



TNO ICT
Brassersplein 2
Postbus 5050
2600 GB Delft

www.tno.nl

T 015 285 70 00
F 015 285 70 57
info@telecom.tno.nl

TNO-rapport

34302

Frequentietechnisch onderzoek 2,6 GHz band

Datum	12 maart 2007
Auteur(s)	Ir A.H. van den Ende, dr N.A.S. Gustafsson, ir M. Rijken, ir P.H. Trommelen
Exemplaarnummer	
Oplage	15
Aantal pagina's	64
Aantal bijlagen	2

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksovereenkomsten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2007 TNO

Management samenvatting

Achtergrond

Het directoraat generaal Energie en Telecommunicatie (dgET, de regelgever) van het Ministerie van Economische Zaken is voornemens om eind 2007 vergunningen uit te geven voor mobiele communicatie in de 2,6 GHz band (2500 – 2690 MHz) en in het deel van het spectrum tussen 2010,0 en 2019,7 MHz. De Nota Frequentiebeleid (2005) vormt daarbij het uitgangspunt, in het bijzonder het beleid ten aanzien van technologieneutraliteit. De voornoemde uit te geven frequentiebanden, zijn internationaal aangewezen als frequentieruimte voor International Mobile Telecommunications Systems (IMT-2000/UMTS). De frequentie-indeling zoals die door de CEPT/ECC in een ECC Decision is vastgesteld is daarop afgestemd. Naast IMT-2000/UMTS systemen zijn echter in de afgelopen jaren ook andere technologieën opgekomen die feitelijk danwel in potentie geschikt zijn als infrastructuur voor mobiele (breedbandige) diensten. Met het overnemen van de bestaande ECC Decision zouden andere technologieën mogelijk mindere goede kansen hebben, waarmee niet zou worden voldaan aan het uitgangspunt van technologieneutraliteit. Het is de uitdrukkelijke intentie van de regelgever om gelijke kansen te bieden voor beide categorieën systemen (IMT-2000 en non-IMT-2000).

Vraagstelling

Tegen deze achtergrond heeft de dgET aan TNO verzocht een onderzoek uit te voeren waarbij samengevat de volgende vragen zijn gesteld :

Ten aanzien van mogelijke technologieën in deze band:

- Welke systemen en typen systemen voor mobiele communicatie diensten zijn of komen in de markt beschikbaar?
- Welke systemen zullen naar verwachting gebruikt gaan worden?
- Wat zijn de belangrijkste verschillen in capaciteit en frequentiegebruik van de diverse systemen voor mobiele communicatie?

Ten aanzien van het frequentieverdelingsplan:

- Wat zijn beperkingen voor andere systemen dan UMTS als Nederland de ECC Decision overneemt?
- Indien Nederland afwijkt van de ECC Decision, wat zijn dan de gevolgen?
- Met welke kavelindeling kan de frequentieruimte technologieneutraal worden uit gegeven?
- In hoeverre dient rekening gehouden te worden met een FDD/TDD¹ indeling?

Werkwijze en afbakening

Door TNO is als eerste stap is een technologie-inventarisatie uitgevoerd, voornamelijk op basis van zo recent mogelijke Internet publicaties. Uit de reeks beschouwde technologieën is een representatieve set van technologieën geselecteerd die de basis vormden voor de tweede stap, het frequentietechnische onderzoek dat zich richtte op het frequentieverdelingsplan en voornamelijk de 2,6 GHz band. De door CEPT/ECC voorgestelde indelingen zijn nader onderzocht op de mogelijkheden voor toepassing van technologieneutraliteit. Op basis van deze analyse zijn aanbevelingen opgesteld m.b.t. de frequentie-uitgifte. De in 2006 gepubliceerde studie van OFCOM op dit onderwerp is daarbij een belangrijke bron gebleken, met in achtname van bepaalde verschillen tussen de Britse en de Nederlandse situatie. In het kader van deze studie zijn geen sharing studies uitgevoerd. Niettemin bieden de bevindingen welke in dit rapport zijn opgenomen de dgET wel houvast bij de bepaling van een aantal belangrijke uitgangspunten voor de uitgifte.

¹ FDD: Frequency Division Duplex; TDD: Time Division Duplex.

Bevindingen ten aanzien van mogelijke technologieën in deze band

De inventarisatie van technologieën en systemen heeft geresulteerd in een lijst van technologieën die representatief zijn en kansrijk lijken voor toepassing in de 2,6 GHz band in Nederland en die tevens technisch voldoende onderscheidend zijn met het oog op de gewenste technologie-neutraliteit. Dit betreft de volgende technologieën/systemen:

Behorende tot de IMT-2000-familie:

- UMTS FDD met HSPA
- UMTS TDD
- UMTS LTE (op langere termijn)
- CDMA2000 1xEV-DO, Revisions A en B

Niet behorende tot de IMT-2000-familie:

- Mobile WiMAX (IEEE 802.16e)
- WiFi (IEEE 802.11)

Bevindingen ten aanzien van het frequentietechnisch onderzoek

- In het algemeen wordt spectrale efficiëntie beschouwd als een belangrijke parameter bij de onderlinge vergelijking van technologieën op het punt van spectrumbehoefte. Hoewel nieuwere technologieën door toepassing van geavanceerde technieken op dit punt beter scoren, is de spectrale efficiëntie van de technologie in feite afhankelijk van diverse factoren. Een eerlijke vergelijking op basis van systeemp parameters is dan ook niet zonder meer mogelijk. De werkelijk beschikbare capaciteit in het netwerk en de hieruit resulterende frequentiebehoefte is eveneens van zeer veel factoren en operatorspecifieke keuzes afhankelijk.
- Om werkelijk innovatieve breedbandige mobiele diensten te kunnen leveren, en zich te kunnen differentiëren van huidige 3G dienstverlening in de komende jaren, dient een operator de mogelijkheid te hebben om voldoende spectrum te verwerven. Als indicatie voor de minimum spectrum behoefte kan hierbij worden uitgegaan van 2×30 MHz voor FDD en 40 tot 60 MHz TDD.
- Vanuit het oogpunt van concurrentie kan er voor worden gekozen een maximum te stellen aan de hoeveelheid spectrum die een operator mag verwerven. Dit maximum moet niet te laag gesteld worden om operators in staat te stellen voldoende spectrum te verwerven.
- In de ECC Decision zoals die momenteel is vastgesteld, wordt spectrum exclusief toegewezen aan IMT-2000/UMTS systemen. Om technologie-neutraliteit mogelijk te maken moet zeker deze voorwaarde komen te vervallen.
- Om technologie-neutraliteit te bieden moet zou er tevens meer flexibiliteit moeten worden toegestaan in kanaalbreedtes die kunnen worden toegepast. Ook systemen met kanaalbreedtes van minder dan 5 MHz (met name 1,25 MHz) en veelvoud van 5 MHz (met name 10 en 20 MHz) zouden ingezet moeten kunnen worden.
- De frequentie-indeling uit de ECC Decision waarbij er zowel ruimte is aangewezen voor FDD- als TDD-systemen biedt een zekere mate van technologieonafhankelijkheid omdat beide type systemen kunnen worden ingezet. Een beperking is wel dat er een onbalans bestaat tussen FDD-spectrum (140 MHz) en TDD- spectrum (50 MHz).
- Om te komen tot een verdeling die meer recht doet aan technologie-neutraliteit, zou kunnen worden besloten af te wijken van de in de ECC Decision vastgelegde frequentie-indeling.
- Er kan worden afgeweken van de strikte opdeling tussen FDD- en TDD-spectrum door de grenzen van beide blokken flexibel te maken. Hierbij dient de duplex-afstand tussen de FDD up-link en down-link van 120 MHz in stand te worden gehouden, omdat dit de basis is voor huidige technologische ontwikkelingen.
- In principe zou de markt de verhouding tussen FDD- en TDD-spectrum kunnen bepalen. Dit vergt mogelijk wel een complexere organisatie van het veilingproces.
- Om interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken in voldoende mate te beperken verdient het hanteren van block-edge masks de voorkeur boven het vooraf vaststellen van guard bands. De

block-edge mask is meer onafhankelijk van de toegepaste technologie en betekent meer flexibiliteit en verantwoordelijkheid voor de licentiehouders. Eventueel ongebruikt spectrum (in de vorm van onnodig grote guard bands) kan hiermee worden voorkomen.

- Het volledig uitsluiten van onderlinge interferentie leidt tot inefficiënt gebruik van het spectrum. Het doel is om interferentie in voldoende mate te beperken zodat er in de praktijk een goede basis bestaat voor de uitrol van netwerken. Onderlinge coördinatie tussen operators kan de mogelijkheden voor het gebruik van het spectrum verbeteren. Dit doet recht aan één van de uitgangspunten van het frequentiebeleid om meer verantwoordelijkheden te leggen bij de spectrumgebruikers.
- Wanneer wordt afgeweken van de internationaal geharmoniseerde CEPT/ECC frequentie-indeling dient nagegaan te worden of coördinatie met de buurlanden noodzakelijk zal zijn.

Management Summary

Background

The directorate-general of Energy and Telecommunications (dgET, the regulator) under the Ministry of Economic Affairs intends to issue spectrum licenses late 2007, for mobile communication services in the 2.6 GHz band (2500-2690 MHz) and in the associated 2010.0-2019.7 MHz band. The Frequency Policy Note (2005) provides the current policy framework, particularly with respect to technology neutrality. The aforementioned frequency bands to be licensed are internationally designated for International Mobile Telecommunications (IMT-2000/UMTS). The frequency plan as proposed by the CEPT/ECC in an ECC Decision is based on this assumption. However, besides IMT-2000/UMTS systems, alternative technologies have emerged which are in fact, or potentially suitable as wireless infrastructure carrying broadband mobile services. With the adoption of the existing ECC Decision, these alternative technologies would have a less favorable position from a regulatory point of view, which does not comply with the technology neutrality principle. The regulator has a clear intention to provide equal opportunity to both categories of technologies (IMT-2000 and non IMT-2000).

Question

Against this background, the regulator has tasked TNO to conduct a research project, which is led by the following questions (in summary):

With respect to possible technologies in this band:

- Which systems and types of systems for mobile communication services will become available in the market?
- Which systems are expected to be deployed?
- What are the key differences between the different systems in terms of capacity and spectrum requirements?

With respect to the frequency plan:

- What are the restrictions for systems other than UMTS if the Netherlands would adopt the ECC Decision?
- If the Netherlands would deviate from the ECC Decision, what are the consequences?
- Which lot partition allows for a technology neutral issue of licenses?
- To what extent does the FDD/TDD partition need to be taken into account?

Approach and scope

TNO has performed a technology survey as a first step, mainly based on the most recent web publications. From the range of technologies considered a representative set is selected which formed the basis for a spectrum study which focused on the frequency plan for the 2.6 GHz band. The plans proposed by CEPT/ECC have been analyzed on the possibilities for a technology neutral issue of licenses. The OFCOM study published in 2006 has been an important source of information, but the specific differences between the British and Dutch situation have been taken into account. In this project, sharing studies have not been performed. Nevertheless our findings written down in this report are expected to support the regulator in her decision making on several important assumptions for the issue of spectrum licenses.

Findings with respect to possible technologies in this band

The survey of technologies has resulted in a list of technologies which are representative and seem to have a high potential for deployment in the 2.6 GHz band in the Netherlands. They also are sufficiently technically distinctive considering the technology neutrality requirement. This list is comprised as follows:

Belonging to the IMT-2000 family:

- UMTS FDD met HSPA
- UMTS TDD
- UMTS LTE (op langere termijn)
- CDMA2000 1xEV-DO, Revisions A en B

Not belonging to the IMT-2000-family

- Mobile WiMAX (IEEE 802.16e)
- WiFi (IEEE 802.11)

Findings with respect to the spectrum study

- In general, the spectrum efficiency is considered an important parameter in the comparison of technologies in terms of spectrum requirements. Although newer technologies have better scores with the application of advanced techniques, the spectral efficiency in fact depends on many different factors. A fair comparison based on system parameters is therefore not straightforward. The actually available capacity in the network en the resulting spectrum requirement is also dependent upon many factors and operator specific choices.
- In order to deliver innovative broadband mobile services and to differentiate with respect to the 3G service offering in the coming years, an operator must have the possibility to acquire sufficient spectrum. As an indication of the minimum spectrum requirement, portions of 2x 30 MHz (FDD) or 40 to 60 MHz (TDD) should be considered.
- From a competition point of view, the regulator can choose to set a maximum on the amount of spectrum that an operator can acquire. However this maximum should not be set too low as we have indicated.
- In the current ECC Decision, spectrum is exclusively designated for IMT-2000/UMTS systems. In order to facilitate technology neutrality, this condition has to be removed.
- In order to facilitate technology neutrality, more flexibility should be introduced with respect to the channel bandwidths allowed. Systems using bandwidths lower than 5 MHz (e.g. 1.25 MHz) or multiples of 5 MHz (e.g. 10 or 15 MHz) should be deployable.
- The frequency plan from the ECC Decision in which spectrum is reserved both for FDD and TDD, already offers technology neutrality in this respect because both types of systems can be accommodated. A limitation is that there is an unbalance between the FDD and TDD spectrum portions (140 MHz vs. 50 MHz).
- In order to arrive at a frequency plan that serves better the technology neutrality principle, it could be decided by the regulator to deviate from the frequency plan laid down in the CEPT/ECC Decision.
- The regulator can deviate from the strict partition between the FDD and TDD portions by making the corresponding boundaries flexible. It is important to maintain the 120 MHz duplex distance between up and downlink for FDD systems, as this duplex distance forms the basis of current and future FDD technologies.
- In principle, the market could determine the ratio between FDD and TDD spectrum portions. This requires a more complex organization of the auction process.
- In order to sufficiently limit interference between adjacent frequency blocks, the block edge mask principle is preferred above the application of guard bands. The block edge mask is more independent of the technology applied and results in more flexibility for and responsibility of the license holder. Possible unused spectrum (in the form of unnecessary large guard bands) can be omitted.

- Full exclusion of mutual interference will lead to inefficient use of the spectrum. The goal is to sufficiently reduce interference such that there is a good basis for practical network deployments. Mutual coordination between operators can extend the possibilities of spectrum usage. This meets one of the requirements of the Spectrum Policy Note, i.e. to give the spectrum user a larger responsibility.
- When the regulator would deviate from the international harmonized CEPT/ECC frequency plan, it needs to be assessed whether specific coordination with neighboring countries is required.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	11
1.1	Achtergrond	11
1.2	Vraagstelling dgET	12
1.3	Werkwijze en afbakening	13
1.4	Opbouw van het rapport	14
2	Technologie-inventarisatie	15
2.1	Toelichting op de methodiek	15
2.2	Overzicht van technologieën	15
2.2.1	IMT-2000	15
2.2.2	Non-IMT-2000 technologieën	20
2.3	Onderlinge vergelijking van technologieën	27
2.4	Conclusies	27
2.5	Selectie voor het frequentietechnisch onderzoek	29
3	Frequentietechnisch onderzoek	30
3.1	Inleiding	30
3.2	Frequentiebehoefte voor de verschillende radiotechnologieën	30
3.2.1	Spectrale karakterisering van de radiotechnologieën	30
3.2.2	Kanaalbreedtes	31
3.2.3	Benodigde frequentieruimte in netwerken	33
3.2.4	Ontwikkeling naar breedbandigere mobiele communicatiediensten	34
3.2.5	Subconclusie frequentiebehoefte	35
3.3	Criteria voor een technologieneutrale en flexibele frequentieverdeling	36
3.4	Beschouwing huidige ECC Decision(05)05 kanaalplan	36
3.4.1	Algemene toelichting van het kanaalplan volgens ECC Decision(05)05	36
3.4.2	ECC Decision(05)05 de twee alternatieve frequentie-indelingen	38
3.4.3	Subconclusie frequentie-indeling volgens ECC Decision(05)05	41
3.5	Alternatieve frequentie-indeling	41
3.5.1	Flexibiliteit in de verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum	42
3.5.2	De frequentieverdeling voorgesteld door OFCOM in het Verenigd Koninkrijk	43
3.5.3	Subconclusie alternatieve frequentie-indeling	44
3.6	Coëxistentie-issues	44
3.6.1	Coëxistentie met systemen in aangrenzende frequentiebanden	44
3.6.2	Coëxistentie tussen verschillende operators in de 2,6 GHz band	45
3.6.3	Subconclusie coëxistentie	49
3.7	Conclusies en aanbevelingen van het frequentietechnische onderzoek	50
4	Conclusies en aanbevelingen	52
4.1	Conclusies met betrekking tot de technologie-inventarisatie	52
4.2	Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de voorgenomen frequentie-uitgifte	53
	Referenties	55
	Bijlage(n)	
	A Nomenclatuur vergelijkingstabel	
	B Vergelijkingstabel technologieën	

Lijst met afkortingen

2G	Tweede generatie mobiele communicatie technologie
3G	Derde generatie mobiele communicatie technologie
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
3GPP2	Second 3GPP like group
BWA	Broadband Wireless Access
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
CS	Circuit Switching
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephony
dgET	Directoraat-Generaal Energie en Telecommunicatie
DL	Downlink
DSL	Digital Subscriber Line
ECC	Electronic Communications Committee
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIRP	Effectively Isotropic Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	European Union
EV-DO	Evolution Data Optimized
EV-DV	Evolution Data-Voice
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FWA	Fixed Wireless Access
GPRS	GSM Packet Radio Service
GSA	Group mobile Suppliers Association
GSM	Global System for Mobile communications
HIPERMAN	High Performance MAN
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
ICT	Informatie- en Communicatie Technologie
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radio Communications
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
MAN	Metropolitan Area Network
MBMS	Multimedia Broadcast and Multicast Services
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
MC	Multi Carrier
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMDS	Multi Media Distribution System
MSS	Mobile Satellite Service
MWA	Mobile Wireless Access
NWA	Nomadic Wireless Access
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association

PS	Packet Switching
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	OFDM Access
QoS	Quality of Service
RAS	Radio Astronomy Service
RSC	Radio Spectrum Committee
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SMS	Short Message Service
TDD	Time Division Duplex
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA
TDMA	Time Division Multiple Access
TIA	Telecommunications Industry Association
TNO	Stichting voor Technisch Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TNO ICT	TNO Informatie- en Communicatie Technologie
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
VoIP	Voice over IP
WAN	Wide Area Network
WCDMA	Wideband CDMA
WiBro	Wireless Broadband
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WISP	Wireless Internet Service Provider
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop

1 Inleiding

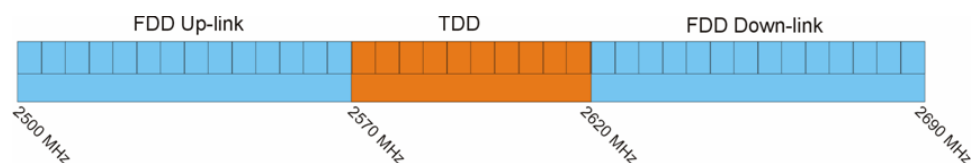
1.1 Achtergrond

Het Ministerie van Economische Zaken is van plan om eind 2007 vergunningen uit te geven voor mobiele communicatie in de 2,6 GHz band (2500 – 2690 MHz) en in het deel van het spectrum tussen 2010,0 en 2019,7 MHz.

Bij de uitgifte van de frequentieruimte in de 2,6 GHz door het Ministerie van Economische Zaken vormt de Nota frequentiebeleid 2005 [1] het beleidsuitgangspunt. In de Nota zijn de volgende concrete uitgangspunten geformuleerd:

- efficiënt spectrumgebruik: niet meer frequentieruimte dan noodzakelijk is voor een toepassing;
- effectief spectrumgebruik: voldoende frequentieruimte om het beoogde doel te verwezenlijken;
- liberalisering: geen onnodige beperkingen en meer verantwoordelijkheid bij de gebruikers;
- flexibiliteit: technologieonafhankelijke bestemming van frequenties en het wegnemen van toetredingsdrempels.

Een belangrijk aandachtspunt met betrekking tot de voornoemde uitgifte is de technologie-neutraliteit. Beide, in de uitgifte relevante frequentiebanden, zijn internationaal aangewezen als frequentieruimte voor International Mobile Telecommunications Systems (IMT-2000/UMTS). In het bijzonder is de frequentie-indeling zoals die in de decision (ECC/DEC/(05)05) [2] van de Electronic Communications Committee (ECC) van de CEPT is vastgesteld afgestemd op IMT-2000/UMTS systemen. Met het overnemen van de ECC Decision zouden andere systemen mogelijk mindere goede kansen hebben waarmee niet zou worden voldaan aan het uitgangspunt van technologieonafhankelijke uitgifte van het beschikbare spectrum in deze band.

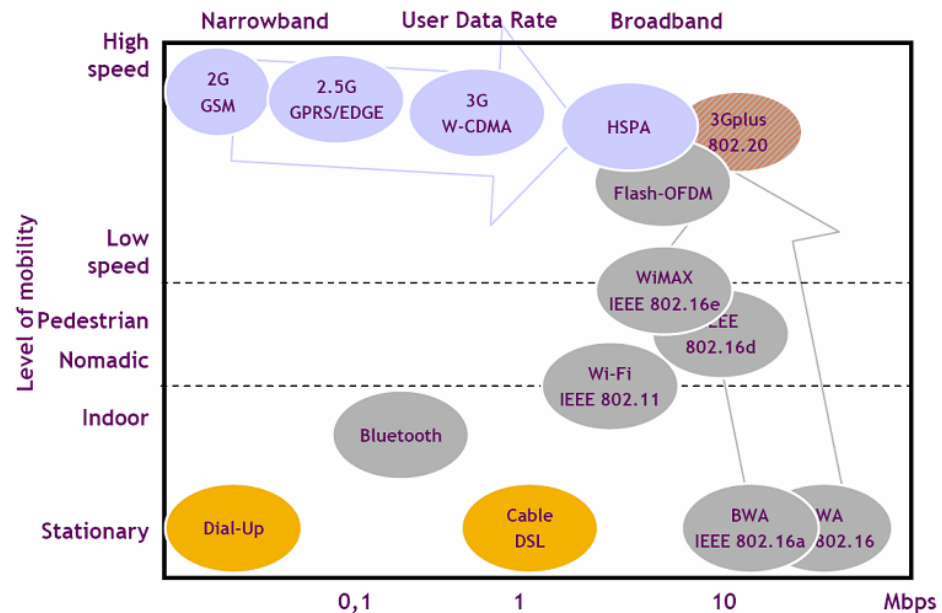


Figuur 1-1: Spectrum dat in aanmerking komt voor uitgifte. Hier het grootste deel weergegeven, tussen 2500 en 2690 MHz. De hier weergegeven FDD/TDD indeling is één van de door CEPT voorgestelde indelingen.

Naast IMT-2000/UMTS systemen zijn in de afgelopen jaren ook andere technologieën opgekomen die feitelijk dan wel in potentie geschikt zijn als infrastructuur voor mobiele (breedbandige) diensten². De meeste van deze alternatieve technologieën zijn

² In dit rapport wordt niet ingegaan op ontwikkelingen met betrekking tot mobiele diensten.. De lezer wordt hiervoor verwezen naar TNO-rapport 33812 "Convergentie Vast-Mobiel", december 2005 [3]

geëvolueerd vanuit de positie van Fixed Wireless Access technologie. In onderstaande figuur is deze convergentieontwikkeling geïllustreerd.



