GPP specificaties (, dus geen vermogensrestricties naar het buitenland) . Storing werd hierbij gedefinieerd, als het ontvangen vermogen groter dan -110 dBm was. Indien Nederland en het buitenland, de ERC aanbeveling 01-01 als uitgangspunt neemt, zal Nederland geen storing uit het buitenland ontvangen of veroorzaken.

5 Technische randvoorwaarden

Met de gegevens van voorgaande hoofdstukken kunnen de technische voorwaarden voor iedere kavel en scenario op worden gesteld.

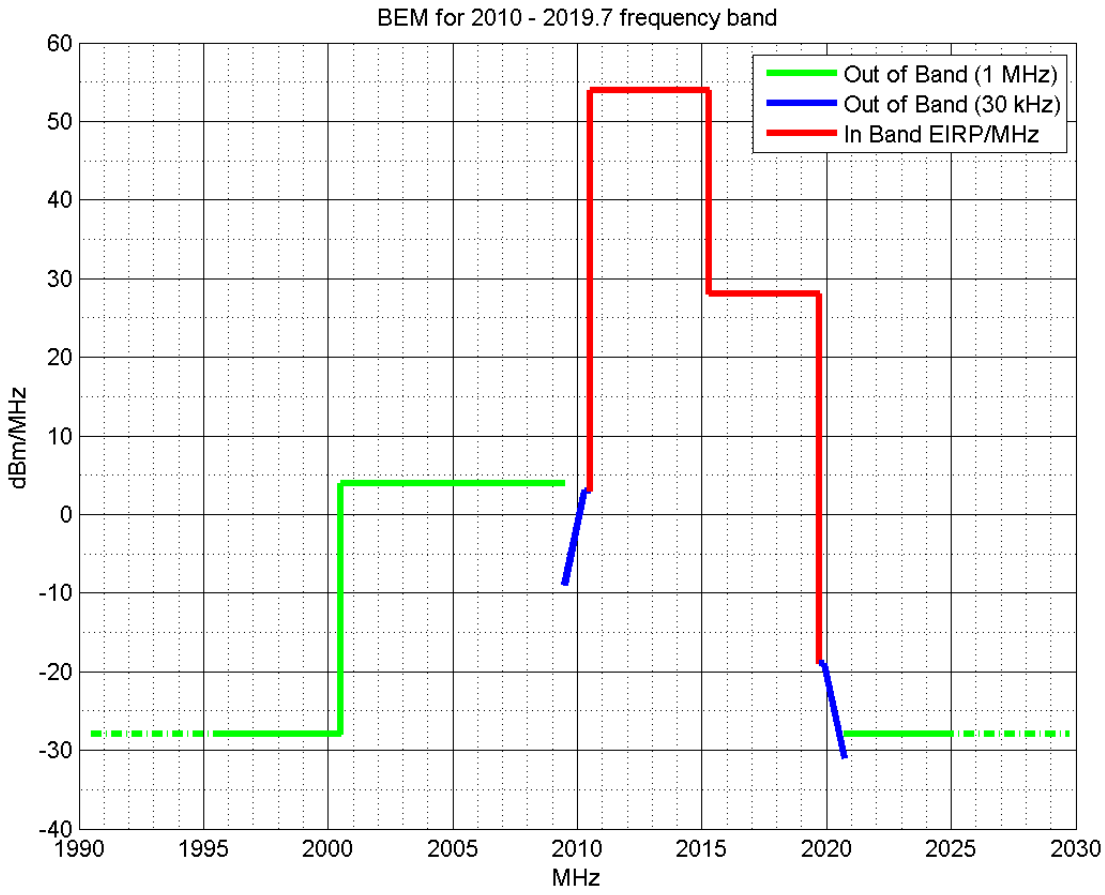
5.1 2010 – 2019,7 MHz

In Figuur 21 wordt de BEM voor TDD BSs getoond voor de 2010 – 2019,7 frequentieband:

- Er wordt aangenomen dat één partij de gehele 9,7 MHz krijgt toegewezen.
- Er is een 500 kHz guard band aan de lower edge gecreëerd om interferentie met de MSS frequentieband te beperken (gebaseerd op ERC report 65 [17]).
- De upper edge grenst aan een andere TDD frequentiekavel. Om verstoring met deze kavel te voorkomen wordt aan het bovenste deel van de kavel een beperking opgelegd aan het zendvermogen. Hier mag maximaal met 28 dBm/MHz (pico cel vermogen) worden uitgezonden. Deze beperking is gebaseerd op de BEM in [11].
- De co-existentie eisen worden gevolgd van de 3GPP TDD standaard voor TDD BSs [12] in de TDD kavel dat grenst aan de upper edge van het uit te geven spectrum (2015 – 2019,7 MHz). De maximale EIRP voor co-existentie is -28 dBm/MHz. Voor de MSS band geldt deze eis niet en worden de co-existentie eisen gevolgd vanaf 15 MHz kanaalafstand.
- De BEM voor MSs en TSs is gegeven in Figuur 11, 12, 13 en 14.