Figuur 1-2: Convergentieontwikkeling van IMT-2000/UMTS systemen en "alternatieve" technologieën. Bron: UMTS Forum

Deze ontwikkeling, in combinatie met het beleidsuitgangspunt van technologieneutraliteit, leidt tot de gevolgtrekking dat de beschikbare frequentieruimte zo moet worden uitgegeven dat er gelijke kansen worden geboden voor beide categorieën systemen (IMT-2000 en non-IMT-2000).

1.2 Vraagstelling dgET

Voorafgaand aan de marktconsultatie wenst dgET aldus inzicht in de mogelijkheden voor een technologieneutrale uitgifte van frequentieruimte in voornoemde frequentiebanden waarbij de volgende specifieke onderzoeksvragen zijn gesteld:

1. Welke systemen en typen systemen voor mobiele communicatie zijn in de genoemde frequentiebanden in de markt beschikbaar of komen binnen afzienbare tijd beschikbaar?
2. Wat zijn de belangrijkste verschillen in capaciteit en frequentiegebruik van de diverse systemen voor mobiele communicatie?
3. Welke systemen zullen naar verwachting gebruikt gaan worden?
4. De Electronic Communications Committee (ECC) heeft het besluit genomen voor indeling van de 2,6 GHz band in FDD en TDD:
 - a. Wat zijn de beperkingen voor andere systemen dan UMTS als wij deze indeling overnemen?
 - b. Wat zijn de gevolgen als wij afwijken van de aanbeveling in relatie tot de buurlanden en het gebruik in de grensgebieden?

5. Welke kavelindeling moet gehanteerd worden om de frequentieruimte technologieneutraal uit te geven?
 - a. Zijn 5 MHz of 10 MHz kavels een optie?
 - b. In hoeverre dient rekening gehouden te worden met een FDD/TDD indeling?

De derde onderzoeksvraag betreft het verwachte gebruik van bepaalde systemen. Dit is moeilijk voorspelbaar omdat dit sterk afhangt van de marktvraag naar mobiele diensten en in relatie daarmee de commerciële strategie van bestaande en nieuwe operators. Derhalve is de studie vooral gefocust op de beantwoording van de eerste onderzoeksvraag waarbij de “kansrijkheid” van technologieën wordt ingeschat. De selectie van “kansrijke” technologieën, welke tevens voor het frequentietechnisch onderzoek zal worden gebruikt vormt het zeer indicatieve antwoord op de derde onderzoeksvraag.

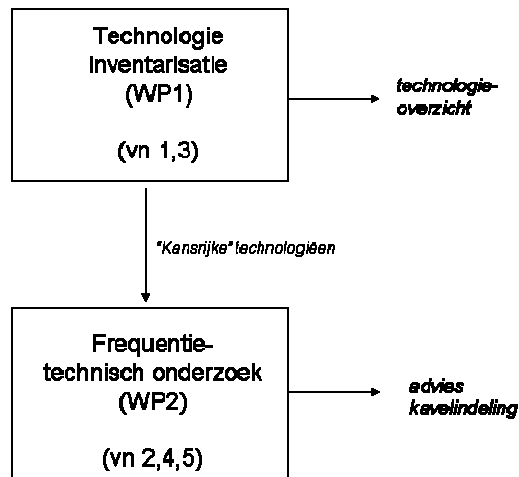
1.3 Werkwijze en afbakening

Door TNO is de volgende werkwijze gehanteerd. Als eerste stap is een technologie-inventarisatie uitgevoerd, voornamelijk op basis van zo recent mogelijke WWW³-publicaties. Uit de gehele reeks beschouwde technologieën is een representatieve set van technologieën geselecteerd die de basis vormden voor de tweede stap, het frequentietechnische onderzoek. Uitgangspunt in dit onderzoek zijn de CEPT/ECC-indelingen geweest. Deze indelingen zijn nader onderzocht op de mogelijkheden voor toepassing van technologieneutraliteit. Op basis van deze analyse zijn aanbevelingen opgesteld m.b.t. de spectrumuitgifte. De in 2006 gepubliceerde studie van OFCOM op dit onderwerp is daarbij een belangrijke bron gebleken, met in achtname van bepaalde verschillen tussen de Britse en de Nederlandse situatie.

In het kader van deze studie zijn geen sharing studies uitgevoerd of daarmee vergelijkbare analyses. Met de verkregen inzichten is dgET wel in staat een aantal belangrijke uitgangspunten voor de uitgifte vast te stellen.

Door de gekozen opzet van het onderzoek zijn de onderzoeksvragen van dgET niet in de aangegeven volgorde beantwoord. Onderstaande figuur verduidelijkt de opsplitsing van het onderzoek in twee werkpakketten en laat de afbeelding zien van de onderzoeksvragen op deze werkpakketten.

³ WWW: World Wide Web (Internet content)



Figuur 1-3: Structurering van het onderzoek en afbeelding van dgET-vragen (vn 1 t/m 5) op de beide werkpakketten

1.4 Opbouw van het rapport

De opbouw van het rapport is in overeenstemming met de structuur van het onderzoek. In hoofdstuk 2 worden de bevindingen beschreven van de technologie-inventarisatie. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten van het frequentietechnisch onderzoek. Het laatste hoofdstuk 4 rapporteert de conclusies en aanbevelingen die volgen uit dit onderzoek. De lezer wordt geattendeerd op het feit dat de technologie-inventarisatie in het vierde kwartaal van 2006 is uitgevoerd, dus enkele maanden voor de officiële publicatie van dit rapport.

2 Technologie-inventarisatie

2.1 Toelichting op de methodiek

De eerste stap is per technologie een algemene omschrijving waarin de volgende aspecten worden belicht:

- Oorsprong; initiatie
- Roadmap (technologie c.q. standaard)
- Belangrijkste technische kenmerken/specificaties
- Positionering in de markt (concrete deals, trials etc, voor zover openbaar gemaakt)

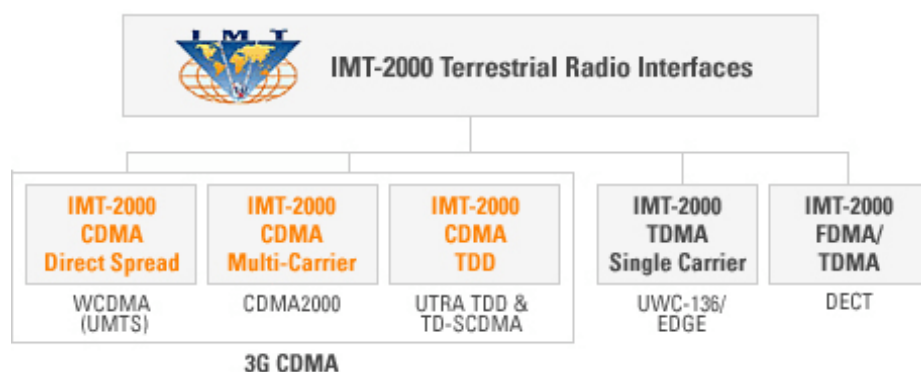
De tweede stap is een systematische vergelijking van alle beschouwde technologieën op zowel technologische aspecten, als op een aantal, meer markgerichte, aspecten. Zie bijlage A voor een definitie van en toelichting op de gekozen aspecten. Bijlage B bevat de vergelijkingstabel.

2.2 Overzicht van technologieën

De in deze studie relevante technologieën komen deels voort uit de door 3GPP gestandaardiseerde IMT-2000 familie, deels uit de IEEE-wereld, en zijn deels proprietary. De IMT-2000 technologieën worden beschreven in paragraaf 2.2.1, de overige technologieën worden samengenomen onder non-IMT-2000 in paragraaf 2.2.2.

2.2.1 IMT-2000

Onderstaand figuur geeft een overzicht van de technologieën in de IMT-2000 familie. Deze technologieën, aangevuld met de Long Term Evolution van UMTS en afgezien van DECT, zullen in dezelfde volgorde worden besproken in deze paragraaf.



Figuur 2.1: Overzicht van de IMT-2000 technologieën.

2.2.1.1 WCDMA/UMTS FDD met HSPA

Het Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) is één van de derde generatie mobiele telecommunicatiesystemen binnen de IMT-2000 en wordt gestandaardiseerd door een groot consortium van leveranciers en operators in de 3rd Generation Partnership Project (3GPP). UMTS maakt gebruik van de access technologie Wideband Code Division Multiple Acces (WCDMA) en is beschikbaar in

de Frequency Division Duplex (FDD) en Time Division Duplex (TDD) versie. In deze paragraaf richten we ons op UMTS FDD, de TDD-variant wordt besproken in par. 2.2.1.2.

UMTS FDD maakt gebruik van een gepaard up-link en down-link spectrum met een kanaalbreedte van 5 MHz. Binnen Europa zijn de volgende frequentiebanden toegewezen aan UMTS FDD:

Up-link	Down-link
1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz

Wereldwijd wordt momenteel gezocht naar nieuw spectrum voor UMTS, waarbij onder andere wordt gekeken naar in de toekomst vrijkomende 2G-banden, maar ook naar hogere frequentiebanden zoals 2,6 GHz. Standaardisatie voor nieuwe banden vindt momenteel plaats in 3GPP. Indien in meerdere Europese landen de 2,6 GHz band beschikbaar komt, zal deze apparatuur zeker in deze band op de markt komen.

De veel gehoorde theoretische maximale snelheid van UMTS is 2 Mbit/s. Echter in de praktijk worden down-link snelheden tot hoogstens 384 kbit/s per gebruiker aangeboden.

High Speed Packet Access (HSPA) is een evolutiestap van UMTS. Met beperkte hardware- en softwareopwaarderingen aan het basisstation en met nieuwe terminals, wordt binnen hetzelfde spectrum door middel van o.a. hogere orde modulatie technieken hogere bitsnelheden, verbeterde spectrum efficiëntie, en kortere responsietijden behaald. In 2006 is de down-link variant, HSDPA commercieel geïntroduceerd. Met een theoretische maximumsnelheid van 14 Mbit/s, zijn bitsnelheden van 2-3 Mbit/s per gebruiker haalbaar in de praktijk. De up-link variant, HSUPA, wordt verwacht in 2007/2008 en kent een theoretische maximumsnelheid van 5,7 Mbit/s, terwijl typisch bitsnelheden van 1-1,5 Mbit/s te verwachten zijn. Inmiddels wordt binnen de standaardisatie ook gewerkt aan de verdere evolutie van HSPA. Door het gebruik van geavanceerde antenne systemen (MIMO) en hogere orde modulaties verwacht met maximale snelheden van boven de 50 Mbit/s te kunnen halen.

De vraag naar 3G-diensten in Europa blijft achter bij de oorspronkelijk hooggespannen verwachtingen. Operators zijn nog steeds naarstig op zoek naar de 'killing application' zoals spraak en SMS was en is voor GSM. Ringtonen en andere muziekdiensten groeien inmiddels hard aan populariteit. Naast deze muziekdiensten richten operators zich op video/TV en mobiele breedbanddiensten. Met de introductie van HSDPA in hun UMTS-netwerken verhogen operators hun netwerkcapaciteit en gaan ze de concurrentie aan met nieuwe breedbandige datatechnologieën uit de non-IMT-2000 wereld zoals WiMAX en WiFi.

WCDMA is inmiddels een volwassen en leidende 3G-technologie met 134 netwerken in 59 landen. Vrijwel alle operators (131) hebben zich geïntroduceerd aan HSDPA; 75 netwerken zijn al uitgerust met HSDPA. Met 85 HSDPA-terminals, waaronder 44 telefoons, is ook de productie van gebruikersapparatuur goed op gang gekomen (bron: Group mobile Suppliers Association (GSA), 19 november 2006).

UMTS FDD met HSPA mag als een kansrijke technologie worden beschouwd voor toepassing in de 2,6 GHz band.

2.2.1.2 UMTS TDD en TD-SCDMA

TDD-systemen onderscheiden zich van FDD-systemen doordat ze gebruik maken van een enkele, niet-gepaarde, frequentieband waarin de tijdsloten asymmetrisch aan de up-link en de down-link toegekend kunnen worden al naar gelang de geaardheid van het verkeer. Bij asymmetrische diensten zoals data verkeer levert dit een groot efficiëntievoordeel op. Daarnaast vergroot een enkele, ongepaarde, techniek de flexibiliteit in frequentietoewijzing.

Er bestaan verschillende Time Division Duplex (TDD) varianten van CDMA:

- UMTS TDD: de TDD-variant van UMTS in 5 MHz gestandaardiseerd door 3GPP;
- TD-SCDMA, de Chinese variant van UMTS in een 1,6 MHz band, ook gestandaardiseerd door 3GPP;
- proprietary technieken als IP-Wireless die gebruik maken van de radio interface van UMTS TDD.

UMTS TDD, ook wel aangeduid met UTRA TDD of met de radio-interface TD-CDMA, wordt ondersteund door de UMTS TDD Alliance en wordt toegepast in tenminste 19 landen over de gehele wereld. TD-SCDMA is de Chinese variant en komt technisch gezien in grote lijnen overeen met UMTS TDD. De S in TD-SCDMA staat voor Synchronous, dat refereert aan de synchronisatie in de up-link.

In Europa zijn de 1900-1920 MHz en de 2010 – 2025 MHz banden toegewezen voor TDD-gebruik, maar nog grotendeels ongebruikt omdat het FDD-spectrum nog niet volledig benut wordt. TD-SCDMA werkt met een chipsnelheid van 1,28 Mchips/s in een 1,6 MHz breed kanaal en UMTS TDD met een chipsnelheid van 3,84 Mchips/s in een 5 MHz kanaal. UMTS TDD ondersteunt ook 7,68 Mchips/s in 10 MHz kanaal en claimt een bitsnelheid van 12 Mbit/s per sector.

China wacht met het uitgeven van 3G W-CDMA spectrum totdat ze hun, in eigen land ontwikkelde, TD-SCDMA variant hebben uitgerold. Hiermee wil China de licentie-uitgaven aan buitenlandse technologie beperken. Zeer recentelijk is de techniek operationeel gelanceerd in China. Hoewel de TD-SCDMA variant ook gestandaardiseerd is door de 3GPP, is de techniek niet zonder meer compatibel met UMTS TDD of andere CDMA-varianten. Siemens maakt als enige Europese partij deel uit van de Chinese ontwikkeling, in een partnership met Huawei.

Vooralsnog lijkt de Chinese technologie TD-SCDMA geen bedreiging voor Europese W-CDMA operators. Meer activiteit wordt waargenomen vanuit de UMTS TDD hoek, met trials en lanceringen voor, met name, nomadische draadloze internettoegang, van UK Broadband in Engeland, T-Mobile in Tsjechië, Orange in Frankrijk, Airdata in Duitsland, SonaeCom in Portugal, Atenit Wireless Access in Zweden [4]. Hierbij kan ook genoemd worden de recente IP Wireless (ook een CDMA TDD variant) trial van T-Mobile in Nederland. Verder is zeer recentelijk door 3UK, Orange, Telefonica en Vodafone een technische trial van TDtv aangekondigd. TDtv is een tv dienst die gebruik maakt van de gestandaardiseerde UMTS TD-CDMA Multimedia Broadcast and Multicast Services (MBMS) technologie in reeds gealloceerd TDD-spectrum. Samenvattend, lijkt er dus in Europa zowel vanuit de bestaande operators als nieuwe datadienst aanbieders een serieuze interesse te bestaan voor gebruik van TDD-technologie voor het aanbieden van internettoegang en multimediasdiensten als tv.

Op grond hiervan concluderen we dat UMTS TDD in Europa c.q. in Nederland als kansrijk moet worden beoordeeld voor de 2,6 GHz band.

2.2.1.3 UMTS LTE

UMTS Long Term Evolution (LTE) is de veelgebruikte naam voor een studie 3GPP naar een nieuwe radio- en core netwerkarchitectuur. Het doel is de spectrumefficiëntie te verhogen met een factor twee tot drie ten opzicht van UMTS HSPA. Verder zou UMTS LTE huidige sites moeten kunnen hergebruiken en beschikbaar komen voor verschillende frequentiebanden. De belangrijkste doelen zijn:

- Gebruik van een schaalbare bandbreedte van 1,25 tot 20 MHz;
- Down-link piek bitsnelheden van 100 Mbit/s en up-link piek bitsnelheden van 50 Mbit/s in een 20 MHz band;
- Zeer korte netwerkvertraging van 5 ms (bij een spectrum van 5 MHz of hoger);
- Verbeterde bitsnelheden op de celrand;
- Slechts ondersteuning voor pakketgeschakelde diensten;
- Geoptimaliseerd voor lagere snelheden, maar ondersteunt verbinding tot aan 350 km/u;
- Verminderde kosten voor het core netwerk.

Om deze prestaties te halen wordt gebruikt gemaakt van de technologie Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) i.p.v. WCDMA in combinatie met FDMA en/of TDMA. Daarnaast wordt gebruikt gemaakt van geavanceerde antenne technologieën met meerdere antennes van het basisstation en op de terminal (MIMO).

Na afronding van de haalbaarheidsstudie naar LTE door 3GPP (2006) wordt begonnen met de daadwerkelijke standaardisatie. UMTS LTE wordt gezien als dé logische volgende stap voor de huidige UMTS-netwerk operators. Alle grote netwerkverkopers en de meeste operators staan dan ook achter deze verdere ontwikkeling van UMTS. Uiteraard zal het succes van UMTS LTE op de markt in sterke mate afhangen van de opkomst van alternatieve technologieën als IEEE 802.16 en 802.20. UMTS LTE wordt op de markt verwacht op zijn vroegst in 2010. Derhalve is UMTS LTE niet onmiddellijk van belang bij de uitgifte van de 2,6 GHz band. Een UMTS operator kan in zijn roadmap wel rekening houden met migratie naar LTE, wat invloed kan hebben op zijn strategie bij de uitgifte.

2.2.1.4 CDMA2000

CDMA2000 is ontwikkeld binnen de Amerikaanse Telecommunications Industry Association (TIA). In dit systeem wordt, evenals bij WCDMA/UMTS, Code Division Multiple Access (CDMA) toegepast voor het realiseren van de radioverbindingen tussen basisstations en mobiele gebruikers. Aan de basis van de technologie ligt de IS-95 standaard voor mobiele telefonie. In een migratie naar de 3de generatie mobiele netwerken is deze standaard verder ontwikkeld naar de CDMA2000-standaard, die deel uitmaakt van IMT2000 (International Mobile Telecommunications 2000). De radiotechnologie wordt ook wel aangeduid met CDMA2000-1x of CDMA1x. Qualcomm is marktleider voor CDMA2000-technologie. Met 180 operators in 76 landen (bron: www.cdg.org) mag men spreken van een gevestigde technologie, vergelijkbaar met WCDMA(UMTS). Belangrijk verschil met WCDMA/UMTS is dat CDMA2000 is gebaseerd op 1,25 MHz carriers (FDD).

De door 3GPP2 ontwikkelde standaarden en de adoptie daarvan door de markt hebben zich in de loop der tijd als volgt ontwikkeld:

- **CDMA2000 1xEV-DO (1x Evolution Data Only)**
Air-interface die piek-datasnelheden ondersteunt van 2,4 Mbit/s, die is geoptimaliseerd voor pakket geschakelde datatransmissie. Er zijn op het moment van schrijven 52 commerciële netwerken op basis van 1xEV-DO technologie. Volgens opgave van CDG zijn er 351 verschillende user terminals ontwikkeld op basis van 1xEV-DO.
- **CDMA2000 1xEV-DV (1x Evolution Data-Voice)**
Deze standaard ondersteunt spraakverbindingen, dataverbindingen en combinatie van beide typen verbindingen. Datatransmissie kan plaatsvinden op basis van circuit-geschakelde data zowel als pakket-geschakelde data. Qualcomm is in 2005 gestopt met deze variant, waarschijnlijk vanwege onvoldoende belangstelling uit de markt waar de voorkeur nadrukkelijk ligt op EV-DO.
- **CDMA2000 1xEV-DO Revision A**
Revision A is een doorontwikkeling van de 1xEV-DO standaard die een verhoging biedt van de theoretische piek-datasnelheid naar 3,1 Mbit/s (DL) respectievelijk 1,8 Mbit/s (UL). Verder biedt deze standaard een quality-of-service mechanisme dat real-time data applicaties mogelijk maakt, zoals Voice over IP (VoIP), videotelefonie en music-on-demand. Hiermee wordt de behoefte aan ondersteuning van tijdkritische diensten, die ten grondslag lag aan 1xEV-DV, alsnog ingevuld. In oktober 2006 is een persbericht verschenen dat Sprint als eerste operator ter wereld in San Diego een netwerk upgrade heeft uitgevoerd naar Revision A en daarmee geassocieerde services levert aan haar abonnees. Op basis van de gunstige resultaten in San Diego is Sprint voornemens de uitrol elders in de VS te accelereren zodanig dat in Q3 2007 het gehele netwerk van Sprint naar Revision A moet zijn gemigreerd (220 steden, ruim 900 vliegvelden). In augustus 2006 hebben Sprint en Novatel het eerste device in de markt gebracht dat Revision A ondersteunt, de S720 Sprint Mobile Broadband Card (PCMCIA). Andere operators die bekend hebben gemaakt dat zij Revision A overwegen c.q. daartoe hebben besloten zijn KDDI, LG Telecom, Sprint Nextel, Telecom New Zealand and Verizon Wireless [5].
- **CDMA2000 1xEV-DO Revision B (DO Multi Carrier)**
Met deze Revision, welke in maart 2006 door 3GPP2 is geaccordeerd, worden met enkele innovaties de maximale datasnelheden (per 1,25 MHz carrier) verder verhoogd tot 4,9 Mbit/s (DL) respectievelijk 1,8 Mbit/s (UL). Tevens biedt Revision B de mogelijkheid voor stapeling van 1,25 MHz carriers in een blok van in totaal 20 MHz breed (multicarrier concept). Commerciële uitrol van Revision B is op zijn vroegst in 2008.
- **CDMA2000 1xEV-DO Revision C**
Momenteel wordt gewerkt aan Revision C waarin o.a. met OFDMA- en MIMO-technologie pieksnelheden in de down-link worden opgevoerd naar ca. 200 Mbit/s. C zal terugwaarts compatibel zijn met A en B. De verwachting is dat deze standaard in Q2 2007 zal zijn voltooid en dat commerciële systemen in de tweede helft van 2008 zullen verschijnen (schattingen afgegeven in april 2006).

In Europa (o.a. Zweden, Roemenië) zien we CDMA2000-systemen met name toegepast worden in de 450-470 MHz band. We achten echter, op grond van de volwassenheid, de potentie (roadmap) en huidige wereldwijde marktpositie, de kans zeer reëel dat

operators voor de 2,6 GHz band kiezen voor deze technologie. In 2008/2009 zal dit naar verwachting Revisions A en B betreffen.

2.2.1.5 GSM/EDGE

GSM is 's werelds wijdst verspreide standaard voor mobiele telefonie en wordt op het moment gebruikt door twee miljard mensen in 212 landen (stand november 2006) [6]. GSM is een FDMA/TDMA-techniek in een gepaard spectrum. Een enkel kanaal is 200 kHz breed en bevat 8 tijdsloten voor spraak of data. Vele kanalen zijn nodig om een landelijk dekkend netwerk te creëren. In Europa wordt met name de 900 MHz en de 1800 MHz band gebruikt. Buiten Europa wordt ook de 850 MHz en de 1900 MHz band gebruikt. In Scandinavië wordt ook in een enkel geval de 400 en 450 MHz band gealloceerd voor GSM.

Aan de populaire spraak en SMS-dienst zijn in de loop der tijd verschillende datadiensten toegevoegd zoals General Packet Radio Service (GPRS) met snelheden van 30 – 80 kbit/s. Enhanced Data rates for GSM Evolution EDGE is de meest recente ontwikkeling en verhoogt de efficiëntie (aantal spraakkanalen of bitsnelheid per gebruiker) met een factor drie ten opzichte van GPRS tot ca. 200 kbit/s. Omdat voor EDGE geen nieuw spectrum en slechts zeer beperkte technologische upgrades nodig zijn is de techniek zeer populair en heeft het merendeel van de GSM operators zijn netwerk opgewaardeerd met EDGE. EDGE wordt in veel gevallen ook complementair aan 3G diensten als UMTS ingezet om een landelijke data dekking te realiseren met beperkte investeringen. In Nederland heeft slechts Telfort gebruik gemaakt van EDGE.

We achten het op grond van het bovenstaande niet waarschijnlijk dat GSM/EDGE technologie wordt gekozen voor een nieuwe band, in casu de 2,6 GHz band.

2.2.2 Non-IMT-2000 technologieën

2.2.2.1 IEEE 802.16^e (Mobile WiMAX)

De eind 2005 gepubliceerde 802.16e-2005 standaard, in de markt beter bekend onder de merknaam Mobile WiMAX⁴, is ontwikkeld door de IEEE 802.16 Working Group en voorziet, zoals de merknaam al suggereert, in de ondersteuning van mobiliteit in WiMAX-technologie.

De IEEE 802.16 Working Group ontwikkelt standaarden voor draadloze breedband Metropolitan Area Networks, aanvankelijk uitgaande van point-to-multipoint Fixed Wireless Access. IEEE 802.16 standaarden bestaan voor frequenties van 2-60 GHz, voor verschillende toepassingen (vast, nomadisch, en mobiel), voor licentiebanden en voor licentievrije banden, voor line-of-sight radioverbindingen en voor non-line-of-sight verbindingen. Het WiMAX-forum, een non-profit organisatie van fabrikanten en operators, heeft als doel de ontwikkeling en toepassing van draadloze breedband Metropolitan Area Networks gebaseerd op de IEEE 802.16-standaarden te bevorderen. Hiertoe worden test- en certificeringprogramma's opgesteld die moeten leiden tot interoperabiliteit tussen producten van verschillende fabrikanten. De 802.16-2004 standaard (Fixed WiMAX) is geheel afgestemd met de door ETSI gepubliceerde HIPERMAN-standaard. In 2006 zijn (Fixed) WiMAX-systemen op de markt verschenen. In Nederland werken Worldmax (joint venture van Intel en Enertel) en

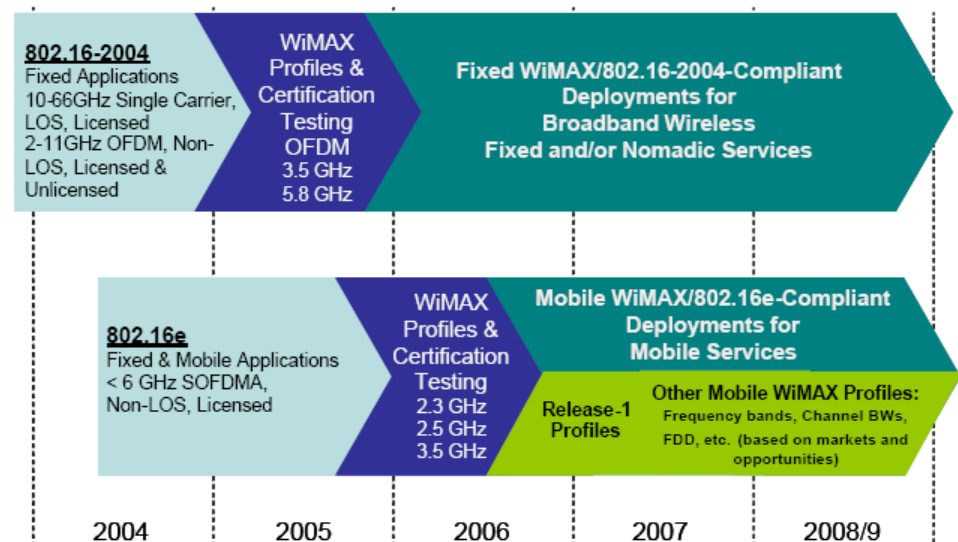
⁴WiMAX: Wireless Interoperability for Microwave Access. De naam Mobile WiMAX is ter onderscheid van 'Fixed WiMAX', de marktbenaming voor systemen die voldoen aan de eerder uitgebrachte 802.16-2004 standaard.

Casema aan de uitrol van WiMAX-netwerken⁵. Beide operators hebben hun zinnen gezet op nomadische diensten maar straks vormen hun netwerken een interessante basis voor de migratie naar de mobiele WiMAX variant⁶.

In technologisch opzicht is de 802.16e standaard sterk geïnspireerd geweest door de in 2005 reeds ontwikkelde en reeds beproefde WiBro-technologie uit Korea (zie ook paragraaf 2.2.2.2). De totstandkoming van 802.16e is daardoor juist moeizaam verlopen vanwege het politieke probleem dat de Koreaanse invloed op deze Amerikaanse standaard onevenredig groot zou worden en Amerikaanse marktpartijen al bijvoorbaat weinig of geen kans zouden maken in deze groeimarkt. De support van Intel is uiteindelijk doorslaggevend geweest. Het belang van Intel is stimulering van de voor hen belangrijke groeimarkt voor pocket PC's en laptops, door de toevoeging van WiMAX functionaliteit aan hun Centrino chipsets.

De IEEE 802.16e air interface is gebaseerd op OFDMA, een technologie die inmiddels door de wetenschap en de industrie als key-enabler wordt beschouwd voor breedbandige tot zeer breedbandige mobiele communicatie, vanwege de goede performance onder sterke multipad condities. De OFDM subcarriers kunnen worden gemoduleerd met QPSK, 16-QAM of 64-QAM in combinatie met een bepaalde foutcodering, e.e.a. afhankelijk van cel/sector-dimensionering en propagatiecondities. Release 1 voorziet onder andere in een System Profile voor de 2,496-2,69 GHz band met kanaalbreedtes van 5 of 10 MHz. De maximale fysieke datasnelheid bij een kanaalbreedte van 5 MHz bedraagt 15,8 Mbit/s (DL) respectievelijk 11,4 Mbit/s (UL). Bij een kanaalbreedte van 10 MHz komt dit neer op een praktische verdubbeling van deze snelheden. Mobile WiMAX ondersteunt diverse QoS klassen ten behoeve van verschillende typen diensten/toepassingen.

De huidige stand van zaken rond Mobile WiMAX lichten we toe aan de hand van de hieronder geïllustreerde roadmap van (Mobile) WiMAX.



Figuur 2.2: Roadmap voor Fixed en Mobile WiMAX (Bron: WiMAX Forum)

⁵ Casema heeft een licentie voor de 2,6 GHz band, geldig tot 2008. Worldmax heeft een licentie voor de 3,5 GHz band, geldig tot 2015.

⁶ Fixed WiMAX ondersteunt nomadisch gebruik. Daadwerkelijk mobiel gebruik vereist 802.16e-technologie.

Op basis van de eind 2005 gepubliceerde 802.16e-2005 standaard is in 2006 door het WiMAX Forum gewerkt aan de realisering van de eerste zogenaamde System en Certification Profiles, geïnspireerd door de huidige/meest urgente operator requirements en de WiBro ervaringen uit Azië. Tevens was voorzien dat eind 2006 Cetecom Spanje en TTA in Korea zover zijn dat zij in staat zijn zijn Mobile WiMAX producten te certificeren. De introductie van de eerste Mobile WiMAX gecertificeerde systemen wordt in 2007 verwacht. In de komende jaren worden door het WiMAX Forum aanvullende Profiles ontwikkeld, op basis van de (voorzene) regio-afhankelijke marktverraag in de wereld.

Mobile WiMAX staat momenteel zeer sterk in de belangstelling en wordt gezien als een serieuze concurrent van 3G/UMTS-technologie. Vooral de in augustus van 2006 aangekondigde plannen van Sprint Nextel uit de VS hebben hier aan bijgedragen. Sprint Nextel is een in de VS gevestigde operator, momenteel exploitant van een landelijk CDMA2000 1xEV-DO netwerk en tevens - via acquisitie van Nextel - in bezit van 2,5 GHz MMDS spectrum. In samenwerking met Intel, Motorola en Samsung is de lancering, eind 2007, van een landelijk dekkend '4G-netwerk' aangekondigd op basis van Mobile WiMAX technologie. In 2008 dienen ca 100 miljoen abonnees hierop te zijn aangesloten [7]. Dit 'overlay'-netwerk moet de gebruikers breedbandige datadiensten gaan leveren, ter aanvulling op de reeds via het bestaande CDMA2000 netwerk aangeboden spraakdiensten. Daarvoor hebben Motorola en Samsung toegezegd de benodigde dual-mode terminals te leveren⁷. Sprint Nextel wil ook op de langere termijn via industrie-allianties een strategische positie innemen bij de ontwikkeling van 4G diensten en applicaties en de daarvoor benodigde randapparatuur. Clearwire, eveneens een operator in de VS, heeft vergelijkbare activiteiten aangekondigd, in belangrijke mate gesteund door Intel en Motorola.

Behalve in Korea, Japan en in de VS geniet Mobile WiMAX eveneens belangstelling in Brazilië en in India, maar ook dichterbij huis, in Italië. Telecom Italia heeft een WiBro trial uitgevoerd tijdens de recente Olympische Winterspelen in Turijn. Clearwire heeft in 2006 in Brussel een WiMAX netwerk uitgerold dat ze naar Mobile WiMAX willen laten migreren zodra hiervoor de mogelijkheid zich aandient.

Er is echter nog geen algemene euforie. Opponenten van Mobile WiMAX wijzen op de opgetreden vertraging in de WiMAX roadmap, t.g.v. de late totstandkoming van IEEE 802.16^e, de onzekerheid over de beschikbaarheid van spectrum (met name de 2,6 GHz), o.a. in Europa en in China, en de late beschikbaarheid van voldoende typen mobiele terminals die WiMAX ondersteunen. Tevens is men er niet van overtuigd of Mobile WiMAX in Europa voldoende schaalgrootte zal krijgen vanwege de verzadiging van de mobiele markt, de dominante positie van 3G/UMTS-technologie.

De conclusie van deze beschouwing is dat IEEE 802.16e / Mobile WiMAX in ieder geval als een kansrijke technologie moet worden beschouwd voor de 2,6 GHz band voor de komende jaren.

2.2.2.2 *WiBro*

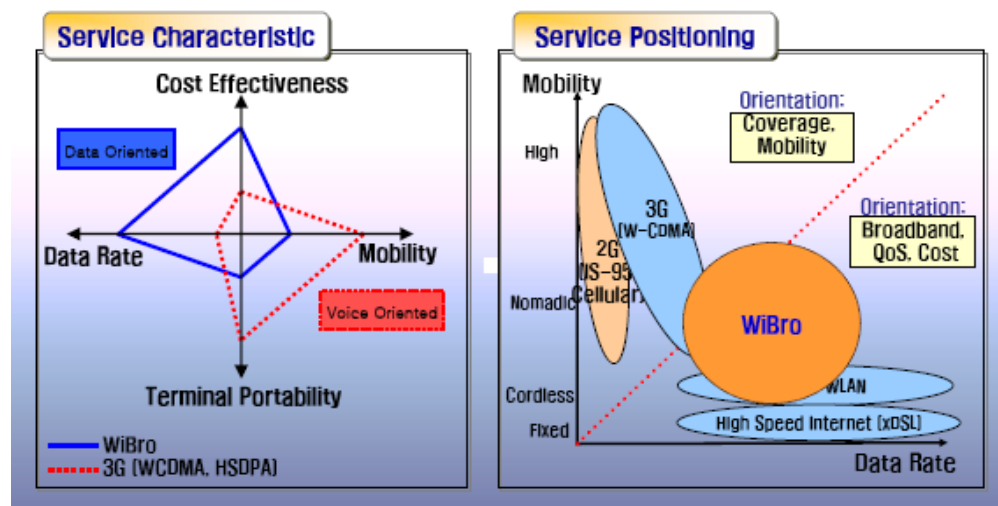
WiBro staat voor Wireless Broadband en is een Koreaanse ontwikkeling. LG Electronics en Samsung zijn de belangrijkste industriële stakeholders. Vanwege de belangrijke zo niet doorslaggevende rol van WiBro-technologie bij de totstandkoming van de IEEE 802.16^e standaard, zijn WiBro en Mobile WiMAX dan ook beide op

⁷ De operator KDDI in Japan werkt ook aan de realisering van een WiBro netwerk als overlay op hun CDMA 1xEV-DO netwerk, in samenwerking met Samsung.

dezelfde 802.16e-2005 standaard gebaseerd. Met een specifiek op de Koreaanse situatie afgestemde *System Profile*⁸ en *Certification Profile* onder IEEE 802.16e-2005 Release 1, is WiBro ondergebracht in de WiMAX familie.

WiBro is geoptimaliseerd voor breedbandige mobiele diensten; spraakdiensten worden middels VoIP ondersteund. Het opereert als TDD-technologie in de 2,3-2,5 GHz band (hetgeen als een belangrijke beperking wordt gezien bij de export van WiBro), op basis van S-OFDMA-QPSK/QAM-transmissie met een kanaalbreedte van 8,75 MHz. De maximale datasnelheid (fysieke laag, 1 carrier) bedraagt 18,4 Mbit/s (down-link), respectievelijk 6,1 Mbit/s (up-link). Deze snelheden zijn grosso modo vergelijkbaar met UMTS+HSPA. WiBro is gespecificeerd voor voertuigsnelheden tot 60 km/h.

De positionering van WiBro ten opzichte van 3G/UMTS is weergegeven in onderstaande figuur (Bron: Korean Telecom), waaruit blijkt dat men WiBro beschouwt als een aan 3G/UMTS complementaire technologie. Let op dat in deze figuur niet is uitgegaan van UMTS+HSPA.



Figuur 2.3: Relatieve positionering van WiBro en 3G/UMTS zonder HSPA (Bron: Korean Telecom)

In Korea wordt WiBro technologie toegepast door Korean Telecom en SK Telecom. In Korea is tussen 2,3 en 2,4 GHz in totaal 60 MHz vrijgemaakt voor drie kavels van elk netto 27 MHz. Ieder kavel biedt ruimte voor drie carriers.

Onder de 'Mobile WiMAX' vlag zien we de belangstelling van WiBro technologie ook elders sterk toenemen, zoals eerder reeds toegelicht. Onze verwachting is dat het merk WiBro voorbehouden zal blijven voor de Koreaanse markt. De introductie van WiBro-technologie als zodanig in Europa inclusief in Nederland achten we onwaarschijnlijk.

2.2.2.3 Navini Ripwave MX

Navini levert onder de naam Ripwave MX een draadloos breedbandig access netwerk voor portable, nomadisch gebruik. De Ripwave productlijn bestaat uit een Element Management System, basisstations, modems en insteekkaarten. De techniek is proprietary, maar Navini heeft tijdens Mobile WiMAX 'Plugfests' (bron: persbericht 28/9/2006) laten zien dat MX compatibel is met 802.16e. Navini spreekt in dit verband

⁸ Hier wordt bedoeld op het System Profile met een kanaalbandbreedte van 8,75 MHz, specifiek voor de 2,3-2,4 GHz band in Korea.

over Smart WiMAX, omdat ze 802.16e technologie met de door hen gepatenteerde smart beam forming technologie combineren. Navini claimt dat zij met hun product klaar zijn voor 802.16e -2005 Wave II certificering.

Navini Ripwave MX maakt gebruik van Multi Carrier Synchronous CDMA in combinatie met TDD voor asymmetrisch up-link en down-link verkeer. Een frequentie hergebruikafstand van één zou mogelijk moeten zijn, wat betekent dat met één kanaal van 5 MHz een compleet netwerk kan worden uitgerold. Systemen voor verschillende licentie- en niet-licentiebanden in de 2,3-2,6 en 3,4-3,5 GHz band zijn beschikbaar. De modulatie is adaptief en varieert van QPSK tot 64-QAM. Door gebruik te maken van een adaptieve phased array op het basisstation wordt smart beamforming in de up-link en down-link toegepast. Daarnaast beschikt het modem over een diversity antenne waarmee Space-Time Coding technieken kunnen worden toegepast. Met deze technieken wordt de interferentie beperkt en kan een hogere capaciteit of grotere celstraal worden bereikt. Navini claimt een celstraal tot 5 km (omgeving niet gespecificeerd) en bitsnelheden tot 4,8 Mbit/s (waarschijnlijk dicht bij het basisstation) per gebruiker zijn mogelijk.

De techniek beschikt over Grade of Service and Quality of Service mechanismen. Door gebruik te maken van verschillende verkeersklassen als real-time, high priority en low priority kunnen verschillende diensten als Voice over IP en breedbandig Internet toegang worden aangeboden.

De keuze voor Navini Ripwave technologie als speciale 'flavour' van Mobile WiMAX o.a. in de Europese markt is zeker denkbaar, maar onze verwachting is dat dit een niche markt betreft.

2.2.2.4 IEEE 802.20

De IEEE 802.20 Working Group was opgericht om een mobiel breedband Metropolitan Area Network te standaardiseren. Net als bij 802.16 beslaan de standaarden slechts de onderste lagen van de radio interface, te weten de physical layer en de medium access control layers.

Een verschil met 802.16 is dat 802.20 slechts bestaat voor licentiebanden en slechts voor die welke zich onder de 3,5 GHz bevinden. Daarnaast richt 802.20 zich specifiek op mobiliteit en zal snelheden ondersteunen tot 250 km/u. 802.16e biedt ook een vorm van mobiliteit, maar slechts met snelheden tot 120-150 km/u, wat onvoldoende is voor hogesnelheidstreinen. Een ander verschil is dat 802.16 standaarden reeds bestaan en eerste producten al in 2006 worden verwacht, terwijl de 802.20 standaard nog in ontwikkeling is. Gelet op wat in 2006 gaande is geweest rond deze werkgroep, is de totstandkoming van 802.20 zelfs zeer onzeker geworden.

Door Intel en Motorola (beide zeer actief in IEEE 802.16e) is namelijk een formele aanklacht ingediend over de werkwijze van de Working Group [8]. In het bijzonder werd de voorzitter aangeklaagd omdat deze onder vuur kwam te liggen omdat hij ingediende technical proposals van de Fa. Qualcomm sterk zou bevoordelen in de behandeling t.o.v. concurrerende voorstellen. Uit onderzoek is tevens gebleken dat de voorzitter, in tegenstelling tot zijn formele aanstelling als onafhankelijk consultant, door Qualcomm werd betaald. Dit heeft geleid tot een voor de IEEE unieke gebeurtenis, namelijk de (tijdelijke) opschorsing van de werkgroep door de IEEE SA Standards Board om vooral procedureel en qua bemensing orde op zaken te stellen. Dat deze aanklacht juist door twee 802.16e-proponenten is ingediend, is waarschijnlijk niet

uitsluitend toeval. Al langer was er sprake van onduidelijkheid in de markt over de relatieve positionering van 802.20 ten opzichte van 802.16e.

Concluderend kan worden gesteld dat gelet op de huidige stand van zaken, de realisering van de 802.20-standaard verder weg is dan ooit. Derhalve verwachten we dat IEEE 802.20 technologie niet of nauwelijks van belang is bij de 2,6 GHz frequentie-uitgifte.

2.2.2.5 *Flash-OFDM*

FLASH-OFDM is een technologie ontwikkeld door de start-up Flarion. FLASH staat voor Fast Low-latency Access with Seamless Handoff, een innovatieve OFDM variant. De eigendomsrechten van deze technologie zijn in januari 2006 formeel overgegaan naar Qualcomm⁹, de firma achter CDMA2000 en navolgende technologieën.

Flarion had eerder geprobeerd de FLASH-OFDM technologie te standaardiseren in de IEEE 802.20 Working Group, maar is gezien de trage voortgang van deze groep er uit gestapt en zelfstandig verder gegaan. Vervolgens was Flarion versneld (ruim voor 802.20) op de markt gekomen met eigen proprietary producten. Om deze reden wordt Flarion's FLASH-OFDM techniek ook wel een pre-802.20 techniek genoemd, net als Navini's Ripwave (zie par 2.2.2.3). Zoals gezegd is de technologie nu eigendom van Qualcomm.

Web-publicaties over de prestaties van FLASH-OFDM zijn zeer positief. FLASH-OFDM is in 2004 door T-Mobile beproefd in Nederland. Qualcomm Japan heeft recentelijk een field trial uitgevoerd met een systeem werkend in de 2GHz band, een trial met een rijdend voertuig in een stedelijk gebied waarbij voor het eerst een base station hand-over is gedemonstreerd. In Finland opereert een Flash-OFDM netwerk in de 450 MHz band.

Een innovatie van FLASH-OFDM is Flexband in combinatie met BeaconTone technologie. De onderliggende technische principes worden door Qualcomm niet helder toegelicht, maar met deze innovatie worden datasnelheden geclaimd van 5.3 Mbit/s (DL, piek) respectievelijk 1,8 Mbit/s (UL, piek), uitgaande van 1,25 MHz brede carriers (FDD). De huidige productlijn van Qualcomm (o.a. de RR2000 RadioRouter) ondersteunt Flexband. Frequentiebanden tot 3,5 GHz worden ondersteund. Qualcomm heeft in een persbericht van augustus 2005, toen de voorgenomen aankoop van Flarion bekend was gemaakt, laten weten dat Flash-OFDM voorlopig een aanvulling blijft op hun kerntechnologieën CDMA2000 en WCDMA (UMTS).

De keuze van Sprint-Nextel voor Mobile WiMAX en niet voor FLASH-OFDM (van Qualcomm) of UMTS TDD (van IP Wireless) heeft de marktattractiviteit van FLASH-OFDM zeker geen goed gedaan. Het gepubliceerde argument voor deze keuze was het gebrek aan voldoende industrieel draagvlak voor FLASH-OFDM en UMTS TDD.

De indruk van deze krachtige maar vooralsnog proprietary technologie is dat, voornamelijk door de nog beperkte ambities en marktsuccessen van Qualcomm inzake FLASH-OFDM, deze technologie aan populariteit heeft ingeboet. Op grond daarvan schatten we de kansrijkheid van toepassing van deze technologie in Europa c.q. in Nederland voor de frequentieband onder studie op de afzienbare termijn niet hoog in.

⁹ Qualcomm Flarion Technologies (QFT) is de eigenaar van Flash OFDM technologie.

2.2.2.6 IEEE 802.11 (WiFi)

Hoewel 802.11 technologie is bedoeld voor draadloos LAN toepassingen (indoor en outdoor) in licentievrije frequentiebanden, is de aanwending van deze technologie in de net daarboven gelegen 2,5-2,6 GHz band zeer zeker voorstelbaar.