Frequentie	**Maximale gemiddelde EIRP**
f < 2000,5 MHz	-28 dBm/MHz
2000,5 < f < 2009,5 MHz	4 dBm/MHz
2009,5 < f < 2010,3 MHz	3 dBm – 15 ((2010,3 - f)/MHz) dB/30kHz
2010,3 < f < 2010,5 MHz	3 dBm/30kHz
2010,5 < f < 2015,5 MHz	54 dBm/MHz
2015,5 < f < 2019,7 MHz	28 dBm/MHz
2019,7 < f < 2019,9 MHz	-19 dBm/30 kHz
2019,9 < f < 2020,7 MHz	-19 dBm – 15 ((f – 2019,9)/MHz) dB/30kHz
f > 2020,7 MHz	-28 dBm/MHz

Tabel 10: TDD Base Station EIRP eisen voor de 2010 – 2019,7 BEM



Figuur 21: BEM voor de 2010 - 2019,7 frequentieband

5.2 2500 – 2690 MHz

In deze sectie worden de BEM voor de TDD en FDD BSs gegeven. Deze zijn gebaseerd op gegevens uit voorgaande hoofdstukken. Voor de indeling van deze frequentieband bestaan er drie scenario's (Hoofdstuk 1). In de volgende secties wordt de BEM voor de verschillende toepassingen weergegeven.

5.2.1 FDD up-link spectrum

Het onderste deel van het uit te geven spectrum, bestaat uit een FDD up-link frequentieband. Deze band is bedoeld voor communicatie van een FDD MS naar een FDD BS. Voor deze FDD up-link band wordt voorgesteld om geen BEM te specificeren. De reden hiervoor is dat iedere standaard zijn eigen BEM definieert voor MSs. MSs worden in grote aantallen gemaakt en voor een relatief klein land, zoals Nederland, is het niet realistisch om aanvullende eisen te stellen aan de BEM. Het specificeren van een BEM voor deze FDD uplink band kan dus de technologie-neutraliteit in gevaar brengen.

5.2.2 TDD spectrum

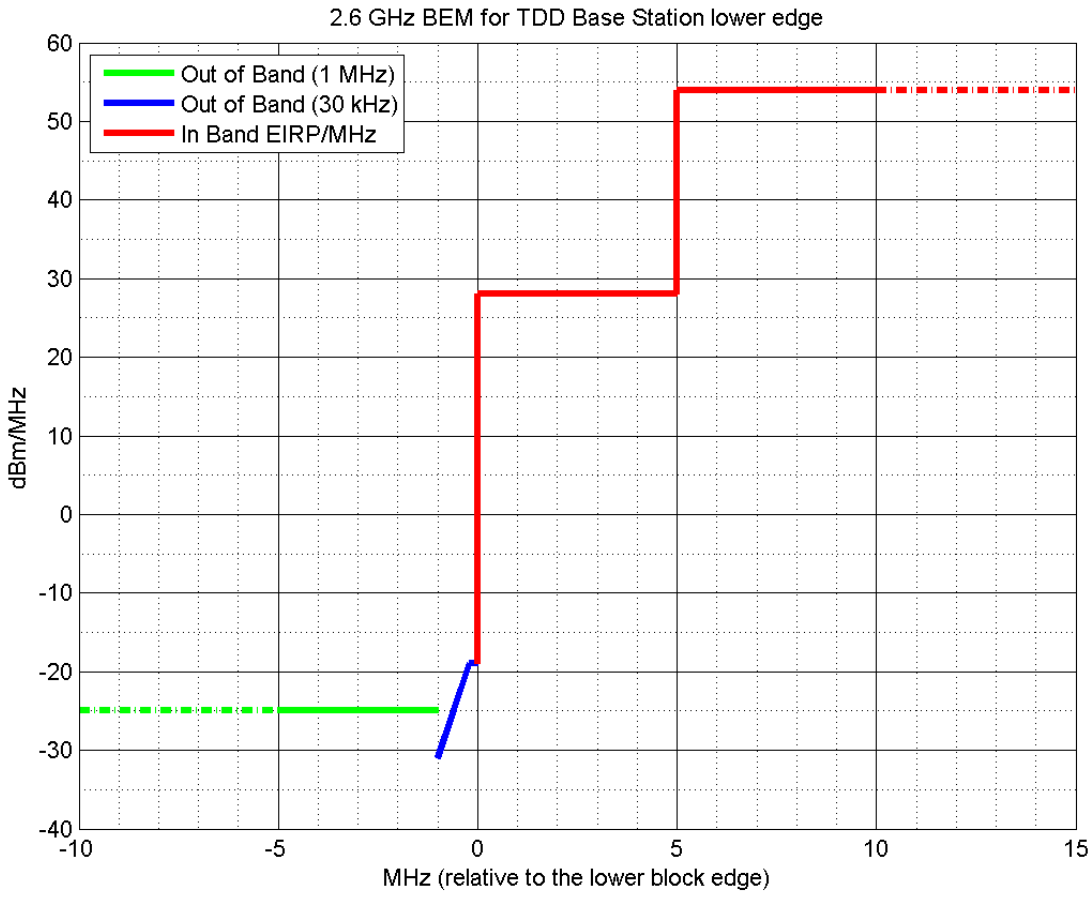
De BEM voor het TDD spectrum is gebaseerd op de 3GPP specificaties voor TDD BSs [12]:

- Het EU voorstel voor de TDD BS BEM wordt zoveel mogelijk gevolgd (optie B). Deze is ook gebaseerd op de 3GPP specificaties voor TDD BSs.
- De OOB emissies in de TDD band zijn maximaal -25 dBm/MHz. De FDD up-link band heeft een strengere OOB emissie-eis, maar voorgesteld wordt om de minst stringente eis van -25 dBm/MHz ook te laten gelden voor deze band. Dit zal leiden tot een kleine toename van interferentie in de FDD up-link, maar zorgt voor een eenvoudigere en technologie-neutrale BEM.
- Interferentie tussen TDD frequentieblokken wordt beperkt door aan de onderste 5 MHz van een TDD frequentieblok vermogensrestricties op te leggen van 28 dBm/MHz (pico cel niveau, optie B in het EU voorstel). Indien het frequentieblok slechts 5 MHz groot is, geldt deze eis ook. De keuze voor de onderste 5 MHz is willekeurig, dit had ook de bovenste 5 MHz kunnen zijn. De onderste 5 MHz zal naast deze vermogensrestrictie ook meer interferentie ontvangen van het aangrenzende TDD netwerk. M.a.w. de onderste 5 MHz is een soort guard band, maar de BEM zorgt ervoor dat een operator deze kavel alsnog beperkt kan gebruiken.
- Om interferentie op kanaalafstanden groter dan 5 MHz te beperken, wordt voorgesteld om de OOB emissie-eis voor co-existentie met andere TDD netwerken te laten gelden van 5 MHz tot de upper edge en 0 MHz tot de lower edge van een TDD frequentieblok. Een operator kan voldoen aan deze eis door een extra filter te plaatsen [8].
- De bovenste 5 MHz van het TDD spectrum dat grenst aan de FDD down-link band zijn geen beperkingen qua vermogen opgelegd. Echter, deze 5 MHz is beperkt te gebruiken vanwege interferentie door het aangrenzende FDD down-link kavel.
- De BEM geldt alleen indien er geen coördinatie plaatsvindt met de aangrenzende operator.

De BEM voor de lower en upper edge van een TDD kavel zijn weergegeven in Figuur 22, Figuur 23, Tabel 11 en Tabel 12.

Frequentie	**Maximale gemiddelde EIRP**
f < -1 MHz	-25 dBm/MHz
-1 < f < -0,2 MHz	-19 dBm + 15 ((f + 0.2)/MHz) dB/30kHz
-0,2 < f < 0 MHz	-19 dBm/30kHz
0 < f < 5 MHz	28 dBm/MHz
f > 5 MHz	54 dBm/MHz

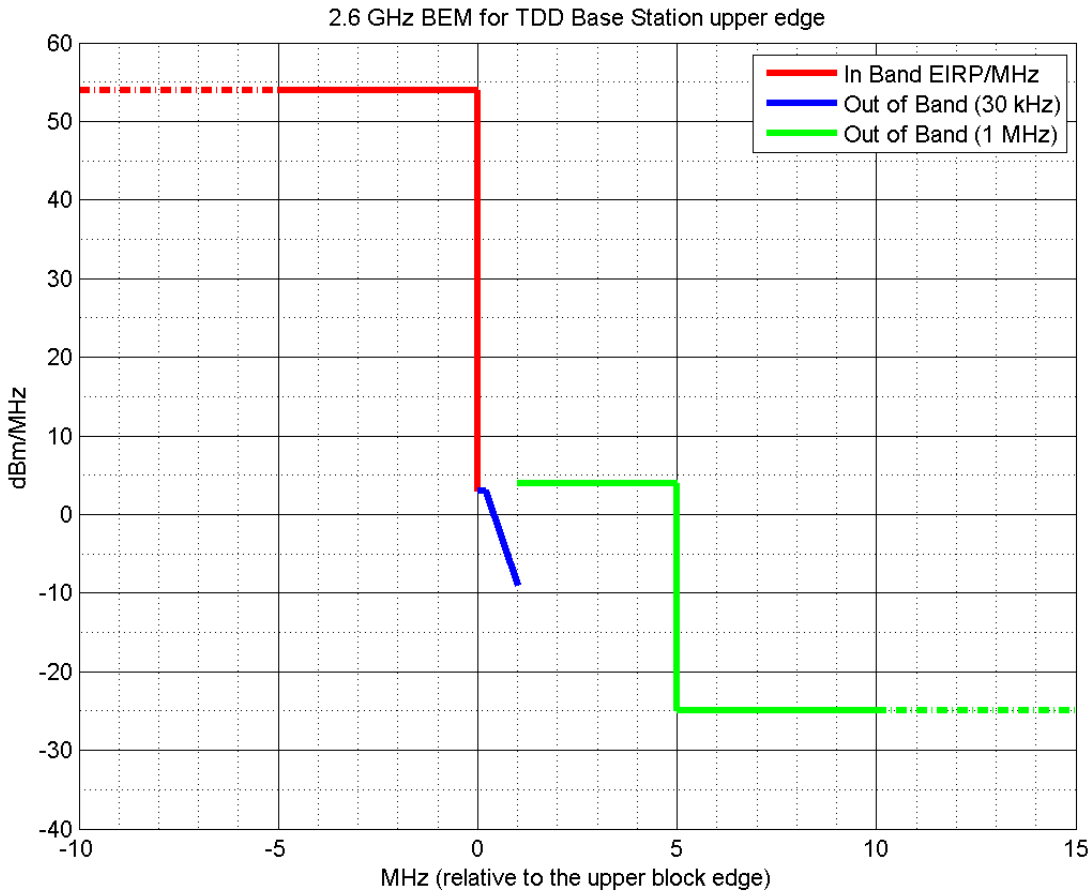
Tabel 11: TDD Base Station EIRP eisen voor de lower edge