IEEE 802.11 is de familie van standaarden voor draadloos LAN, ontwikkeld door groep 11 van het IEEE LAN/MAN standaarden comité. IEEE 802.11 gecertificeerde producten worden onder de naam WiFi (Wireless Fidelity) in de markt gezet. Na het ontstaan van de 802.11 standaard is geleidelijk aan een familie van substandaarden ontwikkeld, gericht op de oorspronkelijk voor WLAN beoogde 2,4 GHz ISM band (802.11b, 802.11g) en later ook op de 5 GHz band (802.11a). In het kader van de in dit onderzoek relevante 2,6 GHz frequentieband behandelen we alleen de 2,4 GHz lijn.

De markt voor WiFi-apparatuur is in de afgelopen jaren buitengewoon sterk gegroeid, met als gevolg dat een snelle technologische ontwikkeling en een kosteneffectief aanbod van apparatuur in de markt hand in hand gaat. WiFi-technologie is derhalve niet alleen aantrekkelijk gebleken voor draadloos LAN toepassingen in de zakelijke en consumentenmarkt; maar ook voor de uitrol van publieke WLAN-netwerken (indoor en outdoor) door gevestigde telecom operators en WISPs. De belangrijkste concessies, in vergelijking tot de meeste WAN-technologieën, betreffen de korte afstanden en gebrekkige ondersteuning van QoS-gevoelige diensten. IEEE 802.11 biedt inmiddels QoS-ondersteuning ten behoeve van tijdkritische diensten, maar bij toepassing in de vergunningvrije 2,4 GHz band moeten operators rekening blijven houden met suboptimale QoS-ondersteuning in hun service aanbod.

In de loop der tijd zijn de maximaal haalbare bitsnelheden op de fysieke laag met sprongen omhoog gegaan. De courante substandaard voor de 2,4 GHz band is de in 2003 geratificeerde 802.11g met adaptieve modulatie en codering (gekoppeld aan de bitsnelheid) en een theoretische maximale bitsnelheid van 54 Mbit/s. De toegepaste modulatie is OFDM voor bitsnelheden vanaf 20 Mbit/s. Gelet op het vergunningvrije regime en de daarvoor gestelde maximum EIRP-eisen, zijn typische afstanden beperkt tot hooguit enkele honderden meters voor de hoogste bitsnelheden. Ten opzichte van de oudere 802.11b versie zijn de beveiligingsmechanismen verbeterd. Tevens biedt 802.11 ondersteuning van roaming tussen access points.

Momenteel wordt gewerkt aan de 802.11n substandaard die maximale snelheden ondersteunt van 130 Mbit/s (access point) respectievelijk 65 Mbit/s (terminal). Dit wordt bereikt door toepassing van ondermeer MIMO-technologie en 'channel bonding' waarbij meerdere RF kanalen bijeen worden genomen voor het datatransport. De 802.11.n substandaard zal naar verwachting niet eerder dan begin 2008 zijn geratificeerd. Momenteel zijn wel pre 802.11n systemen in de markt verkrijgbaar.

Gelet op de vrij complete functionaliteit van de huidige generatie 802.11 technologie en op het 'low cost' karakter is het voor operators technisch en financieel-economisch aantrekkelijk om WiFi-technologie in te zetten in de 2,6 GHz band die niet is behept met de typische nadelen van een vergunningvrije band. Deze technologie achten we derhalve kansrijk voor toepassing in Europa c.q. in Nederland.

2.3 Onderlinge vergelijking van technologieën

In bijlage B van dit rapport is een vergelijkingstabel opgenomen waarin alle in dit hoofdstuk besproken technologieën voor vergelijkingsdoeleinden naast elkaar zijn gezet, op basis van een tiental criteria. In bijlage A worden deze criteria toegelicht.

2.4 Conclusies

De technologie-inventarisatie had tot doel antwoorden te vinden op de volgende onderzoeksvragen:

1. *Welke systemen en typen systemen voor mobiele communicatie zijn in de genoemde frequentiebanden in de markt beschikbaar of komen binnen afzienbare tijd beschikbaar?*
3. *Welke systemen zullen naar verwachting gebruikt gaan worden?*

In onderstaande tabel zijn alle in de studie beschouwde technologieën opgenomen waarbij per technologie de ingeschatte beschikbaarheid en “kansrijkheid” is weergegeven. De tabel vormt daarmee de beantwoording van de vragen 1 en 3. De inschatting van de “kansrijkheid” is geïntroduceerd om daarmee een indicatief antwoord te geven op onderzoeksvraag 3. Een directe beantwoording is zeer moeilijk omdat het gebruik, naast de beschikbaarheid, sterk zal afhangen van de marktvraag naar mobiele (breedbandige) diensten en in relatie daarmee de investeringsstrategie van bestaande en nieuwe operators en de kosten (CAPEX en OPEX) van een technologie. Deze factoren zijn bij de onderzoekers geenszins bekend.

Tabel 2.1: Bevindingen van de technologie-inventarisatie. Tevens aangegeven welke technologieën zijn geselecteerd voor het frequentietechnisch onderzoek

Technologie	Beoordeling in relatie tot 2,6 GHz uitgifte in NL	In selectie
IMT-2000		
UMTS FDD met HSPA	State-of-the-art FDD technologie. Zeer waarschijnlijk straks beschikbaar en kansrijk voor de 2,6 GHz band.	Ja
UMTS TDD	State-of-the-art TDD technologie. Zeer waarschijnlijk straks beschikbaar en kansrijk voor de 2,6 GHz band.	Ja
UMTS LTE	Pas op lange termijn beschikbaar en kansrijk, dus niet direct aan de orde bij de 2,6 GHz uitgifte. Alleen globaal meenemen in het frequentietechnisch onderzoek.	Globaal
TD-SCDMA	Met name van belang voor de Chinese markt. Lijkt niet beschikbaar voor de Europese markt. Derhalve evenmin kansrijk.	Neen
IP Wireless	State-of-the-art proprietary technologie gebaseerd op UMTS TDD. Beschikbaarheid van IP Wireless in Nederland is denkbaar. Kansrijkheid is moeilijk in te schatten. Wordt in frequentietechnisch onderzoek equivalent geacht met UMTS TDD welke is geselecteerd.	Neen
CDMA 2000		
1xEV-DV	Deze variant is gestopt, dus niet beschikbaar en dus evenmin kansrijk.	Neen
1xEV-DO Rev 0	Courante technologie maar in 2007/2008 niet meer state of the art. Redelijke kans op beschikbaarheid, echter geheel niet kansrijk.	Neen
1xEV-DO Rev A	State-of-the-art technologie is aangekondigd. Vrij grote kans op beschikbaarheid van geschikte versie voor Europese (2,6 GHz) markt. Kansrijkheid nog moeilijk te beoordelen.	Ja
1xEV-DO Rev B	Redenering equivalent met die voor Rev A.	Ja
1xEV-DO Rev C	Pas op lange termijn beschikbaar dus niet direct aan de orde bij de 2,6 GHz uitgifte. Kansrijkheid in Europa nog moeilijk in te schatten.	Neen
GSM/EDGE	Zeer waarschijnlijk niet beschikbaar in de 2,6 GHz, dus evenmin kansrijk	Neen

Technologie	Beoordeling in relatie tot 2,6 GHz uitgifte in NL	In selectie
Non IMT-2000		
IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)	State-of-the-art technologie. Volledige beschikbaarheid op afzienbare termijn zeer waarschijnlijk. Tevens kansrijk voor de 2,6 GHz band.	Ja
WiBro	Gericht met name op Koreaanse markt. Vrijwel zeker niet beschikbaar voor Europese markt, dus evenmin kansrijk. Is overigens sterk gerelateerd aan Mobile WiMAX, welke is geselecteerd voor het frequentietechnisch onderzoek.	Neen
Narvini	Proprietary, overeenkomst met WiMAX, welke is geselecteerd. Beschikbaarheid voor de 2,6 GHz band is denkbaar. De kansrijkheid lijkt niet hoog. Dit, en de sterke verwantschap met Mobile WiMAX, heeft geleid tot afwijzing voor het frequentietechnisch onderzoek.	Neen
IEEE 802.20	Beschikbaarheid standaard en daarmee zeker de systemen zeer onzeker geworden. Dus evenmin kansrijk.	Neen
Flash OFDM	Beschikbaarheid voor de 2,6 GHz band is zeker denkbaar. Marktpositie is zeer onduidelijk, zodat kansrijkheid niet hoog lijkt. Dit en het feit dat Flash OFDM zeer flexibel inpasbaar is in het spectrum, hebben geleid tot afwijzing voor het frequentietechnisch onderzoek.	Neen
IEEE 802.11	Sterke positie als low-cost technologie in ongelicenseerde 2,4 GHz band. Beschikbaarheid in 2,6 GHz band is zeker denkbaar met relatief beperkte technische aanpassingen. Tevens ingeschat als kansrijk.	Ja

2.5 Selectie voor het frequentietechnisch onderzoek

Het in hoofdstuk 3 gerapporteerde frequentietechnische onderzoek is gebaseerd op een verantwoorde selectie van technologieën uit voorgaande survey. Het is niet heel zinvol om alle technologieën hierin mee te nemen. Een selectie is gemaakt van de “kansrijk” geachte technologieën. Die technologieën waarvoor de kansrijkheid moeilijk is in te schatten hebben het ‘voordeel van de twijfel’ gekregen en zijn meegenomen in het frequentietechnische onderzoek. Aldus is de volgende selectie gemaakt:

- UMTS FDD met HSPA
- UMTS TDD
- CDMA 2000 1xEV-DO Rev A en B
- Mobile WiMAX (IEEE 802.16e)
- IEEE 802.11

In de analyse is t.a.v. UMTS wel rekening gehouden met de komst, op termijn, van UMTS LTE.

3 Frequentietechnisch onderzoek

3.1 Inleiding

Als resultaat van de technologie-inventarisatie in het voorgaande hoofdstuk zijn “kansrijke” systemen/technologieën geïdentificeerd die de basis vormen voor het frequentietechnische onderzoek dat in het teken staat van de eis van technologieneutraliteit. De bevindingen van dit onderzoek zijn in dit hoofdstuk opgenomen. De volgende aspecten worden hier belicht:

- de frequentietechnische karakteristieken van de verschillende systemen;
- hoe de verschillende systemen kunnen worden ingepast binnen het beschikbare spectrum tussen 2500 en 2690 MHz.

Er zijn verschillende opties voor de verdeling van de frequentieruimte in de 2,6 GHz band. In dit hoofdstuk zullen de verschillende aspecten van de frequentieverdeling worden toegelicht en geanalyseerd. Bij de analyse van de frequentieverdeling en de keuzes die hierin kunnen worden gemaakt staan de uitgangspunten van het frequentiebeleid centraal.

3.2 Frequentiebehoefte voor de verschillende radiotechnologieën

3.2.1 Spectrale karakterisering van de radiotechnologieën

Om na te gaan hoe de verschillende technologieën passen binnen de opties die er zijn voor de frequentie-indeling van de 2,6 GHz band, is het van belang inzicht te hebben in de manier waarop de verschillende systemen gebruik maken van het spectrum. In *Tabel 3.1* is een overzicht gegeven van de spectrale karakteristieken van de in hoofdstuk 2 geselecteerde systemen.

Tabel 3.1 Spectrale karakterisering van de verschillende systemen.

	UMTS FDD	UMTS TDD	WiMax IEEE802.16e	CDMA2000 Rev A	CDMA2000 Rev B	WiFi IEEE802.11 ^{*)}
Kanaalbreedte	5 MHz	5 MHz	Schaalbaar 1,25 - 20 MHz	1,25 MHz	Schaalbaar n×1,25 MHz	20 MHz
Duplex methode	FDD	TDD	TDD	FDD	FDD	TDD
Duplex afstand	120 MHz	n.v.t.	n.v.t.	120 MHz	120 MHz	n.v.t.
Freq. re-use factor	1	1	1 of 3	1	1	3 of meer

*) In het kader van deze studie zijn met name 802.11g/n van belang

Een belangrijke factor in de vergelijking van de verschillende radiotechnologieën is de spectrale efficiëntie: het aantal bits per seconde dat verstuurd kan worden per Hz bandbreedte. Nieuwere technologieën bieden in het algemeen een hogere spectrale efficiëntie door toepassing van bijvoorbeeld geavanceerde modulatie- en coderingstechnieken, of door toepassing van innovatieve antenneconcepten zoals beamforming en MIMO¹⁰.

In de praktijk stellen nieuwe technologieën de operator beter in staat kosteneffectieve trade-offs te maken tussen dekking, capaciteit en quality of service. Het is belangrijk te beseffen dat de spectrale efficiëntie zeer situatieafhankelijk is, en bijvoorbeeld afhangt van de vraag of een gebruiker al of niet in beweging is, of het over een indoor- of een outdoor-systeem gaat, en of het systeem is bedoeld voor dekking in kleine gebieden (local area) of bijvoorbeeld voor landelijke dekking. Door het aanpassen van een technologie aan een specifieke situatie kan de spectrale efficiëntie vaak verbeterd worden, maar het is niet zeker dat dezelfde technologie dan ook in een ander omgeving efficiënt werkt. Het vergelijken van de spectrale efficiëntie is dan ook niet zondermeer mogelijk op basis van systeemparameters. Uit verschillende bronnen blijkt dat de spectrale efficiëntie van WiMAX ten opzichte van UMTS en CDMA2000 circa 25% tot 150% hoger is, afhankelijk van situatie en aannames [9], [10],[11]. De hoogste verbeteringen worden bereikt door toepassing van MIMO-technologie. Dezelfde grootteorde in verbetering van spectrumefficiëntie wordt met UMTS LTE verwacht.

Er zijn verschillende factoren die van invloed zijn op het spectrum dat nodig is voor de praktische uitrol van netwerken. Voor ieder van de geselecteerde technologieën kan dit leiden tot in meer of mindere mate afwijkende spectrumbehoeftes. De factoren die een rol spelen zijn hierna beschouwd, in relatie tot de verschillende technologieën waarvan verwacht wordt dat zij waarschijnlijk een rol zullen gaan spelen in de 2,6 GHz band.

3.2.2 Kanaalbreedtes

Volgens de definitie van ITU wordt de term 'kanaal' verstaan: deel van het frequentiespectrum met een vastgelegde breedte bedoeld voor de transmissie van radiosignalen. De kanaalbreedte geeft dus aan hoe groot het spectrumdeel is waarbinnen het signaal van een radiosysteem wordt uitgezonden. Doorgaans wordt een deel van het spectrum verdeeld volgens een bepaald kanaalraster gebaseerd op kanalen met een bepaalde vaste breedte. Radiosystemen die binnen het betreffende deel van het spectrum worden ingezet dienen een radiosignaal te hebben dat past binnen de gespecificeerde kanaalbreedte.

De breedte van één kanaal is als een minimum voor de frequentiebehoefte te beschouwen. Voor een aantal technologieën geldt een vaste kanaalbreedte: UMTS FDD en TDD 5 MHz, CDMA2000 Rev. A 1,25 MHz en WiFi 20 MHz. Andere systemen bieden meer flexibiliteit doordat de kanaalbreedte schaalbaar is. Voor WiMAX (IEEE802.16e) gelden volgens de standaard kanaalbreedtes tussen 1,25 en 20 MHz en

¹⁰ Multiple Input Multiple Output (MIMO) is een techniek waarbij door het gebruik van meerdere antennes en zend/ontvang-modules een significante verbetering in de signaaloverdracht gerealiseerd kan worden. Het effect van het toepassen van MIMO technologie kan zijn het realiseren van een hogere spectrum efficiëntie en daarmee radioverbindingen met hogere datasnelheden of robuustere verbindingen in het bijzonder in stedelijke omgevingen waarbij optimaal gebruik wordt gemaakt van de reflecties van radiosignalen tegen gebouwen. Beam forming is een technologie waarbij een basisstation wordt uitgerust met meerdere antennes waarmee het antennepatroon dynamisch wordt aangepast zodat er een gerichte bundeling ontstaat richting één of meerdere actieve gebruikersterminals. Zo wordt het vermogen gericht naar de gebruikers uitgestraald en worden ook de signalen uit de richting van de terminals sterker ontvangen dan signalen uit andere richtingen. Met beam forming wordt het beschikbare vermogen effectiever uitgezonden en worden de interferentieniveaus verlaagd.

CDMA2000 Rev. B ondersteunt kanaalbreedte van veelvouden van 1,25 MHz. Bij de uitgifte van frequenties in de 2500 – 2690 MHz band dient rekening gehouden te worden met de kanaalbreedtes van de systemen.

Om technologieneutraliteit te bewerkstelligen zou een frequentie-indeling zo vormgegeven dienen te worden dat de diversiteit aan kanaalbreedtes hierbinnen past. Voorwaarde hierbij is wel dat onderlinge interferentie tussen systemen tot een acceptabel niveau beperkt dient te worden (hier zal later in dit rapport nader op ingegaan worden). Het vastleggen van een kanaalraster past binnen de harmonisatie van spectrum en is van nut voor de standaardisatie van radiocommunicatiesystemen, maar zou niet moeten leiden tot onnodige beperking of uitsluiting van bepaalde technologieën. De frequentie-indeling zou de flexibiliteit moeten bieden in de kanaalbreedtes die kunnen worden toegepast.

Het strikt hanteren van bijvoorbeeld 5 MHz kanalen past niet binnen het streven naar technologieneutraliteit. Om ook andere technologieën ruimte te geven zouden ook andere kanaalbreedtes (smaller of breder dan 5 MHz) toegepast moeten kunnen worden. Er zou bij de frequentie-uitgifte in de 2,6 GHz band uitgegaan kunnen worden van een verdeling in blokken van 5 MHz waarvan operators er één of meerdere kunnen verwerven. Binnen zo een blok zou een operator dan een onderverdeling in meerdere smallere kanalen kunnen maken (bijvoorbeeld $3 \times 1,25$ MHz) indien de technologie waarop hij zijn netwerk en diensten aanbod wil baseren daar aanleiding toe geeft. Ook de optie tot het bundelen van meerdere 5 MHz blokken, zodat het toepassen van bredere kanalen (bijvoorbeeld van 10 of 20 MHz) mogelijk is, zou vanuit een technologieneutrale aanpak geboden dienen te worden.

Verschillende technologieën zijn gericht op dynamische toewijzing van de beschikbare transmissiecapaciteit aan gebruikers. Grotere kanaalbreedtes hebben hierbij het voordeel dat hoge piek datatransmissiesnelheden kunnen worden geboden aan individuele gebruikers. Dit kan een belangrijke differentiërende factor zijn bij het leveren van mobiele breedbanddiensten.

De vergunningvoorwaarden zouden echter zo vorm gegeven dienen te worden dat de maximale interferentie naar aangrenzende frequentieblokken eenduidig wordt vastgelegd, zodat de interferentie die wordt veroorzaakt op systemen in een aangrenzend frequentieblok niet afhangt van de technologiekeuze. Op dit aspect zal nader worden ingegaan in paragraaf 3.6.

Uit het technologieoverzicht van *Tabel 3.1* is te zien dat er systemen met een kanaalbreedte van 20 MHz momenteel beschikbaar of in ontwikkeling zijn. Het gaat hierbij niet alleen om WiFi (IEEE802.11 familie) en WiMAX (IEEE802.16e) systemen; ook in UMTS LTE zijn kanaalbreedtes van 20 MHz voorzien. Het toepassen van systemen met 20 MHz brede kanalen is een optie waar rekening mee gehouden moet worden voor de 2,6 GHz band.

Uit het technologieoverzicht van *Tabel 3.1* blijkt dat CDMA2000 gebaseerd is op een kanaalbreedte van 1,25 MHz. Ook WiMAX IEEE802.16e biedt een optie voor 1,25 MHz brede kanalen. Het is dus in principe mogelijk om met 1,25 MHz aan spectrum in het geval van CDMA2000 en WiMAX een systeem voor mobiele communicatie operationeel te stellen en diensten aan te bieden. Hoewel op basis van een enkel 1,25 MHz kanaal diensten kunnen worden aangeboden, zal in dit geval al snel tegen beperkingen worden aangelopen bij de uitrol van een gebiedsbedekkend netwerk of het

realiseren van voldoende capaciteit voor het ondersteunen van grotere aantallen gebruikers. In de volgende paragraaf zal hierop nader worden ingegaan.

3.2.3 *Benodigde frequentieruimte in netwerken*

Voor de uitrol van een netwerk zal een operator doorgaans behoefte hebben aan meer dan één kanaal. Het aantal benodigde kanalen is onder meer afhankelijk van de gekozen technologie en frequentiehergebruik, de transmissiecapaciteit die nodig is voor het ondersteunen van de diensten en de topologie die aan het netwerk ten grondslag ligt. Deze aspecten zullen kort worden toegelicht.

- ***Frequentie hergebruik (re-use)***

Voor op CDMA gebaseerde netwerken geldt een frequency re-use factor van 1, wat betekent dat in iedere cel dezelfde frequentie kan worden toegepast waardoor in principe slechts 1 kanaal nodig is. Hoewel op OFDM gebaseerde systemen in het algemeen ook met frequency re-use factor van 1 kunnen werken, is een duidelijke performanceverbetering mogelijk met een hogere frequency re-use. Voor Mobile WiMAX en UMTS LTE is daarom een frequency re-use factor van 3 voorzien. Dit betekent dat drie kanalen nodig zijn voor een gebiedsbedekkende uitrol van een netwerk.

Voor een gebiedsbedekkend WiFi netwerk met een goede performance zijn ook meerdere kanalen gewenst. Ook hier kan een minimum van 3 kanalen worden aangenomen. Dit zou betekenen dat er een op WiFi gebaseerd netwerk minimaal $3 \times 20\text{MHz} = 60\text{MHz}$ aan frequentieruimte nodig zou zijn. Voor de WiFi technologie zoals die momenteel in de 2,4 GHz band bestaat, geldt een beperkte hoeveelheid beschikbaar spectrum ter grootte van 3 (niet overlappende) kanalen waarbinnen transmissie plaatsvindt op basis van het principe van 'best-effort'. WiFi is ontwikkeld om ook te kunnen werken met gedeeltelijke overlappende kanalen. Hiermee wordt het spectrumbeslag verminderd, wat echter ten koste gaat van de nog haalbare signaalstoor-verhouding en daarmee leidt tot een reductie van de transmissiecapaciteit die maximaal kan worden gerealiseerd.

- ***Capaciteit***

Ook de capaciteit, die is gerelateerd aan het aantal gebruikers dat gelijktijdig bediend kan worden met een bepaalde dienst (en daarmee eisen oplevert voor de datatransmissiesnelheden die het netwerk dient te ondersteunen), is voor een operator bepalend voor de behoefte aan spectrum. Een directe relatie tussen bandbreedte en capaciteit is slechts in beperkte mate zinvol omdat er veel manieren bestaan om met een gegeven bandbreedte de capaciteit te verhogen. De belangrijkste manier is het netwerk te verdichten, dus het aantal opstelpunten per eenheid oppervlakte te vergroten. Ergens zal echter een limiet bereikt worden wegens praktische redenen, met name omdat het aantal plaatsen waar antennes opgesteld kunnen worden beperkt is (vanwege praktische realiseerbaarheid, maatschappelijke terughoudendheid en kostenaspecten). Voor bestaande systemen zoals UMTS en CDMA2000 is een totale bandbreedte van 10 MHz per opstelpunt in een druk gebied als een minimum te beschouwen om in voldoende mate in staat te zijn de gewenste dienstverlening te kunnen realiseren en er voor de introductie van nieuwe innovatieve diensten meer spectrum nodig zal zijn [12]. Verdere technologische ontwikkelingen richten zich op nog breedbandigere mobiele communicatiediensten.

- ***Netwerk topologie***

Netwerken kunnen op verschillende manieren uitgebouwd worden. In het algemeen worden cellen gekarakteriseerd aan de hand van bereik:

- Macrocellen – Door een hoge mast of een installatie op het dak van een gebouw kan een relatief groot gebied bedekt worden (in landelijke omgeving is een celstraal van meerdere kilometers mogelijk, in een dicht stedelijke gebied is die vaak minder dan een kilometer).
- Microcellen – Door een antenne op de huismuur of een lage mast wordt slechts de onmiddellijke omgeving bediend (celstraal in stedelijke omgeving in de grootteorde van 100 m).
- Picocellen – Antenne en apparatuur zijn vaak geïntegreerd in één kast en een laag transmissievermogen wordt gebruikt. Slechts een zeer beperkt gebied wordt bedekt, bijvoorbeeld een conferentiecentrum, een vertrekhal op een vliegveld of enkele kantoorruimtes.

Macrocellen zijn gericht op het realiseren van een goede dekking binnen een gebied of door heel het land, terwijl micro- en picocellen bedoeld zijn om op plaatsen waar veel vraag is naar communicatiediensten voldoende capaciteit te realiseren.

Een commerciële operator heeft flexibiliteit nodig in de manier waarop het netwerk wordt uitgebouwd om zo dynamisch en kostenefficiënt mogelijk te kunnen voorzien in de dienstverlening aan gebruikers. Gebruikelijk is eerst macrocellen te bouwen om voor dekking te zorgen. Bij behoefte aan meer capaciteit kunnen extra kanalen in de macrocellen gebruikt worden, of kunnen micro- en picocellen ingezet worden. Voor het realiseren van de kleinere cellen is het zinvol of zelfs noodzakelijk andere frequentiekanalen in te zetten dan de kanalen die in gebruik zijn voor de macrocellen. Op plaatsen waar een zeer hoge capaciteitsbehoefte bestaat, zullen zelfs in de kleinere cellen meerder kanalen nodig zijn. Al met al zal er, ook wanneer een technologie in principe een frequency re-use factor van 1 ondersteunt, voor de uitrol van een netwerk behoefte zijn aan meerdere kanalen. Als uitgangspunt in de verdere analyse mag een minimale behoefte van 3 kanalen worden aangenomen, voor regionaal of landelijk dekkende netwerken.

3.2.4 *Ontwikkeling naar breedbandigere mobiele communicatiediensten*

De frequentieblokken die zijn uitgegeven aan de *huidige* UMTS licentiehouders (in de 2 GHz band UMTS core band), bestaande uit 10 of 15 MHz gepaard spectrum en 5 MHz ongepaarde spectrum, bieden de mobiele operator voor de meeste gevallen voldoende mogelijkheden bij de uitrol van het netwerk. Met twee kanalen kunnen macro- en microcellen gerealiseerd worden en met een derde band kan daar waar nodig extra capaciteit toegevoegd worden. Ook voor de toekomstige systemen, die gericht zijn op het leveren van nog breedbandigere mobiele diensten, zal een zelfde flexibiliteit wenselijk zijn. Te verwachten valt dat operators minimaal twee maar eerder drie of meer kanalen zullen willen verwerven. De kanaalbreedte van de systemen die zullen worden toegepast, bepaalt daarbij de totale bandbreedte in MHz. Het is aan te raden de frequentie-uitgifte zo in te richten dat operators in staat zijn voldoende frequentieruimte te verwerven.

Door gebruik te maken van een technologie met variabele bandbreedte kan een operator extra flexibiliteit in zijn netwerk bereiken. In één omgeving kan de volle bandbreedte in één type cellen ingezet worden terwijl in een andere omgeving de beschikbare bandbreedte tussen bijvoorbeeld macro- en microcellen opgedeeld worden.

Een uitgangspunt voor de uitgifte van het frequentiespectrum in de 2,6 GHz band zou kunnen zijn het bieden van mogelijkheden van innovatieve breedbandige mobiele communicatiediensten. Hiermee zou er een duidelijke differentiatie zijn ten opzichte van de bestaande 3G-netwerken. Om met WiMAX en UMTS LTE hogere capaciteit en

bitsnelheden te bieden dan met UMTS mogelijk zijn, zal uitgegaan moeten worden van kanaalbreedtes van tenminste 10 MHz.

Er is een duidelijke tendens dat, voor het bieden van hogere datatransmissiesnelheden (tot piek snelheden van 100 Mbit/s) aan mobiele gebruikers, systemen worden ontwikkeld met steeds grotere kanaalbreedtes. De verwachtingen van het UMTS-Forum op dit punt [13], gebaseerd op onderzoek van Analysys, zijn weergegeven in *Tabel 3.2*. Hierbij zijn de plannen voor systemen met 20 MHz brede kanalen al zeer concreet in de vorm van UMTS LTE waarvan standaardisatie plaatsvindt binnen 3GPP. Ook binnen het WiMAX IEEE082.16e standaardisatie wordt een 20 MHz variant ontwikkeld. Nog bredere kanalen worden vanaf 2015 voorzien.

Tabel 3.2 Verwachte ontwikkeling in kanaalbreedtes van systemen voor breedbandige mobiele communicatie [13].

Tijdschaal (jaartallen)	2010	2012	2015	2020
Kanaalbreedte (MHz)	2x10	2x20	2x30	2x40

Om volledig gebruik te maken van de breedbandigheid die WiMAX en UMTS LTE gaan bieden, zou rekening gehouden moeten worden met 20 MHz brede kanalen.

De 20 MHz brede kanalen kunnen door een operator worden ingezet om een grote transmissiecapaciteit te realiseren op plaatsen waar dit gewenst is. Dit zal in het algemeen gebeuren in de vorm van micro- of picocellen.

De behoefte aan frequentieruimte met de inzet van bredere kanalen kan per operator verschillen, afhankelijk van de huidige situatie en plannen voor de toekomst. Een operator die momenteel beschikt over een UMTS-netwerk zal een frequentieblok ter grootte van 20 MHz in de 2,6 GHz band in kunnen zetten voor een UMTS LTE aanvulling op het bestaande netwerk. Hiermee kan plaatselijk extra capaciteit gerealiseerd worden in de vorm van micro- of picocellen. Een nieuwe operator (zonder netwerkinfrastructuur) zou voor het aanbieden van breedbandige mobiele diensten kunnen kiezen voor een scenario gebaseerd op een systeem met 10 MHz brede kanalen voor het realiseren van een netwerk voor breedbandige mobiele diensten. Uitgaande van een frequentie re-use factor van 3 zijn er 3 kanalen nodig en daarmee 30 MHz aan spectrum.

Voor WiFi systemen dient uitgegaan te worden van kanaalbreedtes van 20 MHz en een re-use factor van ten minste 3. Hiermee zou, uitgaande van TDD, een spectrumbehoefte van tenminste 60 MHz ontstaan.

3.2.5 *Subconclusie frequentiebehoefte*

De feitelijke frequentiebehoefte van een operator hangt in grote mate af van zijn business case, voorgenomen dienstenaanbod, technologiekeuze, netwerk roll-out plan. Operators zijn zelf het best in staat te bepalen hoeveel spectrum zijn nodig hebben om invulling te geven aan hun plannen. De frequentieverdeling zou hierop kunnen worden afgestemd. Een mogelijkheid hiervoor zou zijn een verdeling in frequentieblokken ter grootte van 5 MHz. Iedere operator zou in de gelegenheid moeten worden gesteld één of meerdere 5 MHz blokken te verwerven, al naar gelang zijn specifieke frequentiebehoefte. Vanuit oogpunt van concurrentie kan een maximum worden gesteld

aan het spectrum dat een operator bij de verdeling van het spectrum in de 2,6 GHz band mag verwerven. Om voldoende ruimte te bieden voor het realiseren van innovatieve breedbandige mobiele diensten zou de hoeveelheid spectrum die een operator maximaal mag verwerven te veel te beperken. Gezien de radiokarakteristieken van de verschillende systemen en de mogelijke roll-out scenario's en te bieden dienstverlening lijken frequentiebehoeften van 30 MHz à 40 MHz realistisch. Eventueel in te stellen beperkingen in te verwerven hoeveelheid spectrum zouden in lijn moeten zijn met deze te verwachten spectrumbehoeften. Om technologieneutraliteit te bewerkstelligen is het van belang vrijheid te bieden in de kanaalbreedte die binnen het frequentieblok kan worden ingezet. Het inzetten van systemen met kanaalbreedtes smaller of breder dan 5 MHz zou kunnen worden toegestaan. De onderlinge interferentie tussen de systemen van verschillende operators verdient hierbij nadere aandacht. Dit onderwerp komt later in deze rapportage nader aan de orde.

3.3 Criteria voor een technologieneutrale en flexibele frequentieverdeling

Om zo veel mogelijk tegemoet te komen aan de beleidsdoelstellingen van technologieneutrale en flexibele toewijzing van spectrum, zou een frequentieverdeling dienen te voldoen aan de volgende criteria:

- Flexibiliteit in kanaalbreedtes die kunnen worden toegepast;
- Voorzien in ruimte voor op FDD gebaseerde systemen met duplex afstand van 120 MHz;
- Voorzien in ruimte voor op TDD gebaseerde systemen;
- Flexibiliteit in de verdeling van het beschikbare spectrum tussen FDD en TDD.

Op basis van het technologieoverzicht (*Tabel 3.1*) dient in ieder geval rekening gehouden te worden met systemen waarvan de kanaalbreedtes uiteenlopen van 1,25 MHz tot 20 MHz. Voor een technologieneutrale uitgifte van de in de 2,6 GHz beschikbare frequentieruimte zou het mogelijk moeten zijn systemen met al deze verschillende kanaalbreedtes in de praktijk in te zetten.

In de volgende paragraaf zal voor het huidige, in ECC Decision(05)05 [2] voorgestelde, kanaalplan worden nagegaan in hoeverre dit voldoet aan het streven naar technologieneutraliteit en flexibiliteit. In dit kader zal ook worden aangegeven wat redenen zijn om af te wijken van de door de ECC vastgestelde frequentie-indeling en te kiezen voor een alternatieve frequentie-indeling.

3.4 Beschouwing huidige ECC Decision(05)05 kanaalplan

3.4.1 Algemene toelichting van het kanaalplan volgens ECC Decision(05)05

In maart 2005 is er door Electronic Communications Committee (ECC) van de CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) een Decision gepubliceerd met betrekking tot de bestemming van de band 2500 – 2690 MHz. Deze ECC Decision(05)05 **Error! Reference source not found.** komt voort uit mandaten die door de Europese Commissie (EC) aan CEPT zijn gegeven. Deze Decision gaat, conform het mandaat van de EC uit van: *geharmoniseerd en efficiënt gebruik van de band 2500 – 2690 MHz voor IMT-2000/UMTS systemen*. In de ECC Decision wordt aangegeven dat tevens rekening is gehouden met aspecten als:

- Verwachte ontwikkelingen in de technologie die in 2008 commercieel beschikbaar zullen zijn (zoals variabele duplex afstanden of andere factoren die flexibiliteit in de kanaalindeling mogelijk maken);
- Technologieneutraliteit;
- Efficiënt en geharmoniseerd gebruik van het spectrum.

De ECC Decision geeft 2 alternatieven voor de frequentie-indeling in de band 2500 – 2690 MHz. Deze zijn weergegeven in *Figuur 3.1*. Bij beide alternatieven zijn er twee frequentieblokken van ieder 70 MHz toegewezen voor FDD. De duplexafstand tussen het up-link en down-link blok bedraagt 120 MHz. Er wordt voor deze delen van de band uitgegaan van het uitgeven van gepaarde blokken ter grootte van 5 MHz, waarbij de up-link (UL) in het spectrum tussen 2500 en 2570 MHz ligt en het bijbehorende de down-link (DL) blok 120 MHz hoger in frequentie in het deel tussen 2620 en 2690 MHz.

In de ECC Decision zijn twee alternatieven aangegeven voor dit middendeel van de band, te weten (zie ook *Figuur 3.1*):

- alternatief 1: toewijzing voor TDD gebaseerde systemen;
- alternatief 2: toewijzing voor FDD down-link, waarbij de FDD up-link buiten de band 2500 – 2690 MHz valt.

Volgens de Decision kan op nationale basis besloten worden over de bestemming van het tussen liggende deel van het spectrum, tussen 2570 en 2620 MHz. Ook wordt gesteld dat eventuele benodigde guard bands binnen deze band van 2570 tot 2620 MHz zouden moeten liggen.

ALTERNATIVE 1: IMT-2000/UMTS CHANNELLING ARRANGEMENTS BLOCKS IN THE BAND 2500 – 2690 MHz

2500 MHz	2505 MHz	2510 MHz	2515 MHz	2520 MHz	2525 MHz	2530 MHz	2535 MHz	2540 MHz	2545 MHz	2550 MHz	2555 MHz	2560 MHz	2565 MHz	2570 MHz	2575 MHz	2580 MHz	2585 MHz	2590 MHz	2595 MHz	2600 MHz	2605 MHz	2610 MHz	2615 MHz	2620 MHz	2625 MHz	2630 MHz	2635 MHz	2640 MHz	2645 MHz	2650 MHz	2655 MHz	2660 MHz	2665 MHz	2670 MHz	2675 MHz	2680 MHz	2685 MHz	2690 MHz
UL 01	UL 02	UL 03	UL 04	UL 05	UL 06	UL 07	UL 08	UL 09	UL 10	UL 11	UL 12	UL 13	UL 14	TDD*										DL 01	DL 02	DL 03	DL 04	DL 05	DL 06	DL 07	DL 08	DL 09	DL 10	DL 11	DL 12	DL 13	DL 14	
FDD Uplink Blocks														FDD Downlink Blocks																								

*Any guard bands required to ensure adjacent band compatibility at 2570 MHz and 2620 MHz boundaries will be decided on a national basis and taken within the band 2570 – 2620 MHz.

ALTERNATIVE 2: IMT-2000/UMTS CHANNELLING ARRANGEMENTS BLOCKS IN THE BAND 2500 – 2690 MHz

2500 MHz	2505 MHz	2510 MHz	2515 MHz	2520 MHz	2525 MHz	2530 MHz	2535 MHz	2540 MHz	2545 MHz	2550 MHz	2555 MHz	2560 MHz	2565 MHz	2570 MHz	2575 MHz	2580 MHz	2585 MHz	2590 MHz	2595 MHz	2600 MHz	2605 MHz	2610 MHz	2615 MHz	2620 MHz	2625 MHz	2630 MHz	2635 MHz	2640 MHz	2645 MHz	2650 MHz	2655 MHz	2660 MHz	2665 MHz	2670 MHz	2675 MHz	2680 MHz	2685 MHz	2690 MHz
UL 01	UL 02	UL 03	UL 04	UL 05	UL 06	UL 07	UL 08	UL 09	UL 10	UL 11	UL 12	UL 13	UL 14	FDD Downlink (External)*										DL 01	DL 02	DL 03	DL 04	DL 05	DL 06	DL 07	DL 08	DL 09	DL 10	DL 11	DL 12	DL 13	DL 14	
FDD Uplink Blocks														FDD Downlink Blocks																								

*Any guard bands required to ensure adjacent band compatibility at 2570 MHz and 2620 MHz boundaries will be decided on a national basis and taken within the band 2570 – 2620 MHz.

Figuur 3.1 – Twee alternatieven voor de frequentie-indeling in de 2500 – 2690 MHz band zoals vastgelegd in de ECC Decision(05)05

Analyse

De bovenstaande frequentie-indeling is volledig gericht op IMT-2000/UMTS-systemen en geeft ruimte voor de verdere ontwikkeling van deze technologie in de FDD- en TDD- varianten. Hoewel er binnen de aangegeven frequentie-indeling ook alternatieve

technologieën zouden passen, wordt in de Decision enkel gesproken over de bestemming voor IMT-2000/UMTS-systemen.

In verschillende landen en fora is de discussie actueel of de ECC Decision tegemoet komt aan het beleid om frequentieruimte zo veel mogelijk technologie- en dienstenneutraal uit te geven. De frequentieverdeling uit de ECC Decision wordt, met name door (markt)partijen buiten de IMT-2000/UMTS gemeenschap als te rigide beschouwd en zou onvoldoende ruimte geven voor de toepassing van alternatieve technologieën.

Om invulling te geven aan de beleidsdoelstelling van technologieneutrale frequentie-uitgifte dient in ieder geval afgezien te worden van de strikte bestemming van het betreffende spectrum voor IMT-2000/UMTS-systemen. In tegenstelling tot de specifieke technologie waar in de ECC Decision vanuit gegaan wordt, zou er een gelijke basis gecreëerd moeten worden voor het toepassen van andere technologieën voor breedbandige mobiele diensten.

3.4.2 ECC Decision(05)05 de twee alternatieve frequentie-indelingen

Als we kijken naar de frequentieverdeling zoals die in de ECC Decision(05)05 is vastgelegd, waarbij de toepassing van IMT-2000/UMTS niet strikt als voorwaarde wordt gesteld, kan worden nagegaan in hoeverre deze frequentieverdeling technologieneutraliteit biedt en waar er beperkingen bestaan. We beschouwen eerst alternatief 2 en daarna alternatief 1.

Alternatief 2: Middendeel als extern FDD-blok

Bij Alternatief 2 (*Figuur 3.1*), is het middelste deel van 2570 - 2620 MHz als externe FDD down-link wordt gereserveerd. Hiermee is het volledige spectrum van 2500 tot 2690 MHz toegewezen aan op FDD gebaseerde systemen en is er in deze band geen ruimte toegewezen voor de inzet van op TDD gebaseerde systemen.

Als het banddeel van 2010 – 2019,7 MHz, dat gelijktijdig met de frequentieruimte in de 2,6 GHz zal worden uitgegeven, wordt bestemd voor TDD-systemen biedt dit deel van het spectrum nog wel mogelijkheden.

Analyse Alternatief 2

Wanneer de volledige band 2500 tot 2690 MHz wordt bestemd voor FDD, leidt tot een bevoordeling van systemen gebaseerd op deze technologie en er is hierbij geen sprake van technologieneutraliteit. Gezien de duidelijke indicaties die er vanuit de markt bestaan voor de toepassing van op TDD gebaseerde systemen, lijkt het dan ook geen optie om uit te gaan van deze frequentieverdeling.

Alternatief 1: Middendeel voor TDD

In de frequentie-indeling volgens Alternatief 1, zoals in ECC Decision(05)05 is vastgesteld (*Figuur 3.1*), is het middendeel bestemd voor op TDD gebaseerde systemen. Hiermee biedt dit alternatief ruimte voor:

- FDD, twee gepaarde stukken spectrum totaal 2×70 MHz
 - 2500 – 2570 MHz voor FDD up-link
 - 2620 – 2690 MHz voor FDD down-link
- TDD, een stuk ongepaard spectrum totaal 50 MHz
 - 2570 – 2620 MHz.

Deze grenzen van het spectrum dat is bestemd voor FDD en TDD liggen volgens de ECC Decision vast, waarmee ook de onderlinge verdeling van spectrum tussen beide duplex-technieken is vastgesteld.

Analyse Alternatief 1

De frequentie-indeling volgens Alternatief 1 van de ECC Decision komt in zoverre tegemoet aan het uitgangspunt van technologieneutraal dat er ruimte bestaat voor het toepassen van zowel op FDD als op TDD gebaseerde systemen. In de verdeling is er echter meer ruimte toegewezen aan FDD technologieën (FDD beschikt over 2 x 70 MHz terwijl slechts 50 MHz voor TDD beschikbaar is). In feite is het beschikbare deel voor TDD nog kleiner, omdat in de ECC Decision wordt gesteld dat eventueel benodigde guard bands ter beperking van interferentie tussen verschillende systemen ondergebracht zouden moeten worden in het spectrum dat is bestemd voor TDD.

Hoewel er bij deze frequentieverdeling ruimte is voor zowel FDD als TDD gebaseerde systemen, is er een duidelijke onbalans tussen de ruimte die is toegewezen aan beide typen systemen. Het is echter niet bij voorbaat duidelijk hoe groot de vraag uit de markt zal zijn naar respectievelijk FDD- en TDD-spectrum.

Hoewel deze voorgestelde frequentieverdeling technologieneutraliteit biedt in de zin dat er ruimte is voor zowel FDD als TDD gebaseerde systemen, is er geen flexibiliteit om de verhouding in spectrum toewijzing naar behoefte aan te passen. Er is aanzienlijk meer ruimte voor het toepassen van op FDD gebaseerde systemen, waardoor er in feite geen sprake is van een volledig technologieonafhankelijke frequentieverdeling.

Voordelen van het hanteren van de ECC frequentie-indeling

Zoals eerder in dit rapport gesignaleerd, voldoet de in de ECC Decision(05)05 vastgelegde frequentie-indeling voor de 2500 - 2690 MHz band niet aan het uitgangspunt van technologieneutraliteit. Er is binnen verschillende landen en fora discussie ontstaan over het al dan niet overnemen van deze ECC Decision. Een recent voorbeeld hiervan is het Verenigd Koninkrijk, waar een publieke consultatie over dit onderwerp is gehouden. In deze paragraaf zullen argumenten worden besproken voor het al dan niet hanteren van de ECC frequentieverdeling. Hiermee kan een beeld worden verkregen van de voordelen die verbonden zijn aan het overnemen van betreffende frequentieverdeling.

- *Internationale harmonisatie van frequentiebanden*

Het internationaal harmoniseren van frequentiebanden biedt het voordeel dat voor een langere periode de situatie en mogelijkheden van een frequentieband in een groot aantal landen (in het meest gunstige geval wereldwijd) gelijk zijn. Deze zekerheid biedt de industrie de basis en zekerheid voor het ontwikkelen van nieuwe systemen.

Hoewel de in de ECC Decision vastgelegde frequentieverdeling wellicht niet geheel technologieneutraal is, zou het bij internationale implementatie wel een dergelijke solide basis vormen.

Het is te verwachten dat de meeste relevante technologieën in eerste plaats voor gebruik binnen dit door ECC vastgesteld kanaalplan ontwikkeld zullen worden. Dit geldt in het bijzonder voor de ontwikkelingen binnen de familie van IMT-2000 technologieën, die als basis dienden voor de ontwikkeling van het door ECC opgestelde kanaalplan. Ook zijn er voorbeelden fabrikantspecifieke ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld van IPWireless, waarbij systemen worden ontwikkeld die passen binnen het door de ECC opgestelde kanaalplan. Bij WiMAX is te zien dat de TDD-variant zicht richt op het

voor TDD beschikbare spectrum en dat binnen de standaardisatie de ontwikkelingen van een FDD-variant in gang gezet zijn. Op deze manier is lijken de technologische ontwikkelingen van systemen zich aan te passen aan de mogelijkheden en randvoorwaarden die de regelgever stelt.