Figuur 22: BEM voor de lower edge van een TDD frequentieblok

Frequentie	**Maximale gemiddelde EIRP**
f < 0 MHz	54 dBm/MHz
0 < f < 0,2 MHz	-14 dBm/30 kHz
0,2 < f < 1 MHz	-14 dBm - 15 ((f - 0.2)/MHz) dB / 30kHz
1 < f < 5 MHz	-13 dBm/MHz
f > 5 MHz	-25 dBm/MHz

Tabel 12: TDD Base Station EIRP eisen voor de upper edge



Figuur 23: BEM voor de upper edge van een TDD frequentieblok

Extra TDD spectrum boven de FDD down-link in Scenario 2 en 3

Voor dit deel van het TDD spectrum gelden nog extra randvoorwaarden.

- De frequentiekavel 2685 – 2690 MHz moet ingezet worden als guard band, om interferentie met de astronomie-band te voorkomen.
- Er wordt aangenomen dat de minimale afstand van een TDD BS tot een radioastronomie-locatie 8 km is. Dan geldt dat de OOB emissies in de 2655 – 2700 MHz band maximaal -75 dBm/MHz mogen zijn.
- In de FDD down-link band gelden minder strengere eisen voor de OOB emissies. In deze band mogen deze emissies van TDD netwerken maximaal -9 dBm/MHz zijn. Zie ook Sectie 5.2.3.

5.2.3 FDD down-link spectrum

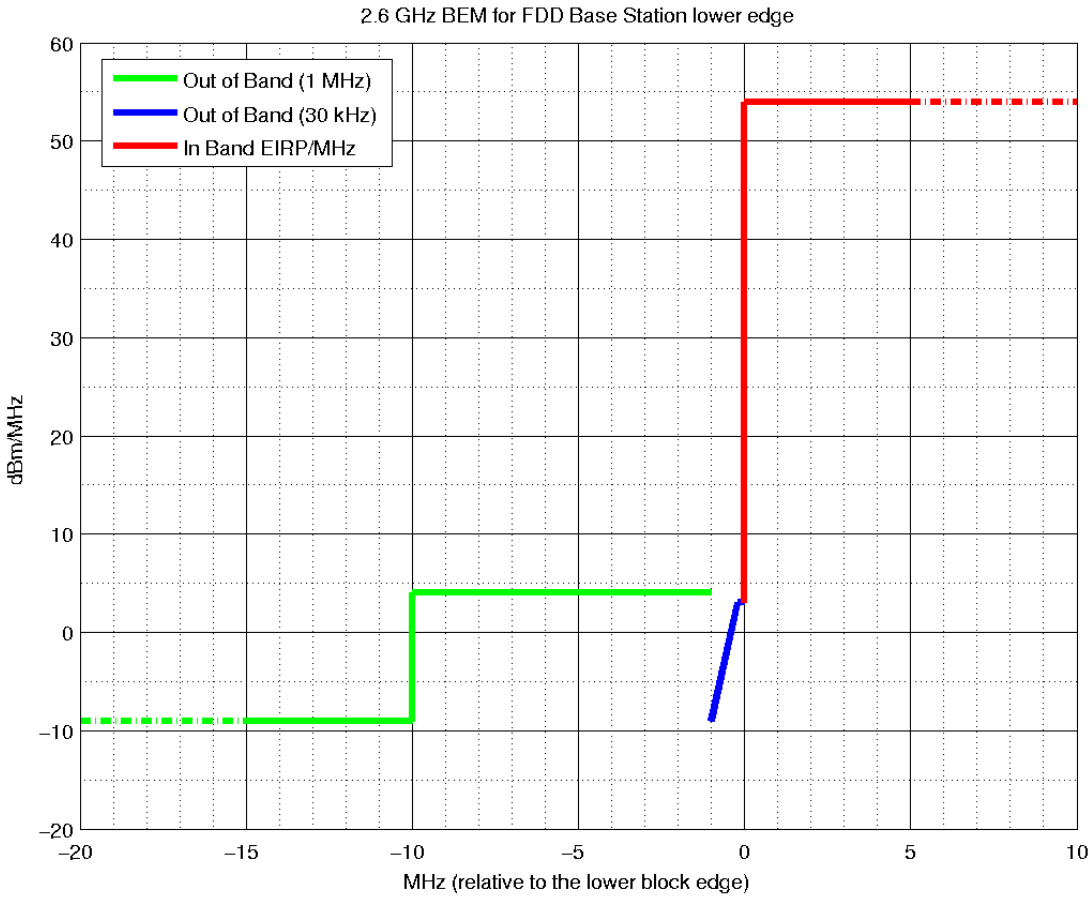
De BEM voor het FDD down-link spectrum is gebaseerd op de 3GPP specificaties voor FDD BSs [21]:

- Het EU voorstel voor de FDD BS BEM wordt zoveel mogelijk gevolgd. Deze is ook gebaseerd op de 3GPP specificaties voor FDD BSs.
- De OOB emissie-eisen voor FDD netwerken in de FDD down-link band zijn 4 dBm/MHz. Vanaf 10-MHz kanaalafstand geldt een eis van -9 dBm/MHz. Buiten deze band gelden strengere eisen en voorgesteld wordt om de OOB emissie-eis van -25 dBm/MHz te gebruiken. Deze eis is gesteld aan TDD netwerken en geld voor het TDD en FDD up-link spectrum. Zie ook Sectie 5.2.2.
- De frequentiekavel 2685 – 2690 MHz moet ingezet worden als guard band om interferentie met de astronomie-band te voorkomen. In het geval van Scenario 1 betekent dit, dat ook de FDD up-link frequentiekavel (2565 – 2570 MHz) niet kan worden gebruikt.
- De BEM geldt alleen indien er geen coördinatie plaatsvindt met de aangrenzende operator.

De BEM voor de lower en upper edge van een FDD kavel zijn weergegeven in Figuur 24, Figuur 25, Tabel 13 en Tabel 14.

Frequentie	**Maximale gemiddelde EIRP**
f < -10 MHz	-9 dBm/MHz
-10 f < -1 MHz	4 dBm/MHz
-1 < f < -0,2 MHz	3 dBm + 15 ((f + 0.2)/MHz) dB/30kHz
-0,2 < f < 0 MHz	3 dBm/30kHz
f > 0 MHz	54 dBm/MHz

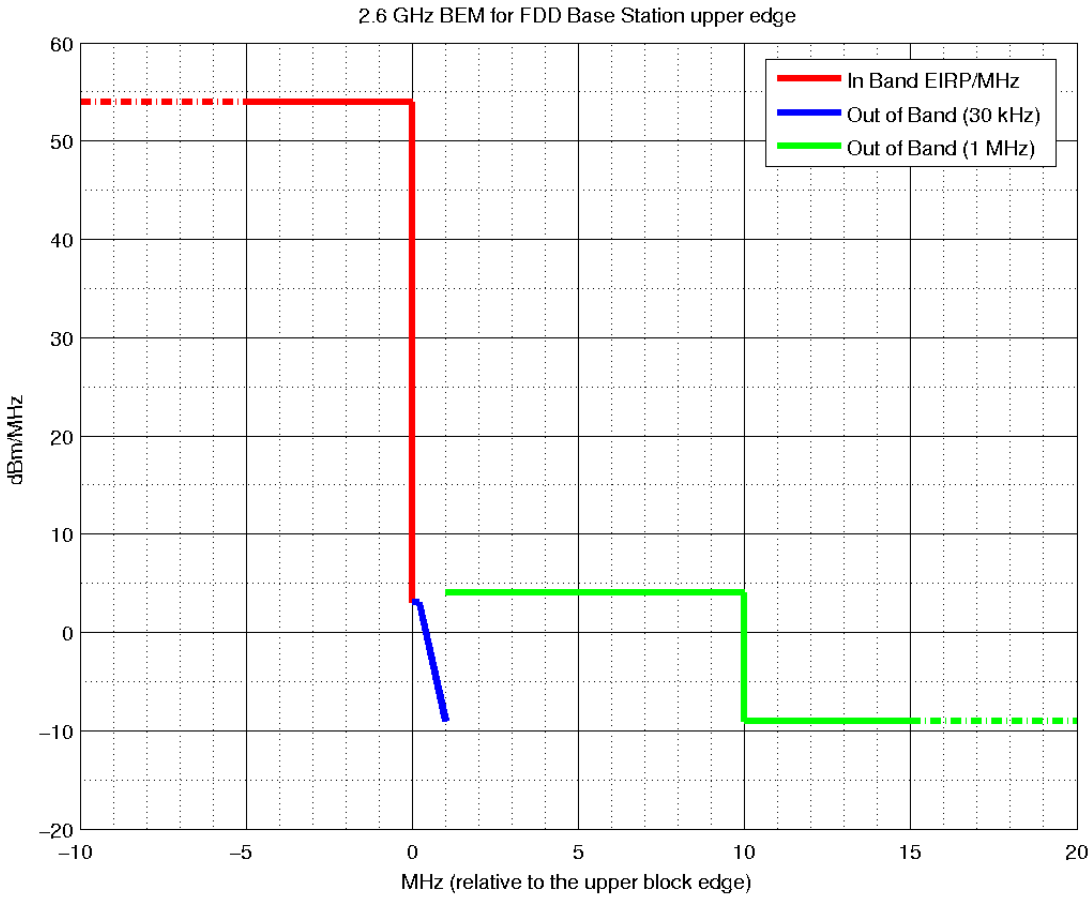
Tabel 13: FDD Base Station EIRP eisen voor de lower edge