In het geval harmonisatie van frequentiebanden op een voldoende grote schaal plaatsvindt (waardoor er een markt ontstaat met een voldoende schaalgrootte) en hierdoor zekerheid wordt geboden, zal dit een voldoende basis vormen voor ontwikkelingen van systemen die passen binnen het geboden kader. Hierbij geldt wel dat het binnen de gestelde voorwaarden mogelijk moet zijn om economisch haalbare producten te kunnen ontwikkelen.

- *Technologie standaardisatie*

De standaarden voor systemen voor draadloze communicatie worden veelal ontwikkeld op basis van geharmoniseerde frequentiebanden. Wanneer er nationaal op essentiële punten wordt afgeweken van het internationaal geharmoniseerde kanaalplan kan dit als consequentie hebben dat de toepassing van op de algemene standaard gebaseerde systemen niet mogelijk is. Er moet dan worden afgeweken van de standaard of een nieuwe (alternatieve) standaard worden ontwikkeld. Het is onwaarschijnlijk dat dit soort specifieke ontwikkelingen zullen plaatsvinden indien er voor één of enkele landen aanpassing nodig zijn en hierdoor geen interessante marktgrootte is. Software Defined Radio is nog niet zover doorontwikkeld dat langs die weg de benodigde flexibiliteit kan worden gerealiseerd. Afwijkende oplossingen voor een kleine markt zullen er toe leiden dat de apparaatkosten hoger zullen uitvallen dan wanneer er sprake is van een algemene standaard.

Een voorbeeld van een essentieel punt waarvan afwijkingen grote gevolgen hebben is de duplex afstand. Voor de 2,6 GHz band zijn standaarden beschikbaar voor FDD systemen met een duplex afstand van 120 MHz. Uit kosten oogpunt heeft de industrie zich gericht op een vaste duplex afstand (met name van belang bij de productie van terminals) in plaats van een variabele duplexafstand. Wanneer er op nationaal niveau een frequentieverdeling wordt gehanteerd waarin een afwijkende duplex afstand geldt, heeft dit tot gevolg dat het toepassen van de standaard apparatuur niet mogelijk is.

Het voordeel van geharmoniseerde frequentiebanden in combinatie met technologie standaardisatie is dat er een basis ontstaat voor internationale uitrol van netwerken op basis van dezelfde technologie. Hiermee wordt internationale roaming mogelijk, waarbij een gebruiker met dezelfde terminal op netwerken in verschillende landen gebruik kan maken voor toegang tot de gewenste communicatiediensten.

Technologie in relatie tot de mogelijke keuze voor alternatieve frequentie-indelingen

De technologische ontwikkelingen bieden tegenwoordig steeds meer flexibiliteit. Zo zijn er technologieën voor mobiele communicatie die verschillende kanaalbreedtes ondersteunen. Een voorbeeld hiervan is de IEEE802.16e WiMAX standaard waarin diverse kanaalbreedtes uiteenlopend van 1,25 tot 20 MHz worden ondersteund (zie *Tabel 3.1*). Hiermee wordt in de technologiestandaardisatie geanticipeerd op mogelijke verschillen in beschikbaarheid en randvoorwaarden van het spectrum. Vanuit het perspectief van de technologische ontwikkelingen ligt het dan ook niet voor de hand om in de 2,6 GHz band vast te houden aan enkel 5 MHz brede kanalen, zoals dat in de ECC Decision wordt gesuggereerd. Het bieden van meer flexibiliteit in kanaalbreedtes die kunnen worden toegepast is technisch gezien zinvol en is noodzakelijk om technologieneutraliteit te bieden.

Een andere flexibiliteit die in apparatuur kan worden geboden is de integratie van verschillende transmissietechnologieën in één terminal. Hierdoor kan dezelfde terminal gebruikt worden voor verbindingen met verschillende netwerken gebaseerd op uiteenlopende technologieën. Een voorbeeld waarbij dit momenteel al gebeurt, zijn terminals waarin UMTS en GSM zijn geïntegreerd. Afhankelijk van de beschikbaarheid wordt overgeschakeld tussen de verschillende technologieën. Vergelijkbare scenario's zouden ook voor de 2,6 GHz denkbaar zijn, bijvoorbeeld wanneer WiMAX- en UMTS-transmissie in één terminal worden gecombineerd. Hiermee zou ook internationale roaming worden opgelost, in het geval er verschillen bestaan tussen verschillende landen in de technologieën die worden toegepast in de 2,6 GHz band. Het combineren van meerdere technologieën in een terminal zal altijd leiden tot hogere kosten van de terminal. Ook hier zullen de praktische en economische haalbaarheid de realiteit van deze optie bepalen.

De keuze tussen de in de ECC Decision(05)05 vastgelegde kanaalindeling of een alternatieve frequentie-indeling heeft een nauw verband met de afweging tussen 'harmonisatie' enerzijds en 'flexibilisering' anderzijds. Beide hebben voor- en nadelen, en de discussie is welke van de twee opties het beste zal uitpakken bij de verdeling van frequentiebanden.

3.4.3 *Subconclusie frequentie-indeling volgens ECC Decision(05)05*

De frequentie-indeling zoals die is vastgesteld in ECC Decision(05)05 kan enige mate van frequentieneutraliteit bieden indien:

- wordt afgezien van de voorwaarde dat alleen IMT-2000/UMTS mag worden toegepast;
- ook andere kanaalbreedtes dan 5 MHz worden toegelaten.

Met de strikte verdeling tussen FDD en TDD spectrum is er geen flexibiliteit in de verdeling van spectrum tussen beide typen systemen. Er bestaat een onbalans van de spectrumverdeling: 140 MHz voor FDD en 50 MHz voor FDD. Dit vormt een beperking van de ECC frequentie-indeling die volledige technologieneutraliteit in de weg staat.

Derhalve zullen we hierna ingaan op een alternatieve frequentie-indeling waarmee dit bezwaar kan worden ondervangen.

3.5 **Alternatieve frequentie-indeling**

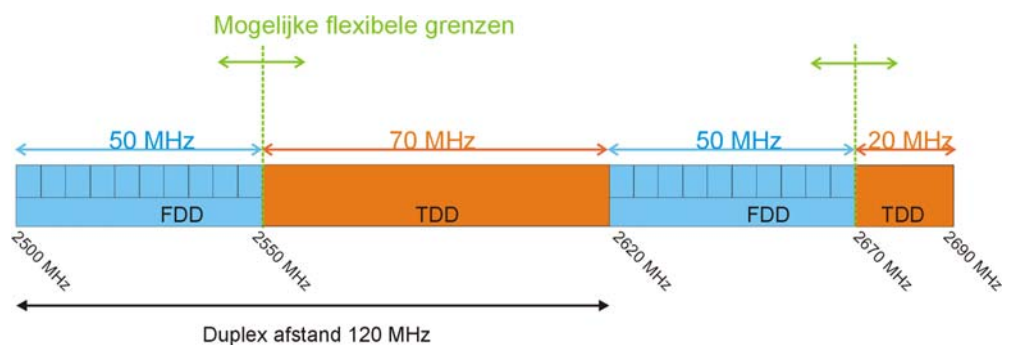
Een belangrijke reden om af te wijken van de frequentieverdeling uit ECC Decision(05)05 zou de onbalans kunnen zijn die bestaat tussen de hoeveelheid spectrum dat voor FDD- en voor TDD-systemen is toegewezen. Omdat niet bij voorbaat duidelijk is hoe groot de vraag uit de markt zal zijn voor FDD- en TDD-spectrum, lijkt het gewenst om af te zien van het vooraf vastleggen een strikte opdeling. Om recht te doen aan het streven naar technologieneutraliteit en de verschillende technologieën gelijke kansen te geven, zou men kunnen streven naar een betere balans tussen FDD- en TDD-spectrum. Idealiter zou de verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum volledig flexibel gemaakt kunnen worden, waarbij de behoefte van uit de markt (operators) kan bepalen hoe groot beide blokken zijn.

3.5.1 Flexibiliteit in de verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum

Om volledig te voorzien in technologieneutraliteit in de 2,6 GHz band kan worden besloten af te wijken van de verdeling tussen spectrum bestemd voor FDD- en TDD-systemen. Er kunnen hierbij verschillende uitgangspunten worden gehanteerd:

- aangepaste grenzen tussen FDD- en TDD-spectrum, zodanig dat de beschikbare frequentieruimte voor beide typen systemen (nagenoeg) gelijk is;
- voorafgaand aan de frequentie-uitgifte (bijvoorbeeld door een consultatie) inzicht krijgen in de door de markt gewenste verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum;
- de verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum flexibel maken door de grenzen flexibel te maken.

De laatste optie komt het meest tegemoet aan de beleidsuitgangspunten van technologieneutraliteit en flexibiliteit en zal in deze paragraaf nader worden toegelicht.



Figuur 3.2: Frequentieverdeling met flexibiliteit in spectrum voor FDD en TDD

Analyse

Wanneer de grenzen tussen FDD en TDD flexibel worden gemaakt, biedt dit de mogelijkheid om de verdeling van de frequentieruimte optimaal af te stemmen op de behoefte van de operators die spectrum willen verwerven voor het uitrollen van een netwerk. De markt zou op deze manier kunnen aangeven hoeveel behoefte er is aan FDD- en TDD-spectrum en daarmee de frequentieverdeling uiteindelijk bepalen. Een voorbeeld ter illustratie van een dergelijke frequentieverdeling is weergegeven in *Figuur 3.2*. Dit betekent dat er in de beide bovengenoemde originele FDD- frequentieblokken nu ruimte voor TDD wordt gecreëerd. Het in stand houden van een duplex afstand van 120 MHz is belangrijk omdat dit een uitgangspunt is bij de ontwikkeling van op FDD gebaseerde systemen zoals UMTS FDD en CDMA2000.

Nadeel van een frequentieverdeling zoals weergegeven in *Figuur 3.2* is dat er een extra overgang is tussen FDD- en TDD-spectrum. Aangezien er in het bijzonder co-existentie issues bestaan tussen FDD- en TDD-systemen die werken in aangrenzende stukken spectrum, zullen er bij deze overgangen maatregelen nodig zijn om de onderlinge interferentie in voldoende mate te beperken. Bij een dergelijke frequentieverdeling zou er bijvoorbeeld dus een extra guard band nodig kunnen zijn, wat nadelig is vanuit het oogpunt van efficiënt gebruik van het spectrum. Meer over co-existentie en guard bands is te vinden in de volgende paragraaf.

Als wordt afgeweken van de spectrumverdeling tussen FDD en TDD, zoals vastgelegd in ECC Decision(05)05, is het noodzakelijk na te gaan of dit consequenties kan hebben voor interferentie op systemen in buurlanden. Wanneer er in België en/of Duitsland wordt besloten de door de ECC opgestelde frequentieverdeling te hanteren zou een afwijkend TDD-deel in Nederland kunnen leiden tot interferentie op de systemen in de

buurlanden. Coördinatie is in dit geval van belang om storingsproblemen in de grensgebieden te voorkomen.

Indien de overheid er voor kiest om deze maximale flexibiliteit en technologie-neutraliteit voor de 2,6 GHz band te bieden, zou de frequentieruimte in blokken worden aangeboden aan de markt. Voor TDD zouden dit 5 MHz brede blokken kunnen zijn en bij FDD 2×5 MHz blokken met een duplex afstand van 120 MHz. Partijen zouden dan, afhankelijk van de specifieke behoefte, in staat moeten worden gesteld om meerdere frequentieblokken te verwerven nodig voor de uitrol van het netwerk. De markt bepaald hierbij dan de balans tussen FDD- en TDD-spectrum. Met het vooraf vastleggen van kavelgroottes die aan de markt worden aangeboden zou een deel van de flexibiliteit en marktwerking worden beperkt. Er kunnen economische of beleidsmatige factoren zijn (bijvoorbeeld het creëren van concurrentie of stimulering van de toegang van nieuwe partijen in de markt voor mobiele communicatiediensten) op basis waarvan kan worden beslist dat het beschikbare spectrum uitgegeven zal worden aan een minimaal aantal partijen (bijvoorbeeld 5 in het geval van de huidige UMTS licenties) of dat er een maximum wordt gesteld aan de hoeveelheid spectrum die door een partij kan worden verworven. Dergelijke beleidsbeslissingen kunnen als randvoorwaarden worden gesteld bij de uiteindelijke frequentie-uitgifte.

3.5.2 De frequentieverdeling voorgesteld door OFCOM in het Verenigd Koninkrijk

De frequentieverdeling zoals die is voorgesteld door OFCOM voor de frequentie-uitgifte in het VK is weergegeven in *Figuur 3.3*. Als uitgangspunt wordt genomen de verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum zoals die ook in ECC Decision(05)05 is vastgelegd. Er wordt aangegeven dat gepaarde kanalen in het FDD-spectrum omgezet kunnen worden in ongepaarde kanalen voor TDD. Dit is van toepassing indien de vraag vanuit operators naar spectrum voor TDD zodanig groot is dat hiertoe aanleiding is, wat wordt afgemeten door middel van de economische waarde die partijen toekennen aan de beide opties. In principe zijn de grenzen tussen FDD en spectrum in het OFCOM voorstel dus variabel net als weergegeven in de voorgaande paragraaf. Er is echter wel een uitgangsverdeling aangenomen tussen FDD en TDD.



Figuur 3.3 – Frequentieverdeling zoals voorgesteld door OFCOM in de UK

Op basis van sharingsanalyses [14] komt OFCOM tot de conclusie dat er een guard band nodig is tussen de TDD-kanalen en de kanalen voor de FDD down-link. Deze guard-band ter grootte van 5 MHz wordt als afdoende beschouwd om de wederzijdse interferentie tussen op FDD en TDD gebaseerde mobiele terminals in voldoende mate te beperken. De sharingsstudies zijn gebaseerd op UMTS FDD en WiMAX beide met 5 MHz brede kanalen. In de coëxistentiestudie die door het onderzoeksbureau Mason in opdracht van OFCOM is uitgevoerd wordt geconcludeerd dat een guard band tussen de TDD kanalen en de voor de FDD up-link bestemde kanalen een guard band niet strikt noodzakelijk is. Mason stelt vast dat door het toepassen van maatregelen in de basisstations (o.a. antenntehnologie en filtering) en coördinatie van de plaatsing van

de antennes kan de onderlinge interferentie significant worden gereduceerd. Ook deze analyse is gebaseerd op de coëxistentie van UMTS FDD en WiMAX.

Analyse

De frequentieverdeling die in het Verenigd Koninkrijk wordt voorgesteld komt in principe overeen met de flexibele FDD/TDD-verdeling zoals die in *Figuur 3.2* in paragraaf 3.5.1. De OFCOM gaat uit van een initiële verdeling in spectrum voor FDD en TDD die overeenkomt met de frequentie-indeling zoals die wordt voorgesteld in Alternatief 1 van de ECC Decision(05)05. OFCOM laat de mogelijkheid open om FDD-kanalen (gepaard spectrum) om te zetten in TDD-kanalen (ongepaard spectrum) indien hier vanuit de markt behoefte aan blijkt te bestaan. Dit betekent dat er flexibiliteit bestaat in de verdeling tussen FDD- en TDD-spectrum.

Verder heeft OFCOM verschillende sharingsstudies laten uitvoeren om de coëxistentie mogelijkheden vast te stellen. Zij komen tot de conclusie dat alleen een guard band nodig is tussen het TDD blok en het FDD up-link spectrum, om storing tussen mobiele terminals, FDD en TDD in voldoende mate te beperken. De sharingstudies waarop OFCOM haar conclusies baseert kunnen voor de Nederlandse situatie als uitgangspunt worden genomen. Toch is het aan te bevelen de coëxistentie-issues zoals die zich kunnen voordoen bij een technologie-neutrale frequentie-uitgifte in de Nederlandse situatie nog in wat meer detail te beschouwen.

3.5.3 Subconclusie alternatieve frequentie-indeling

Het is mogelijk de verdeling tussen spectrum voor FDD- en TDD-systemen flexibel te maken. Dit leidt tot een frequentieverdeling die is weergegeven in *Figuur 3.2*. Op deze manier zou tegemoet kunnen worden gekomen aan de FDD/TDD-verdeling zoals die voorkomt vanuit de markt vraag en wordt een optimale technologie-neutraliteit en flexibiliteit worden bewerkstelligd. In het Verenigd Koninkrijk heeft OFCOM een dergelijke flexibiliteit in de frequentieverdeling voorgesteld, waarbij voor de initiële verhouding tussen FDD- en TDD-spectrum wordt uitgegaan van de in de ECC Decision(05)05 vastgelegde verdeling. Op basis van markt vraag kan er extra ruimte voor TDD spectrum worden gecreëerd ten koste van FDD-spectrum. Het is wel van belang de duplex afstand van 120 MHz te tussen de beide FDD banden te handhaven omdat dit de basis is van verschillende technologische ontwikkelingen, in het bijzonder UMTS FDD en CDMA2000. Coëxistentie-issues en coördinatie met de buurlanden verdienen nadere aandacht.

3.6 Coëxistentie-issues

3.6.1 Coëxistentie met systemen in aangrenzende frequentiebanden

Mobiele satellietcommunicatie

Het spectrum direct onder de 2,6 GHz frequentieband die in dit rapport centraal staat is toegewezen aan mobiele satelliet communicatie. Het gaat om de band 2483,5 tot 2500 MHz waarin de down-link voor de communicatie vanuit satellieten naar mobiele terminals. Toekomstige systemen in de 2,6 GHz band kunnen storing op leveren op de mobiele satellietterminals. Volgens de frequentieverdelingen die eerder zijn besproken zal het onderdeel van de 2,6 GHz band hoogstwaarschijnlijk gebruikt worden als FDD up-link. Dit betekent dat mobiele terminals die gebruik maken van de 2,6 GHz band kunnen storen op mobiele satellietterminals in de band direct onder 2500 MHz. Deze storing kan zich voordoen wanneer beide typen terminals zich op korte afstand van elkaar bevinden. Door het hanteren van een guard band tussen de frequentiebanden voor beide systemen kan de onderlinge interferentie worden beperkt. De noodzaak voor het

hanteren van een guard band zou nader moeten worden onderzocht. De resultaten van het coëxistentieonderzoek dat is uitgevoerd door OFCOM in het VK kan hierbij als goede basis worden genomen.

Astronomie

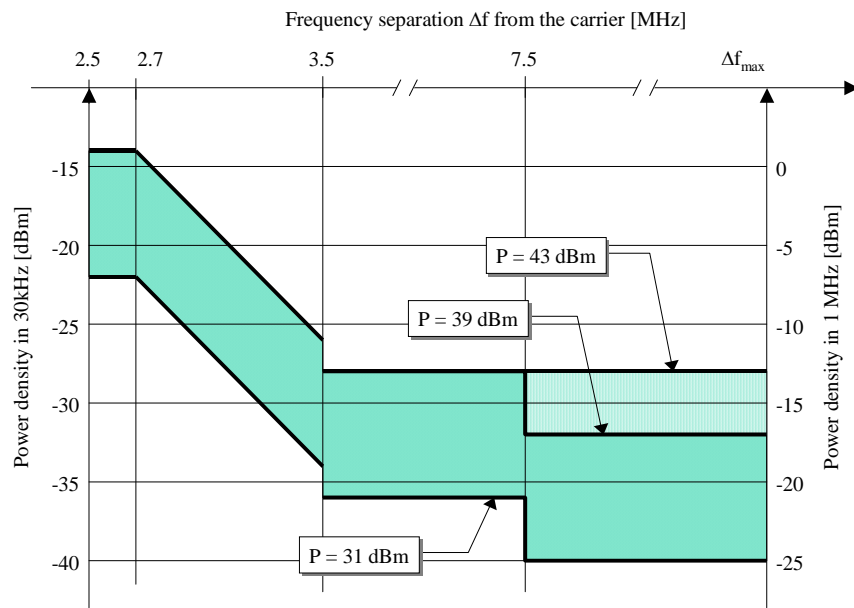
Het banddeel direct boven de 2690 MHz is in gebruik voor astronomie. De bescherming van astronomie is vastgelegd in de ITU Radio Regulations. In Nederland zijn op verschillende plaatsen radioastronomiestations aanwezig (ondermeer in Dwingelo en Westerbork). In een studie van de OFCOM is aandacht besteed aan de coëxistentie tussen toekomstige systemen in de 2,6 GHz band en radioastronomiestations. De uitkomsten van deze analyse geven aan dat er reden is te veronderstellen dat er in Nederland maatregelen nodig zijn om een voldoende bescherming van radioastronomiestations te garanderen. Het is aan te bevelen dit punt nader te onderzoeken.

3.6.2 Coëxistentie tussen verschillende operators in de 2,6 GHz band

Bij de verdeling van de frequentieband zullen frequentieblokken worden uitgegeven aan verschillende operators, die ieder een eigen systeem/technologie keuze maken. Zoals al eerder in deze rapportage werd vermeld kunnen zich als gevolg hiervan diverse scenario's voordoen waarbij interferentie optreedt tussen de systemen van operators met aangrenzende frequentieblokken.

In het bijzonder van belang is de interferentie die kan optreden wanneer in een bepaald gebied operators gebruik maken van aangrenzende frequentieblokken. Deze interferentie ontstaat doordat systemen niet alleen vermogen uitzenden in het eigen kanaal maar ook vermogen lekken naar naastliggende kanalen; de zogenaamde 'Out-of-band emissions' of 'Adjacent Channel Leakage'. Daarnaast zullen systemen, door beperkte selectiviteit van de ingangsfitering, ook vermogen uit naast liggende kanalen ontvangen hetgeen wordt aangeduid met 'selectivity' of 'Adjacent Channel Selectivity'. Beide effecten dragen bij tot het ontstaan van interferentie tussen systemen die gebruikmaken van aangrenzende kanalen in het spectrum.

De out-of-band emission hangt samen met de kanaalbreedte van de apparatuur. Vaak wordt er in de vorm van een spectraal masker een limiet gesteld aan het vermogen dat door een radiosysteem mag worden gelekt naar naastliggende kanalen. Bijvoorbeeld bij WLAN met 20 MHz kanalen loopt de out-of-band emission over een groter frequentiegebied door dan bij UMTS-systemen met een kanaalbreedte van 5 MHz. In Figuur 3.4 is een spectraal masker weergegeven zoals dat volgens de 3GPP standaard TS25.104 geldt voor UMTS-apparatuur. Het masker geeft de minimale eisen weer voor de onderdrukking van het vermogen dat in naast gelegen kanalen wordt uitgezonden. In de figuur staat in de horizontale as de afstand in frequentie ten opzichte van het midden van het kanaal waarin het UMTS-sigitaal wordt uitgezonden. De kanaalbreedte voor UMTS is 5 MHz, zodat een frequentie-afstand van 2,5 MHz precies de rand van het kanaal is. Het stuk van 2,5 tot 7,5 MHz is vormt het direct naastliggende kanaal. Op de verticale as wordt aangegeven wat volgens de standaard de maximale vermogensdichtheid mag zijn op verschillende frequentieafstanden. In de onderstaande figuur is zijn drie curves aangegeven voor het vermogen dat maximaal mag worden gelekt in de naast liggende kanalen, voor 3 verschillende zendvermogens van het UMTS-sigitaal (+31 dBm, +39 dBm en +43 dBm). Spectraal maskers zijn voor de verschillende radiotechnologieën specifiek vastgelegd wat leidt tot een technologieafhankelijke aanpak.