Figuur 24: BEM voor de lower edge van een FDD frequentieblok

Frequentie	**Maximale gemiddelde EIRP**
f < 0 MHz	54 dBm/MHz
0 < f < 0,2 MHz	3 dBm/30kHz
0,2 < f < 1 MHz	3 dBm - 15 ((f - 0.2)/MHz) dB/30kHz
1 < f < 10 MHz	4 dBm/MHz
f > 10 MHz	-9 dBm/MHz

Tabel 14: FDD Base Station EIRP eisen voor de upper edge



Figuur 25: BEM voor de upper edge van een FDD frequentieblok

5.3 Scenario's

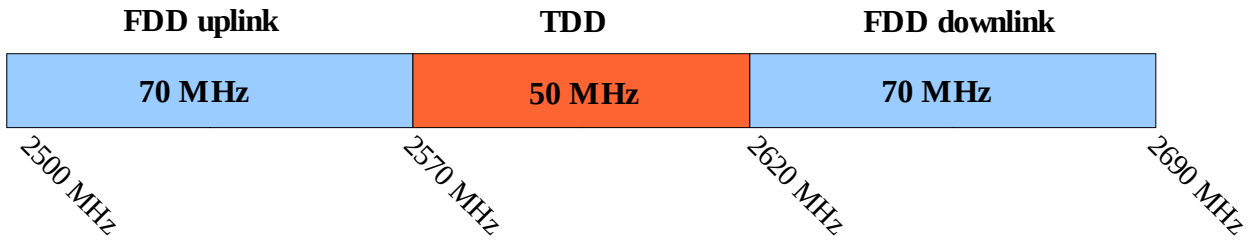
In deze sectie worden de voor- en nadelen van ieder scenario van Hoofdstuk 1 beschreven.

5.3.1 Scenario 1

Scenario 1 gaat uit van 140 MHz FDD spectrum en 50 MHz TDD spectrum en is weergegeven in Figuur 26. Hieronder volgen puntsgewijs de voor- en nadelen van dit scenario:

- De kavel 2685 – 2690 MHz kan niet worden gebruikt vanwege radioastronomie en dus ook de FDD up-link kavel 2565 – 2570 MHz niet.
- Er geldt geen vermogensrestrictie voor de TDD kavel 2570 – 2575 MHz, omdat de kavel 2565 – 2570 MHz al een guard band is tussen FDD up-link en TDD spectrum. M.a.w. de vermogensrestrictie voor de onderste 5 MHz van een frequentieblok komt te vervallen voor de TDD operator die de kavel (2570 – 2575 MHz) krijgt toegewezen.
- De TDD kavel 2615 – 2620 MHz, dat grenst aan de FDD down-link band, is beperkt te gebruiken vanwege storing door FDD netwerken.
- In de TDD band gaat er 5 MHz verloren per operator, tenzij operators onderling coördineren.

- Er is 45 MHz TDD spectrum en 130 MHz FDD spectrum beschikbaar zonder restricties.

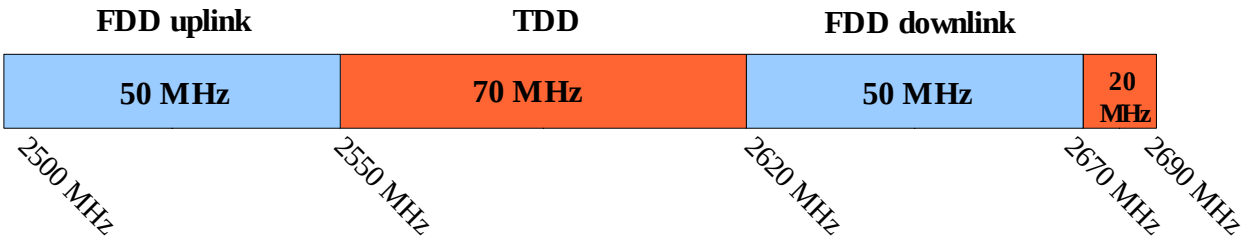


Figuur 26: Scenario 1 voor de 2500 – 2690 MHz frequentieband

5.3.2 Scenario 2

Scenario 2 gaat uit van 100 MHz FDD spectrum en 90 MHz TDD spectrum en is weergegeven in Figuur 27. Hieronder volgen puntsgewijs de voor- en nadelen van dit scenario:

- De TDD kavel 2685 – 2690 MHz kan niet worden gebruikt vanwege radioastronomie.
- De TDD kavel 2550 – 2555 MHz, welke grenst aan de FDD up-link band, geldt een vermogensrestrictie van 28 dBm/MHz (pico cel niveau) om interferentie met de FDD up-link band tegen te gaan.
- De TDD kavel 2615 – 2620 MHz, dat grenst aan de FDD down-link band, is beperkt te gebruiken vanwege storing door FDD netwerken. Dit geldt ook voor de kavel 2670 – 2675 MHz.
- In de TDD band gaat er 5 MHz verloren per operator, tenzij operators onderling coördineren.
- Er is 70 MHz TDD spectrum en 100 MHz FDD spectrum beschikbaar zonder restricties.

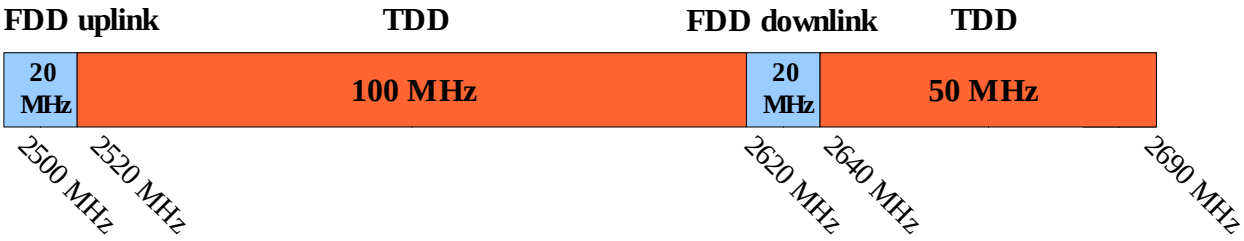


Figuur 27: Scenario 2 voor de 2500 – 2690 MHz frequentieband

5.3.3 Scenario 3

Scenario 3 gaat uit van 40 MHz FDD spectrum en 150 MHz TDD spectrum en is weergegeven in Figuur 28. Hieronder volgen puntsgewijs de voor- en nadelen van dit scenario:

- De TDD kavel 2685 – 2690 MHz kan niet worden gebruikt vanwege radioastronomie.
- De TDD kavel 2520 – 2525 MHz, welke grenst aan de FDD up-link band, geldt een vermogensrestrictie van 28 dBm/MHz (pico cel niveau) om interferentie met de FDD up-link band tegen te gaan.
- De TDD kavel 2615 – 2620 MHz, dat grenst aan de FDD down-link band, is beperkt te gebruiken vanwege storing door FDD netwerken. Dit geldt ook voor de kavel 2640 – 2645 MHz.
- In de TDD band gaat er 5 MHz verloren per operator, tenzij operators onderling coördineren.
- Er is 130 MHz TDD spectrum en 40 MHz FDD spectrum beschikbaar zonder restricties.



Figuur 28: Scenario 3 voor de 2500 – 2690 MHz frequentieband

6 Conclusies

In dit rapport zijn de Block-Edge Masks (BEM) voor de 2,6 GHz band opgesteld. Deze BEMs gelden alleen indien er geen coördinatie plaatsvindt tussen aangrenzende operators.

Aan het eind van het rapport kan nu iedere onderzoeksvraag uit Hoofdstuk 1 worden beantwoord.

Onderzoekvragen

1. *Kan er gebruik gemaakt worden van het Block-Edge Mask (BEM) principe om interferentie tussen aangrenzende kavels in voldoende mate te beperken zodat er in de praktijk een goede basis is voor de uitrol van netwerken?*

Antwoord: Ja, een Block-Edge Mask kan worden gebruikt om interferentie tussen aangrenzende kavels in voldoende mate te beperken, zodat alleen in de nabijheid (< 100m) van een BS interferentie op kan treden. Dit wordt ondersteunt door onderzoek uit het buitenland. In Hoofdstuk 5 worden de BEMs voor iedere kavel en scenario gepresenteerd.

2. *Indien één of meerdere guard bands noodzakelijk zijn, geef aan welke kavels hiervoor gebruikt dienen te worden.*

Antwoord: Er zijn geen guard bands noodzakelijk, behalve voor het beschermen van de radioastronomie-frequentieband. Zie ook het antwoord op de volgende vraag.

3. *Welke beperkingen moeten worden opgelegd worden aan het kavel dat ligt aan de bandgrens met radioastronomie (2690 MHz)? Is er een geografisch gebied waar extra bescherming voor radioastronomie noodzakelijk is?*

Antwoord: Er moeten verschillende beperkingen opgelegd worden op de radioastronomie-frequentieband te beschermen. Allereerst moet de kavel 2685 – 2690 MHz ingezet worden als guard band. Daarnaast mogen aangrenzende TDD en FDD BSs een maximale OOB emissie hebben van -75 dBm/MHz in de radioastronomie-frequentieband.