Illustrative diagram of spectrum emission mask

Figuur 3.4: UMTS Spectrum Emission Mask volgens 3GPP standaard TS 25.104

De meest ongunstige coëxistentiesituatie kan optreden bij toepassing van TDD-systemen. In dergelijke gevallen bestaat de mogelijkheid dat basisstations die gebruik maken van aangrenzende frequentieblokken elkaar storen. Dit kan zich voordoen wanneer twee operators beschikken over aangrenzende frequentieblokken waarbij de ene kiest voor FDD en de andere voor TDD-systemen om het netwerk uit te rollen. Hierbij is het mogelijk dat het TDD-basisstation van de ene operator uitzendt (down-link) in een kanaal dat grenst aan het kanaal waarop het basisstation van de andere operator met een FDD-systeem ontvangt (up-link). Als gevolg van adjacent channel interference kan er storing optreden op de verbindingen van het FDD-systeem. Ook kan er interferentie ontstaan tussen mobiele terminals die zich op korte afstand van elkaar bevinden. Dit scenario ontstaat wanneer een mobiele terminal van een TDD-systeem uitzendt in een kanaal dat grenst aan een kanaal waarop een FDD-terminal ontvangt.

Ook omgekeerd kan een basisstation van een FDD-systeem storen op een basisstation van een TDD-systeem of FDD-terminals op TDD-terminals.

Ook bij TDD-systemen onderling kunnen basisstations elkaar storen, indien zij niet gesynchroniseerd zijn. De tijden van up-link en down-link transmissie in een TDD-systeem liggen dan niet gelijk waardoor interferentie tussen basisstations mogelijk is.

Bij FDD-systemen is de up-link en down-link in frequentie gescheiden waardoor deze vorm van interferentie tussen verschillende FDD-systemen niet kan optreden. De interferentie scenario's zijn bij toepassing van uitsluitend op FDD gebaseerde systemen gunstiger, waardoor coëxistentie van systemen van verschillende operators waarbij aangrenzende kanalen worden toegepast in hetzelfde gebied doorgaans zonder verdere maatregelen kan worden gerealiseerd.

Guard bands

Een mogelijkheid om interferentie tussen de basisstations van verschillende operators te beperken is dat de regelgever bij de frequentieuitgifte guard bands hanteert tussen de FDD- en TDD-frequentieblokken die worden toegewezen aan verschillende operators.

De groottes van de guard bands kunnen worden gebaseerd op de standaarden die er voor de verschillende technologieën zijn. In deze standaarden worden echter vaak minimale eisen geformuleerd waaraan de apparatuur dient te voldoen. In dit geval gaat het om ‘transmitter spectral masks’ en ‘receiver selectivity’ normen die in de standaarden worden gegeven. Wanneer het vermogen dat ongewenst in naast gelegen kanalen uitgezonden niet voldoende is onderdrukt om interferentie afdoende te beperken, kan met een guard band extra scheiding in frequentie worden gerealiseerd. Hiermee wordt de interferentie niveau verlaagd en de coëxistentie verbeterd.

Bestaande apparatuur zal in veel gevallen een betere performance hebben dan de minimale specificaties die in de standaarden als norm voorgeschreven worden. De adjacent channel interference kan hierdoor tot enkele tientallen dB's lager liggen dan zou worden verwacht op basis van de standaarden. Wanneer wordt uitgegaan van de specificaties van apparatuur zoals die in de praktijk zal worden toegepast is de coëxistentiesituatie gunstiger en zijn minder grote guard bands noodzakelijk. Met name het toepassen van betere filtering in de basisstations zou de coëxistentiemogelijkheden gunstig kunnen beïnvloeden, aangezien de interferentie problematiek tussen basisstations de grootste impact heeft. Implementatie van verbeterde filterwerking in de basisstations is eerder praktisch en economisch haalbaar dan wanneer betere filters in alle terminals moeten worden opgenomen. Er zouden ten aanzien van de adjacent channel interference dan ook realistische eisen moeten worden gesteld aan de basisstationapparatuur.

Met verdere verbeteringen van de filtering kan de adjacent channel interference worden onderdrukt, waarmee de coëxistentiesituatie gunstiger wordt en de guard bands kleiner kunnen worden of zelfs overbodig worden. Betere filtering (zowel aan zend- als ontvangzijde) stelt hogere eisen aan de apparatuur en zal daarmee waarschijnlijk hogere apparatuurkosten met zich meebrengen. Toch zijn verschillende partijen van mening dat geen spectrum in de vorm van guard bands opgeofferd moet worden alleen om de kosten van apparatuur zo laag mogelijk te houden. Op basis van de huidige stand van de techniek zou nagegaan moeten worden wat realistische uitgangspunten zijn voor de onderdrukking van out-of-band emission en selectiviteit van de ontvangstapparatuur zodat de grootte van de eventueel benodigde guard bands hierop kan worden afgestemd.

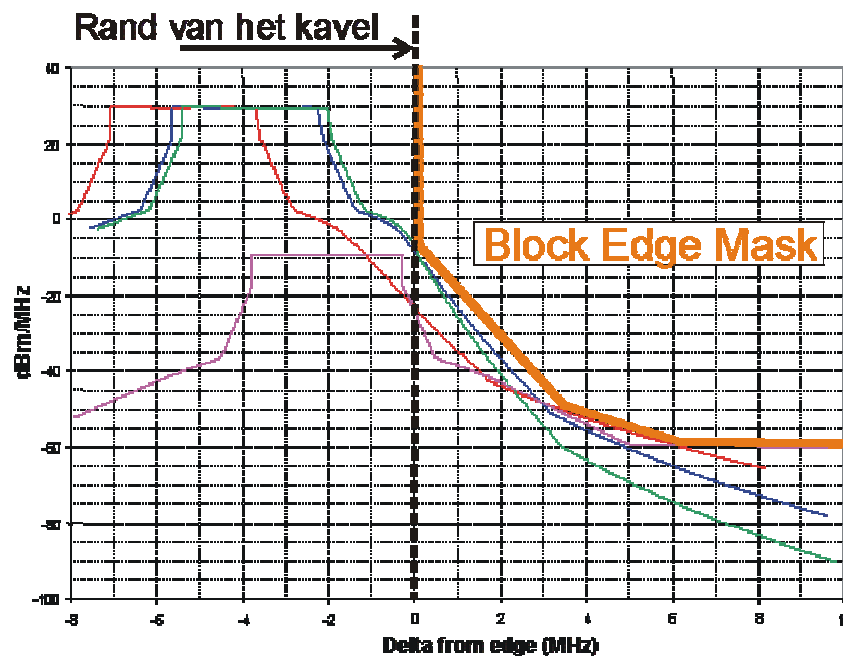
Vanuit oogpunt van spectrumefficiëntie is het streven om de guard bands zo veel mogelijk te beperken, omdat deze leiden tot ongebruikte frequentieruimte. Vanwege technologieneutraliteit is het echter lastig om voorafgaand aan de frequentie-uitgifte de grootte van de benodigde guard bands vast te stellen. Aangezien onbekend is welke systemen naast elkaar in het spectrum zullen functioneren en welke mate van beperking van onderlinge interferentie nodig zal zijn, is het lastig de eventueel benodigde guard bands vooraf vast te stellen. Het uitgaan van de meest ongunstige combinatie is voor het voorkomen van interferentie wellicht een goed uitgangspunt, maar leidt in veel gevallen tot onnodig grote guard bands en daarmee tot inefficiëntie in het spectrum gebruik. Een oplossing kan zijn om de benodigde guard bands vast te stellen op basis van een realistisch scenario, uitgaande van technologieën waarvan het het meest waarschijnlijk is dat ze in de praktijk zullen worden toegepast. Bij afwijkende technologiekeuzes

zullen dan aanvullende condities kunnen worden gesteld om de interferentie naar naastliggende frequentieblokken in dezelfde mate te beperken.

Block edge mask

Een andere en meer technologie-neutrale methode ter beperking van interferentie tussen systemen in aangrenzende frequentiekanalen is het hanteren van een ‘block edge mask’. Hierbij worden er in de licentie voorwaarden gesteld aan het vermogen dat door systemen van een vergunninghouder maximaal mag worden uitgestraald buiten het eigen frequentieblok. Deze voorwaarden worden vastgelegd in de vorm van een spectraal masker dat geldt voor de rand van het frequentieblok, vandaar de naam blok edge mask. De block edge mask is onafhankelijk van de toegepaste technologie en is gebaseerd op een realistisch interferentieniveau dat acceptabel wordt geacht voor systemen in aangrenzende banden en realistische onderdrukking van out-of-band emission.

Het principe van de block edge mask is geïllustreerd in Figuur 3.5. Hierin is de block edge mask weergegeven in de vorm van de oranje lijn. Wat er in de onderstaande figuur wordt getoond, is dat er voor systemen met een betere onderdrukking van de out-of-band emission in frequentie meer ruimte is doordat ook gebruik gemaakt kan worden van frequenties dicht bij de rand van het frequentieblok. Voor systemen met een minder goede onderdrukking (filtering) geldt dat om aan de block edge mask te voldoen een grotere frequentie-afstand tot de rand van het blok houden. Voor systemen met een mindere onderdrukking van de out-of-band emission dient in frequentie een grotere afstand tot de rand van het spectrumblok gehouden te worden. Een andere manier om toch het volledige spectrumblok voor transmissie te benutten is het reduceren van het zendvermogen voor kanalen aan die tegen de rand liggen. Dit is aangegeven met de roze curve in het onderstaande figuur.



Figuur 3.5: Voorbeeld waarbij met het gebruik van RF filtering het frequentieblok beter kan worden gebruikt.

De block edge mask kan gehanteerd worden als technologie-neutrale voorwaarde in de licentie. Systemen met verschillende kanaalbreedtes kunnen worden toegelaten mits de

licentiehouder voldoet aan de gestelde block edge mask. Een operator kan zelf een keuze maken voor de technologie die hij wil toepassen en een afweging maken in de filter performance van de apparatuur. Op deze manier wordt de flexibiliteit en verantwoordelijkheid bij de operator gelegd en wordt voorkomen dat er onnodig spectrum wordt uitgesloten van gebruik vanwege het instellen van guard bands.

Om te bepalen wat een realistische block edge mask is die gesteld kan worden bij de uitgifte van de frequentieruimte in de 2,6 GHz band is het aan te bevelen goed in kaart te brengen hoe de ontwikkelingen in andere landen en de relevante fora (RSC en ITU) op dit gebied zijn. De frequentieverdeling voor de 2,6 GHz band en de voorwaarden die hierbij dienen te worden gesteld is een actueel onderwerp in een aantal andere Europese landen zoals het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Zweden en mogelijk ook andere landen. In de Verenigde Staten is door de FCC (Federal Communications Commission) ook een spectraal masker vast gesteld voor de emissies die een licentiehouder buiten zijn eigen frequentieblok maximaal mag uitstralen. Het zou aan te raden zijn om de gestelde voorwaarden zo veel mogelijk internationaal te harmoniseren, omdat hiermee voor operators die in meerdere landen actief uit kunnen gaan van dezelfde licentievoorwaarden.

3.6.3 *Subconclusie coëxistentie*

Coëxistentie tussen de toekomstige mobiele breedband diensten in de 2,6 GHz band en radiodiensten en toepassingen in de aangrenzende frequentiebanden verdienen nadere aandacht. Het gaat om mobiele satelliet systemen (MSS) onder 2500 MHz en radioastronomie stations (RAS) in het frequentiegebied boven 2690 MHz. De noodzaak van maatregelen ter bescherming van RAS is zeer waarschijnlijk (mogelijk in de vorm van een guard band). De bestaande sharing studies (in het bijzonder van OFCOM) kunnen als uitgangspunt worden genomen om de specifieke Nederlandse situatie met meer detail te beschouwen.

Interferentie tussen systemen van operators die binnen hetzelfde gebied gebruikmaken van aangrenzende frequentiekavels treedt in het bijzonder op daar waar FDD- en TDD-blokken aan elkaar grenzen. Echter ook tussen verschillende TDD-systemen in aangrenzende frequentieblokken kan interferentie optreden. Om de interferentie in voldoende mate te beperken zijn maatregelen noodzakelijk. Operators kunnen maatregelen nemen om de onderlinge (kans op) interferentie tussen basisstations te verminderen, waarbij kan worden gedacht aan het toepassen van betere filters, geavanceerdere antennes en onderlinge coördinatie bij de plaatsing van de antennes. Dit soort maatregelen is niet praktisch toepasbaar om interferentie tussen terminals te verminderen. Er zullen in veel gevallen maatregelen nodig zijn om de onderlinge interferentie zodanig te beperken dat er een goede basis is voor coëxistentie.

Een mogelijkheid tot verbetering van de coëxistentie is het hanteren van guard bands tussen de FDD- en TDD-frequentieblokken. Guard band worden vooraf vastgesteld op basis van scenario's en apparatuur specificaties uit beschikbare technologiestandaarden. Veelal leidt het hanteren van guard bands tot een onnodig groot stuk ongebruikt spectrum tussen de verschillende de frequentieblokken en is daarmee niet spectrumefficiënt.

Het hanteren van een block edge mask waarmee het vermogen dat een operator buiten het eigen kavel mag uitzenden wordt beperkt, is een andere mogelijke maatregel ter beperking van de interferentie. Deze methode is geheel gebaseerd op het beperken van de interferentie in het naastliggende frequentieblok en laadt vrijheid aan de operator om binnen zijn eigen kavel systeemkeuzes te maken (kanaal, filtering, zendvermogen)

zolang maar aan het block edge mask criterium wordt voldaan. De block edge mask biedt meer flexibiliteit en verantwoordelijkheid aan de operator en kan er voor zorgen dat spectrum efficiënter wordt ingezet dan in het geval er guard bands worden gehanteerd. Het is wel noodzakelijk om de block edge masks op een juiste wijze vast te stellen, zodanig dat er voldoende bescherming wordt geboden zonder onnodig beperkend te zijn. Over de block edge mask methode (en toepassing in andere frequentiebanden, zoals de 3,4 GHz band) zijn verschillende publicaties beschikbaar. In internationaal verband is echter nog geen concrete block edge mask aanpak voor de 2,6 GHz band uitgewerkt.

3.7 Conclusies en aanbevelingen van het frequentietechnische onderzoek

Het frequentietechnisch onderzoek had tot doel de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

Voorafgaand aan de marktconsultatie wenst dgET aldus inzicht in de mogelijkheden voor een technologie neutrale uitgifte van frequentieruimte in voornoemde frequentiebanden waarbij de volgende specifieke onderzoeksvragen zijn gesteld:

2. *Wat zijn de belangrijkste verschillen in capaciteit en frequentiegebruik van de diverse systemen voor mobiele communicatie?*
4. *De Electronic Communications Committee (ECC) heeft het besluit genomen voor indeling van de 2,6 GHz band in FDD en TDD:*
 - c. *Wat zijn de beperkingen voor andere systemen dan UMTS als wij deze indeling overnemen?*
 - d. *Wat zijn de gevolgen als wij afwijken van de aanbeveling in relatie tot de buurlanden en het gebruik in de grensgebieden?*
6. *Welke kavelindeling moet gehanteerd worden om de frequentieruimte technologie neutraal uit te geven?*
 - a. *Zijn 5 MHz of 10 MHz kavels een optie?*
 - b. *In hoeverre dient rekening gehouden te worden met een FDD/TDD indeling?*

Het collectief van de volgende bevindingen van het frequentietechnisch onderzoek waarvoor de onderzoeksvragen uitgangspunt zijn geweest vormen de beantwoording op deze vragen:

- Tabel 3.1 geeft voor de geselecteerde technologieën de radiotechnische parameters weer die bepalend zijn voor capaciteit en frequentiegebruik. De werkelijk beschikbare capaciteit in het netwerk en de hiervoor benodigde frequentieruimte is echter van zeer veel factoren en operator-specifieke keuzes afhankelijk.
- Om werkelijk innovatieve breedbandige mobiele diensten te kunnen leveren, en zich te kunnen differentiëren van huidige 3G dienstverlening, dient een operator de mogelijkheid te hebben om voldoende spectrum te verwerven. Als indicatie voor de minimum spectrum behoefte kan hierbij worden uitgegaan van 2×30 MHz voor FDD en 40 tot 60 MHz TDD.
- Vanuit het oogpunt van concurrentie kan er voor worden gekozen een maximum te stellen aan de hoeveelheid spectrum die een operator mag verwerven. Dit eventuele

maximum moet niet te laag gesteld worden om operators in staat te stellen voldoende spectrum te verwerven.

- In de ECC Decision(05)05 zoals die momenteel is vastgesteld, wordt spectrum exclusief toegewezen aan IMT-2000/UMTS systemen. Om technologieneutraliteit mogelijk te maken moet zeker deze voorwaarde komen te vervallen.
- Om technologieneutraliteit te bieden moet er tevens meer flexibiliteit moeten worden toegestaan in kanaalbreedtes die kunnen worden toegepast. Ook systemen met kanaalbreedtes van minder dan 5 MHz (met name 1,25 MHz) en veelvoud van 5 MHz (met name 10 en 20 MHz) zouden ingezet moeten kunnen worden.
- De frequentie-indeling uit de ECC Decision waarbij er zowel ruimte is aangewezen voor FDD- als TDD-systemen biedt een zekere mate van technologie-onafhankelijkheid omdat beide type systemen kunnen worden ingezet. Een beperking is wel dat er een onbalans bestaat tussen FDD-spectrum (140 MHz) en TDD-spectrum (50 MHz).
- Om te komen tot een verdeling die meer recht doet aan technologieneutraliteit, zou kunnen worden besloten af te wijken van de in de ECC Decision vastgelegde frequentie-indeling.
- Er kan worden afgeweken van de strikte opdeling tussen FDD- en TDD-spectrum door de grenzen van beide blokken flexibel te maken. Hierbij dient de duplex-afstand tussen de FDD up-link en down-link van 120 MHz in stand te worden gehouden, omdat dit de basis is voor huidige technologische ontwikkelingen.
- In principe zou de markt de verhouding tussen FDD- en TDD-spectrum kunnen bepalen. Dit vergt mogelijk wel een complexere organisatie van het veilingproces.
- Om interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken in voldoende maten te beperken verdient het hanteren van block-edge masks de voorkeur boven het vooraf vaststellen van guard bands. De block-edge mask is meer onafhankelijk van de toegepaste technologie en betekent meer flexibiliteit en verantwoordelijkheid voor de licentiehouder. Eventueel ongebruikt spectrum (in de vorm van onnodig grote guard bands) kan hiermee worden voorkomen.
- Het volledig uitsluiten van onderlinge interferentie leidt tot inefficiënt gebruik van het spectrum. Het doel is om interferentie in voldoende mate te beperken zodat er in de praktijk een goede basis bestaat voor de uitrol van netwerken. Onderlinge coördinatie tussen operators kan de mogelijkheden voor het gebruik van het spectrum verbeteren. Dit doet recht aan een van de uitgangspunten van het frequentiebeleid om meer verantwoordelijkheden te leggen bij de spectrumgebruikers.
- Wanneer wordt afgeweken van de internationaal geharmoniseerde frequentie-indeling (ECC DEC(05)05 kan als zodanig worden beschouwd) dient nagegaan te worden of coördinatie met de buurlanden noodzakelijk zal zijn.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies met betrekking tot de technologie-inventarisatie

Technologie	Beoordeling in relatie tot 2,6 GHz uitgifte in NL	In selectie
IMT-2000		
UMTS FDD met HSPA	State-of-the-art FDD technologie. Zeer waarschijnlijk straks beschikbaar en kansrijk voor de 2,6 GHz band.	Ja
UMTS TDD	State-of-the-art TDD technologie. Zeer waarschijnlijk straks beschikbaar en kansrijk voor de 2,6 GHz band.	Ja
UMTS LTE	Pas op lange termijn beschikbaar en kansrijk, dus niet direct aan de orde bij de 2,6 GHz uitgifte. Alleen globaal meenemen in het frequentietechnisch onderzoek.	Globaal
TD-SCDMA	Met name van belang voor de Chinese markt. Lijkt niet beschikbaar voor de Europese markt. Derhalve evenmin kansrijk.	Neen
IP Wireless	State-of-the-art proprietary technologie gebaseerd op UMTS TDD. Beschikbaarheid van IP Wireless in Nederland is denkbaar. Kansrijkheid is moeilijk in te schatten. Wordt in frequentietechnisch onderzoek equivalent geacht met UMTS TDD welke is geselecteerd.	Neen
CDMA 2000		
1xEV-DV	Deze variant is gestopt, dus niet beschikbaar en dus evenmin kansrijk.	Neen
1xEV-DO Rev 0	Courante technologie maar in 2007/2008 niet meer state of the art. Redelijke kans op beschikbaarheid, echter geheel niet kansrijk.	Neen
1xEV-DO Rev A	State-of-the-art technologie is aangekondigd. Vrij grote kans op beschikbaarheid van geschikte versie voor Europese (2,6 GHz) markt. Kansrijkheid nog moeilijk te beoordelen.	Ja
1xEV-DO Rev B	Redenering equivalent met die voor Rev A.	Ja
1xEV-DO Rev C	Pas op lange termijn beschikbaar dus niet direct aan de orde bij de 2,6 GHz uitgifte. Kansrijkheid in Europa nog moeilijk in te schatten.	Neen
GSM/EDGE	Zeer waarschijnlijk niet beschikbaar in de 2,6 GHz, dus evenmin kansrijk	Neen

Technologie	Beoordeling in relatie tot 2,6 GHz uitgifte in NL	In selectie
Non IMT-2000		
IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)	State-of-the-art technologie. Volledige beschikbaarheid op afzienbare termijn zeer waarschijnlijk. Tevens kansrijk voor de 2,6 GHz band.	Ja
WiBro	Gericht met name op Koreaanse markt. Vrijwel zeker niet beschikbaar voor Europese markt, dus evenmin kansrijk. Is overigens sterk gerelateerd aan Mobile WiMAX, welke is geselecteerd voor het frequentietechnisch onderzoek.	Neen
Narvini	Proprietary, overeenkomst met WiMAX, welke is geselecteerd. Beschikbaarheid voor de 2,6 GHz band is denkbaar. De kansrijkheid lijkt niet hoog. Dit, en de sterke verwantschap met Mobile WiMAX, heeft geleid tot afwijzing voor het frequentietechnisch onderzoek.	Neen
IEEE 802.20	Beschikbaarheid standaard en daarmee zeker de systemen zeer onzeker geworden. Dus evenmin kansrijk.	Neen
Flash OFDM	Beschikbaarheid voor de 2,6 GHz band is zeker denkbaar. Marktpositie is zeer onduidelijk, zodat kansrijkheid niet hoog lijkt. Dit en het feit dat Flash OFDM zeer flexibel inpasbaar is in het spectrum, hebben geleid tot afwijzing voor het frequentietechnisch onderzoek.	Neen
IEEE 802.11	Sterke positie als low-cost technologie in ongelicenseerde 2,4 GHz band. Beschikbaarheid in 2,6 GHz band is zeker denkbaar met relatief beperkte technische aanpassingen. Tevens ingeschat als kansrijk.	Ja

4.2 Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de voorgenomen frequentie-uitgifte

- Om werkelijk innovatieve breedbandige mobiele diensten te kunnen leveren, en zich te kunnen differentiëren van huidige 3G dienstverlening, dient een operator de mogelijkheid te hebben om voldoende spectrum te verwerven. Als indicatie voor de minimum spectrum behoefte kan hierbij worden uitgegaan van 2×30 MHz voor FDD en 40 tot 60 MHz TDD.
- Vanuit het oogpunt van concurrentie kan er voor worden gekozen een maximum te stellen aan de hoeveelheid spectrum die een operator mag verwerven. Dit eventuele maximum moet niet te laag gesteld worden om operators in staat te stellen voldoende spectrum te verwerven.
- In de ECC Decision(05)05 zoals die momenteel is vastgesteld, wordt spectrum exclusief toegewezen aan IMT-2000/UMTS systemen. Om technologieneutraliteit mogelijk te maken moet zeker deze voorwaarde komen te vervallen.
- Om technologieneutraliteit te bieden zou er tevens meer flexibiliteit moeten worden toegestaan in kanaalbreedtes die kunnen worden toegepast. Ook systemen met kanaalbreedtes van minder dan 5 MHz (met name 1,25 MHz) en veelvoud van 5 MHz (met name 10 en 20 MHz) zouden ingezet moeten kunnen worden.

- De frequentie-indeling uit de ECC Decision waarbij er zowel ruimte is aangewezen voor FDD- als TDD-systemen biedt een zekere mate van technologie-onafhankelijkheid omdat beide type systemen kunnen worden ingezet. Een beperking is wel dat er een onbalans bestaat tussen FDD-spectrum (140 MHz) en TDD-spectrum (50 MHz).
- Om te komen tot een verdeling die meer recht doet aan technologieneutraliteit, zou kunnen worden besloten af te wijken van de in de ECC Decision vastgelegde frequentie-indeling.
- Er kan worden afgeweken van de strikte opdeling tussen FDD- en TDD-spectrum door de grenzen van beide blokken flexibel te maken. Hierbij dient de duplex-afstand tussen de FDD up-link en down-link van 120 MHz in stand te worden gehouden, omdat dit de basis is voor huidige technologische ontwikkelingen.
- In principe zou de markt de verhouding tussen FDD- en TDD-spectrum kunnen bepalen. Dit vergt mogelijk wel een complexere organisatie van het veilingproces.
- Om interferentie tussen aangrenzende frequentieblokken in voldoende maten te beperken verdient het hanteren van block-edge masks de voorkeur boven het vooraf vaststellen van guard bands. De block-edge mask is meer onafhankelijk van de toegepaste technologie en betekent meer flexibiliteit en verantwoordelijkheid voor de licentiehouder. Eventueel ongebruikt spectrum (in de vorm van onnodig grote guard bands) kan hiermee worden voorkomen.
- Het volledig uitsluiten van onderlinge interferentie leidt tot inefficiënt gebruik van het spectrum. Het doel is om interferentie in voldoende mate te beperken zodat er in de praktijk een goede basis bestaat voor de uitrol van netwerken. Onderlinge coördinatie tussen operators kan de mogelijkheden voor het gebruik van het spectrum verbeteren. Dit doet recht aan een van de uitgangspunten van het frequentiebeleid om meer verantwoordelijkheden te leggen bij de spectrumgebruikers.
- Wanneer wordt afgeweken van de internationaal geharmoniseerde frequentie-indeling (ECC DEC(05)05 kan als zodanig worden beschouwd) dient nagegaan te worden of coördinatie met de buurlanden noodzakelijk zal zijn.

Referenties

- [1] Nota Frequentiebeleid
- [2] ECC/DEC/(05)05, *ECC Decision of 18 March 2005 on the harmonized utilization of spectrum for IMT-2000/UMTS systems operating within the band 2500 – 2690 MHz*
- [3] “Convergentie vast-mobiel”, TNO rapport 33812, december 2005
- [4] www.umtstd.org/deployments.html
- [5] www.geekzone.co.nz
- [6] www.gsmworld.com
- [7] www2.sprint.com, news release 8/8/2006
- [8] EE Times, june 2006: IEEE SA SB September 19th 2006
- [9] WiMax Forum, “Mobile WiMax – Part II: A Comparative Analysis”, April 2006-12-05
- [10] F. Wang et. al. “IEEE 802.16e System Performance: Analysis and Simulations”, IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005
- [11] S. Shin et. al. “The Performance Comparison between WiBro and HSDPA”, 2nd International Symposium on Wireless Communications Systems
- [12] UMTS Forum response to the German Federal Network Agency’s, “*Consultation on possible UMTS/IMT-2000 award scenarios*” in regard to the radio frequency band 2500 – 2690 MHz, Februari 2006
- [13] UMTS Forum Report 40, “*Developments of spectrum requirement forecasts for IMT-2000 and systems beyond IMT-2000 (IMT-Advanced)*”, Januari 2006
- [14] Mason Communications Ltd (in opdracht voor Ofcom), *2500 – 2690 MHz, 2010 - 2025 MHz and 2290 – 2302 MHz spectrum awards – engineering study (phase 2)*, November 2006

Overige relevante literatuur:

- [15] WiMax Forum input voor ITU-R Werkgroep 8F (Document 8F/460-E), ‘*Initial coexistence analysis of ofdm-based IEEE802.16 broadband wireless access (BWA) systems and IMT-2000 systems in 2500 MHz – 2690 MHz band in the same geographical area*’, Mei 2005
- [16] IP Wireless antwoord n.a.v. de consultatie van PTS in Zweden, ‘*IPWireless response to invitation to submit views regarding licensing in the 2570 – 2620 MHz band*’

A Nomenclatuur vergelijkingstabel

Deze bijlage bevat een toelichting op de kenmerken/criteria die in de vergelijkingstabel in bijlage B zijn toegepast.

Radiotechnische specificatie

De radiotechniek wordt gespecificeerd aan de hand van de volgende kenmerken:

access technologie	technologie om toegang te verlenen aan meerdere gebruikers, bijvoorbeeld Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA), of Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).
duplex	techniek om zowel uplink (UL) van de gebruiker naar het basisstation als downlink (DL) van het basisstation naar de gebruiker te realiseren, bijv. Frequency Division Duplex (FDD), of Time Division Duplex (TDD).
frequentie band	de frequentiebanden waarin het systeem kan opereren in GHz
kanaalbreedte	de breedte van één kanaal in MHz nodig voor het opzetten van een verbinding
spectrumgebruik	het typische spectrumgebruik (veelvoud van kanaalbreedte) in MHz benodigd voor het exploiteren van een volwassen netwerk. Bij FDD is een gepaard spectrum van twee banden nodig.
modulatietechniek	de codering van de informatie op de draaggolf, bijv. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) of 16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)
antenne basisstation	antennetype op het basisstation, bijv. omni-directioneel, sectorantenne, of adaptieve antenne (smart antenne).
antenne gebruiker	antennetype op de gebruikerseenheid (modem, insteekkaart, telefoon, etc.), bijv. schotel, directioneel (richtantenne) of omni-directioneel.

Radioperformance aspecten

De performance van de techniek wordt gespecificeerd aan de hand van de volgende kenmerken:

capaciteit radiokanaal	capaciteit (maximale bitsnelheid) van het radiokanaal, te delen met de verschillende gebruikers op het basisstation, in Mbit/s.
bitrate per gebruiker DL	gebruikelijke bitsnelheid per gebruiker op de downlink in normale omstandigheden in Mbit/s. Dit is een, in het algemeen door de netwerk operator gekozen, deel van de capaciteit van het radiokanaal. Indien het ontbreekt aan informatie houden we in de tabel een gebruikelijk deel van 1/5 van de capaciteit aan.
typische celstraal	gebruikelijke celstraal in een stedelijke omgeving in km.

Ondersteunde diensten

Ondersteunde diensten op toepassingslaag, zoals spraak circuit geschakeld (CS) en data pakket geschakeld (PS). Een aantal behandelde technologieën omvat slechts de pure radio accestechnologie en geen ondersteuning voor diensten. In dit geval dient de netwerkbeheerder deze ondersteuning en functionaliteit zelf toe te voegen. Afhankelijk van radioperformance eigenschappen als bitsnelheid en vertraging kunnen vervolgens verschillende diensten over het Internet Protocol (IP) worden aangeboden, zoals Voice over IP (VoIP) of video streaming.

Mobiliteit

Mobiliteit wordt onderscheiden in:

- vast (FWA)
- nomadisch
- mobiel

en is onder andere afhankelijk van de portabiliteit en het stroomverbruik van de gebruikerseenheid, de gebruikte antenntypen (richt of omni-directioneel), en de ondersteuning van handovers van een netwerkcel naar een aangrenzende cel.

Interoperabiliteit

Interoperabiliteit is in dit document gedefinieerd als de compatibiliteit tussen systemen van dezelfde techniek, maar van verschillende leveranciers. Onderscheid wordt gemaakt in:

- ondersteund
- niet ondersteund

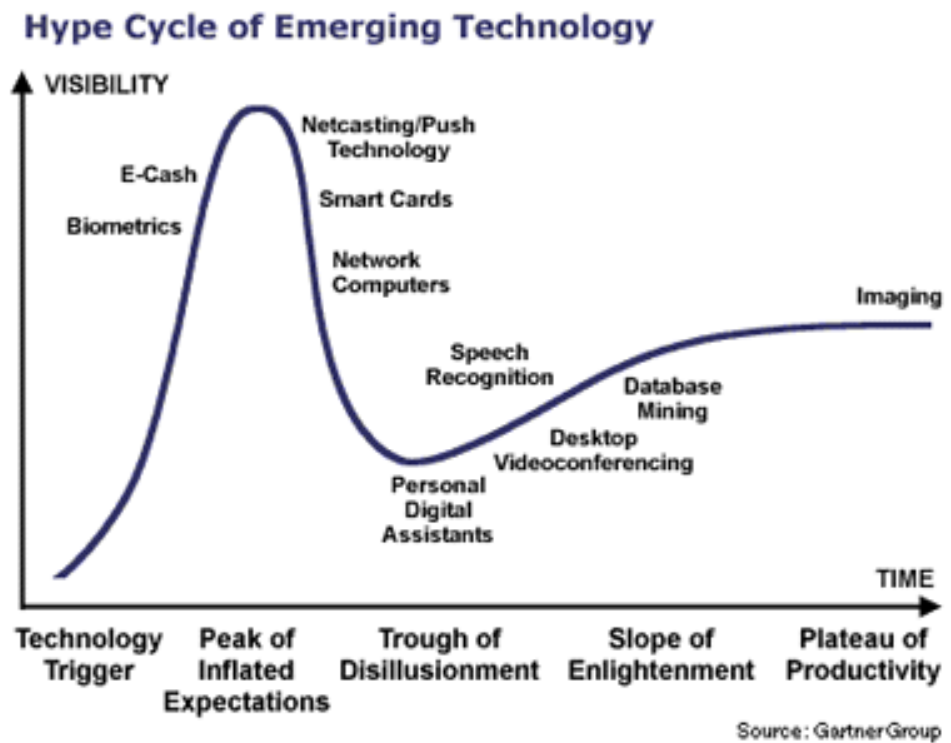
Volwassenheid

De volwassenheid is een indicatie van de “levensfase” waarin de techniek zich op dit moment bevindt. Hiervoor maken we gebruik van in de ICT-wereld veelgebruikte Gartner’s Hype cycle curve. Onderstaande tekst, overgenomen van <http://www.gartner.com/> beschrijft de vijf onderscheiden levensfasen.

‘There are five distinct categories that occur in the emergence of any new technology:

1. Technology trigger. A breakthrough, public demonstration, product launch or other event that generates significant press and industry interest.
2. Peak of inflated expectations. a phase of overenthusiasm and unrealistic projections during which a flurry of publicized activity by technology leaders results in some successes but more failures as the technology is pushed to its limits. The only enterprises making money at this stage are conference organizers and magazine publishers.
3. Trough of disillusionment. The point at which the technology becomes unfashionable and the press abandons the topic, because the technology did not live up to its overinflated expectations.
4. Slope of enlightenment. Focused experimentation and solid hard work by an increasingly diverse range of organizations lead to a true understanding of the technology's applicability, risks and benefits. Commercial off-the-shelf methodologies and tools become available to ease the development process.
5. Plateau of productivity. The real-world benefits of the technology are demonstrated and accepted. Tools and methodologies are increasingly stable as they enter their second and third generation. The final height of the plateau varies according to whether the technology is broadly applicable or only benefits a niche market.

The Gartner Hype Cycle places technologies and the strategies they enable into a natural and recurring life cycle. The Gartner Hype Cycle is a device that lays out the path that technologies generally take, from their initial introduction into the market until their eventual maturation into useful components of broader solutions.’



Figuur A-1: Gartner Hype Cycle. Bron: [<http://www.gartner.com/>]

Beschikbaarheid gebruikerseenheid

Inschatting van de beschikbaarheid van of keuzemogelijkheid in de gebruikerseenheden (modem, insteekkaart, terminal, etc.) in de volwassen levensfase. Onderscheid wordt gemaakt in:

- breed
- beperkt

en is afhankelijk van onder andere het aantal fabrikanten, gebruikte standaarden en ondersteunende consortia.

Schaalbaarheid

De schaalbaarheid van het netwerk bij toenemend verkeer. Onderscheid wordt gemaakt in:

- goed
- middelmatig
- slecht

en is afhankelijk van het aantal capaciteitsuitbreidende mogelijkheden.

Industrieel draagvlak

Onderscheid wordt gemaakt in:

- groot
- beperkt
- nihil

en is afhankelijk van of de techniek gestandaardiseerd is, door welke consortia de techniek of de standaard wordt ondersteund, of dat de techniek proprietary is, of er licenties op de proprietary techniek worden uitgegeven, etc.

B Vergelijkingstabel technologieën

Onderstaande tabel is slechts indicatief. De systeem performances zijn sterk afhankelijk van diverse parameter instellingen op de fysieke en datalink lagen. N.B. Zie Bijlage A voor de definities van de gebruikte terminologieën en begrippen.

	IMT-2000 technologieën				
	GSM / EDGE	CDMA-2000	W-CDMA / UMTS FDD incl. HSPA	UMTS-TDD / TD-SCDMA	UMTS LTE
Radiotechnische specificaties:					
acces technologie	FDMA en TDMA	CDMA	W-CDMA	CDMA	OFDMA (met TDMA)
duplex	FDD	FDD	FDD	TDD	FDD (en TDD?)
frequentie band	900 en 1800 MHz	2 GHz	2 GHz	2 GHz	nog open
kanaalbreedte	200 kHz	1,25 MHz	5 MHz	1,6 / 5 / 10 MHz	1,25 – 20 MHz
spectrumgebruik	2 x 10 MHz (bij benadering)	nx1,25 MHz	2x 5 MHz x (2/3)	1x 1,6 / 5 / 10 MHz x (1/2/3)	1,25 – 20 MHz x (1/2/3)
modulatietechniek	GMSK / 8PSK	QPSK/8PSK/16QAM (DL) BPSK, QPSK/8PSK (UL)	QPSK, 4-16 QAM	QPSK / ?	QPSK, 4-16 QAM ?
antenne basisstation	sector	sector	sector	sector	sector
antenne gebruiker	omni	omni	omni	omni / directioneel	omni
Radioperformance aspecten:					
capaciteit kanaal DL/UL	@ 1,8 GHz, 200 kHz 473,6 kbit/s / 473,6 kbit/s	@ 2 GHz, 2x 1,25 MHz 3,1 Mbit/s / 1,8 Mbit/s	@ 2 GHz, 5 MHz 14,4 / 5,7 Mbit/s	@ 2 GHz, 10 MHz 12 Mbit/s /	@ 2 GHz, 20 MHz 100 / 50 Mbit/s
bitrate per gebruiker DL/UL	200 kbit/s / 200 kbit/s	?	2-3 / 1-1,5 Mbit/s	2-3 Mbit/s /	20 / 10 Mbit/s
typische celstraal	0,5 – 1 km	0,5 km	0,5 km	0,5 km	0,5 km
Ondersteunde diensten	CS spraak, PS data	PS data en spraak	CS spraak, CS data en PS data	PS data en spraak	PS data en spraak
Mobiliteit	Mobiel handovers en roaming ondersteund	Mobiel Handovers en roaming ondersteund	mobiel handovers en roaming ondersteund	mobiel handovers en roaming ondersteund	Mobiel handovers en roaming ondersteund

	IMT-2000 technologieën				
	GSM / EDGE	CDMA-2000	W-CDMA / UMTS FDD incl. HSPA	UMTS-TDD / TD-SCDMA	UMTS LTE
Interoperabiliteit	ondersteunt standardisatie interfaces in 3GPP, tevens interworking met UMTS	ondersteunt standaardisatie interfaces in 3GPP2	ondersteunt standardisatie interfaces in 3GPP, tevens interworking met GSM en WiFi	ondersteunt standardisatie interfaces in 3GPP, hoewel ook proprietary producten verscheinen	ondersteunt standardisatie interfaces in 3GPP
Volwassenheid	plateau of productivity	plateau of productivity	trough of disillusionment netwerken operationeel sinds 2006, terminals beschikbaar	past peak of inflated expectarions	before technology trigger standardisatie fase, eerste producten niet voor 2010
Beschikbaarheid gebruikerseenheid (in volwassen fase)	breed	Breed	breed gestandaardiseerd, HSDPA geïntroduceerd in 2006, HSUPA verwacht in 2007/2008.	beperkt (in Europa) In Azie is de techniek wijd verspreid	n.v.t.
Schaalbaarheid	goed kleinere cellen, meer spectrum, verhoogde efficiëntie met EDGE	Goed	goed meerdere mogelijkheden incl. kleinere cellen en 2 ^e carrier	goed	goed (verwachting) flexibel spectrumgebruik
Industrieel draagvlak	groot wereldwijd zeer breed gedragen door industrie	Groot, gedragen door 3GPP2, markten in VS en Azië	groot gedragen door groot consortium in 3GPP	beperkt (in Europa) In Azie is de techniek wijd verspreid	groot ondersteund door merendeel vendors en operators

	Non-IMT-2000 technologieën					
	IEEE 802.16.e Mobile WiMAX	WiBro	IEEE 802.20 MBWA	Flarion FLASH-OFDM	Navini Ripwave MX	WiFi (802.11g)
Radiotechnische specificaties: acces technologie duplex frequentie band kanaalbreedte spectrumgebruik modulatietechniek antenne basisstation antenne gebruiker	SC / OFDMA FDD / TDD 2 - 5 GHz 1,25 / 1,75 MHz 3,5/5/7/10/14/20 MHz QPSK, 4-64 QAM sector omni	WiBro is 802.16 profile S-OFDMA TDD 2.3 GHz 9 MHz Binnen 100 MHz blok QPSK/QAM(64 of 16) sector omni	OFDMA FDD / TDD 0,4 – 3,5 GHz 1,25 MHz 2,5/5/10/20/30/40 MHz ? Sector omni	Fast Hopping OFDM FDD 0,4 – 3.6 GHz 1,25 MHz 2x 1,25/5 MHz	MC Synchron. CDMA TDD 2,3-2,6 & 3,4-3,5 GHz 5 MHz 1x 5 MHz QPSK, 16-64 QAM Adaptive phased array omni met diversity	CDMA TDD 2,4 GHz 20 MHz nx20 MHz OFDM/QAM Sector/omni omni
Radioperformance aspecten: capaciteit radiokanaal bitrate per gebruiker (DL) typische celstraal	@ 2,6 GHz, 7 MHz 23 Mbit/s 5 Mbit/s 0.5 - 1km	@2,3 GHz, 8.75MHz 18,4 Mbit/s 3 Mbit/s max ca. 1km	@ 3,5 GHz, 5 MHz >10 Mbit/s 18 Mbit/s peak 300 m	@ 3,5 GHz, 1,25 MHz 3,2 Mbit/s 1 Mbit/s 300 m	@ 2,4 GHz, 5 MHz 16 Mbit/s < 4,8 Mbit/s (max!) < 5km (max!)	@ 2,4 GHz, 20 MHz 54 Mbit/s < 100m (eirp restricted)
Ondersteunde diensten	volledig PS radio technologie, diensten ter implementatie door netwerk operator	Volledig PS radio technologie, "portable internet"	volledig PS radio technologie, diensten ter implementatie door netwerk operator	volledig PS radio technologie, diensten ter implementatie door netwerk operator	volledig PS radio technologie, diensten ter implementatie door netwerk operator	Volledige PS radio technologie met QoS ondersteuning
Mobiliteit	mobiel handovers ondersteund	Mobiel handovers ondersteund (niet compatibel met 802.16e)	mobiel handovers ondersteund	mobiel all-IP netwerk, dus mogelijkheid tot Mobile IP roaming	nomadisch portable gebruikerseenheden	nomadisch cell roaming ondersteund

	Non IMT-2000					
	IEEE 802.16.e Mobile WiMAX	WiBro	IEEE 802.20 MBWA	Flarion FLASH-OFDM	Navini Ripwave MX	IEEE 802.11 WiFi
Interoperabiliteit	ondersteund indien WiMAX gecertificeerd	WiBro is een vd 802.16 profiles. interoperabiliteit huidige WiBro systemen met WiMax is echter beperkt	beperkt ondersteund wordt gestandaardiseerd, maar nog geen groot industriële draagvlak	niet ondersteund want proprietary. mogelijke Interworking met WiFi via Netgear	niet ondersteund want proprietary. Wel compatibiliteit met 802.16e aangetoond	ondersteund indien WiFi gecertificeerd
Volwassenheid	past peak of inflated expectations	past peak of inflated expectations commerciële producten beschikbaar, verschillende trials / live netwerken.	technology trigger	peak of inflated expectations commerciële producten beschikbaar, verschillende trials / live netwerken.	peak of inflated expectations commerciële producten beschikbaar, verschillende trials / live netwerken	peak of inflated expectations commerciële producten beschikbaar, verschillende live netwerken.
Beschikbaarheid gebruikerseenheid (in volwassen fase)	breed Gestandaardiseerd en gepromoot door WiMAX consortium	Beschikbaar	onbekend	proprietary, beleid van Qualcom nog niet bekend.	beperkt proprietary extern modem en PCMCIA kaart beschikbaar	Breed Gestandaardiseerd en gepromoot door WiFi Alliance
Schaalbaarheid	middelmatig Aantal mogelijkheden zoals kleinere cellen of meer spectrum	Middelmatig Aantal mogelijkheden zoals kleinere cellen of meer spectrum	middelmatig aantal mogelijkheden zoals kleinere cellen of meer spectrum	Middelmatig Aantal mogelijkheden zoals kleinere cellen of meer spectrum	middelmatig aantal mogelijkheden zoals kleinere cellen of meer spectrum	middelmatig aantal mogelijkheden zoals kleinere cellen en meer spectrum
Industriële draagvlak	groot gedragen door IEEE en WiMAX consortium	Ruim, vanwege support LG Electronics en Samsung Semi-proprietary	Beperkt gedragen door IEEE met beperkt aantal spelers crisis in betreffende werkgroep	Groot (Qualcomm) proprietary	Beperkt proprietary. Beperkt aantal partners.	Groot Gedragen door IEEE en WiFi Alliance