4. Wat zijn de technische voor- en nadelen voor de genoemde scenario's voor de verdeling FDD/TDD spectrum in relatie tot:
    - coördinatie-aspecten met de buurlanden indien zij zich wel aan de ECC beslissing houden.

Antwoord: Indien Nederland en het buitenland, de ERC aanbeveling 01-01 [1] als uitgangspunt nemen, zal Nederland geen storing uit het buitenland ontvangen of veroorzaken. Als buurlanden zich niet houden aan de ERC aanbeveling, heeft een onderzoek van de Ofcom [2] laten zien dat in de Britse situatie er in grote gebieden interferentie vanuit zowel Frankrijk alsmede Ierland op kan treden.

    - efficiënt gebruik van het spectrum.

Antwoord: Het uitgangspunt van dit rapport is om een frequentie-efficiënte uitgifte van de 2,6 GHz mogelijk te maken. Daarnaast is een tweede doel om zoveel mogelijk de 3GPP standaard en de BEM die door andere Europese landen zijn voorgesteld te volgen. Zie Hoofdstuk 5 voor meer

informatie. In de voorgestelde BEMs wordt er vanuit gegaan dat operators een extra filter plaatsen om interferentie te beperken om efficiënt gebruik van het spectrum mogelijk te maken. Een operator kan er voor kiezen om dit extra filter niet te plaatsen, maar hierdoor zal er minder frequentieruimte overblijven van zijn toegewezen frequentieblok.

TDD systemen maken minder efficiënt gebruik van het spectrum dan FDD systemen. Dit komt omdat er vermogensrestricties zijn opgelegd aan de onderste 5 MHz van een TDD kavel om interferenties tussen aangrenzende TDD netwerken te beperken. Omdat het minste TDD spectrum is toegewezen in Scenario 1, is dit scenario het meest frequentie-efficiënt.

7 Referenties

[1] ERC, ERC Recommendation 01-01: Border Coordination of UMTS, 2007
[2] Ofcom, Technical Study - 2010-2025 MHz, 2290-2302 MHz and 2500-2690 MHz Spectrum Awards - Adjacent and In-Band Compatibility Assessment for 2500-2690 MHz, 2006
[3] van den Ende, A.H.; Gustafsson, N.A.S.; Rijken, M.; Trommelen, P.H., Frequentietechnisch onderzoek 2,6 GHz band, 2007
[4] Wijninga, P.; Kooiker, L.; Klingenberg, M.; Kieboom, E.; Disseldorp, P., Offerte aanvraag technisch onderzoek randvoorwaarden uitgifte 2,6 GHz, 2007
[5] ECC/DEC/(05)05, ECC Decision of 18 March 2005 on harmonised utilisation of spectrum for IMT-2000/UMTS systems operating within the band 2500 – 2690 MHz, 2005
[6] WiMAX forum, http://www.wimaxforum.org/technology/WiMAX_IMT_2000/, 2007
[7] IEEE, IEEE 802.11a standard: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, 1999
[9] WiMAX Forum, Service Recommendations to Support Technology Neutral Allocations, 2007
[8] Mason Communications Ltd, 2500-2690 MHz, 2010 - 2025 MHz and 2290 - 2302 MHz Spectrum Awards - Engineering Study (Phase2), 2006
[10] ITU-R, Report ITU-R M.2045: Mitigating techniques to address coexistence between IMT-2000 time division duplex and frequency division duplex radio interface technologies within the frequency range 2500 - 2690 MHz operating in adjacent bands and in the same geographical area, 2004
[11] SE42, Interim response to the EC Mandate on WAPECS “To develop least restrictive technical conditions for frequency bands addressed in the context of WAPECS, 2007
[12] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project;Technical Specification Group Radio Access Network;Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD) (Release 7), 3GPP TS 25.105 V7.6.0, 2007
[13] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project;Technical Specification Group Radio Access Network;Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) (Release 7), 3GPP TS 25.104 V7.7.0, 2007
[14] , 3rd Generation Partnership Project;Technical Specification Group Radio Access Network;User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)(Release 7), 3GPP TS 25.101 V7.8.0, 2007
[15] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project;Technical Specification Group Radio Access Network;User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD)(Release 7), 3GPP TS 25.102 V7.7.0, 2007
[16] IEEE, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks (802.16e), 2005
[17] Ministerie van Economische Zaken (DGTP/AT), Nationaal Frequentie Plan 2005 (NFP), 2005
[18] CEPT, ERC report 65: Adjacent Band Compatibility Between UMTS and Other Services in the 2 GHz Band, 1999
[19] CEPT, ECC report 045: Sharing and Adjacent Band Compatibility Between UMTS/IMT-2000 in the Band 2500 - 2690 MHz and Other Services, 2004
[20] R. Schiphorst, A T-DAB field trial using a low-mast infrastructure, 2006
[21] ITU-R, Recommendation ITU-R P.1546-1: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, 2003