

TNO
Brassersplein 2
2612 CT Delft
www.tno.nl

TNO-rapport 35522

I

Monitor Draadloze Technologieën 2011

Datum	augustus 2011
Auteur	TNO
Aantal pagina's	135
Rapport	35522

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.

Deze rapportage maakt onderdeel uit van het monitoringsprogramma van TNO en is tot stand gekomen dankzij een bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

© 2011 TNO

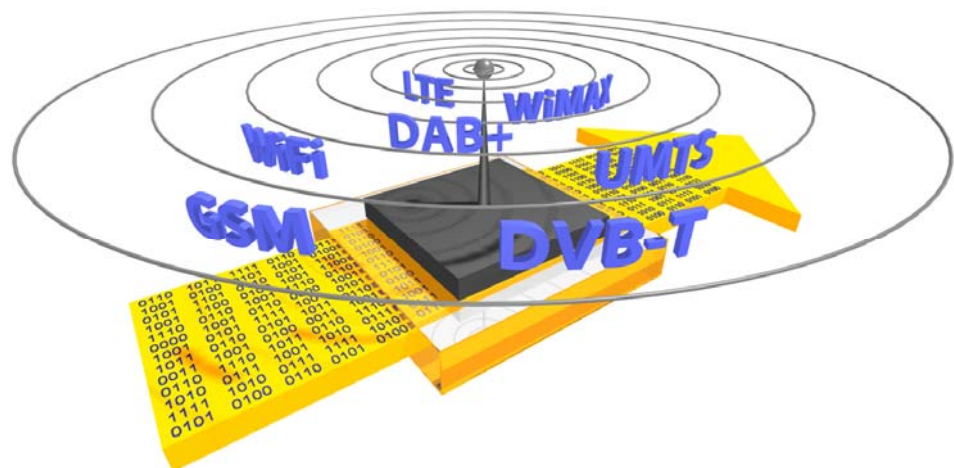
Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Doel van de Monitor	5
1.2	Scope.....	6
1.3	Aanpak.....	6
1.4	Indicatoren	7
1.5	Opbouw van de Monitor	8
2	Trends in draadloos	11
2.1	Snelle ontwikkeling van de smartphone	11
2.2	Groei van het mobiele dataverkeer	12
2.3	Machine-to-machine Communicatie	13
2.4	Trend richting kleine netwerkcellen	15
2.5	Uitrol van LTE	18
2.6	TDD technologie	19
2.7	Het gebruik van de 470-862 MHz band – herbestemming van het Digitaal Dividend	21
3	Ontwikkelingen per technologie	25
3.1	GSM.....	25
3.2	UMTS/HSPA.....	25
3.3	CDMA2000	26
3.4	LTE/LTE-A.....	26
3.5	WiMAX.....	27
3.6	WiFi.....	27
3.7	Digitale Broadcast.....	27
3.8	TETRA	29
3.9	Bluetooth.....	30
	Bijlage: Beschrijvingen per technologie	31
	Lijst met afkortingen	131

1 Inleiding

Op het gebied van draadloze technologie vinden tal van ontwikkelingen plaats. Zo heeft in de afgelopen paar jaar een explosieve groei plaatsgevonden van het mobiele dataverkeer, als gevolg van een snelle toename van het aantal zogeheten “smartphones”, mobieltjes met een Internetverbinding. Om in deze groei te kunnen voorzien wordt door mobiele operators fors geïnvesteerd in uitbreiding van het UMTS/HSPA netwerk. Daarnaast zal op korte termijn ook de opvolger van UMTS/HSPA, LTE, op de Nederlandse markt worden geïntroduceerd dat nog hogere datasnelheden en meer capaciteit biedt. WiFi en Bluetooth hebben een belangrijke plaats ingenomen bij het laagdrempelig aanbieden van draadloze toegang over kortere afstanden. Aan de omroepkant zijn diverse digitale systemen ontwikkeld, zoals DVB-T, DVB-H en DAB, ieder met zijn eigen specifieke sterkte en beoogd gebruikersprofiel. In de toekomst lijkt een verdere integratie plaats te gaan vinden, waarbij klassieke omroepdiensten ook via bijvoorbeeld LTE kunnen worden aangeboden.

Om overzicht te bieden in het speelveld van de diverse draadloze technologieën, is TNO begonnen met het samenstellen van een Monitor Draadloze Technologieën. Hierin worden de belangrijkste technologieën beschreven en worden de ontwikkelingen in de markt en de technologie gevolgd. Dit document is de eerste uitgave van de monitor – de intentie is om jaarlijks een update te gaan verzorgen. De monitor bevat, naast een overzicht van recente trends en ontwikkelingen in het draadloos speelveld, een beschrijving per draadloze technologie.



Figuur 1-1: Deze Monitor beschrijft en volgt de belangrijkste draadloze technologieën.

1.1 Doel van de Monitor

Met de Monitor Draadloze Technologieën wil TNO een goede, actuele en toegankelijke foto bieden van de stand van zaken ten aanzien van de ontwikkeling en inzet van draadloze technologie. De monitor tracht verschillende doelgroepen te bedienen bij overheid en bedrijfsleven in Nederland. Dit betekent dat is getracht de

monitor informatief te laten zijn voor lezers met een algemene achtergrond in telecommunicatie. Door middel van een jaarlijkse update zullen recente ontwikkelingen in de monitor worden verwerkt.

TNO hecht eraan te benadrukken dat deze monitor slechts een momentopname bevat van een complex en snel veranderend speelveld. Het is daarom mogelijk dat opgenomen informatie op het moment van lezen niet meer up-to-date is, of niet langer relevant. Daarnaast valt niet te ontkomen aan enige willekeur in de keuze van geschetste ontwikkelingen. Het kan dus zijn dat ontwikkelingen die in de ogen van de lezer zeer relevant zijn, niet in deze monitor worden beschreven. TNO staat open voor suggesties of aanbevelingen voor verdere verbeteringen in deze monitor.

1.2 Scope

De scope van de monitor omvat radiofrequente technologieën die de basis vormen voor aardse draadloze verbindingen waarmee aan eindgebruikers elektronische communicatie- en omroepdiensten kunnen worden aangeboden.

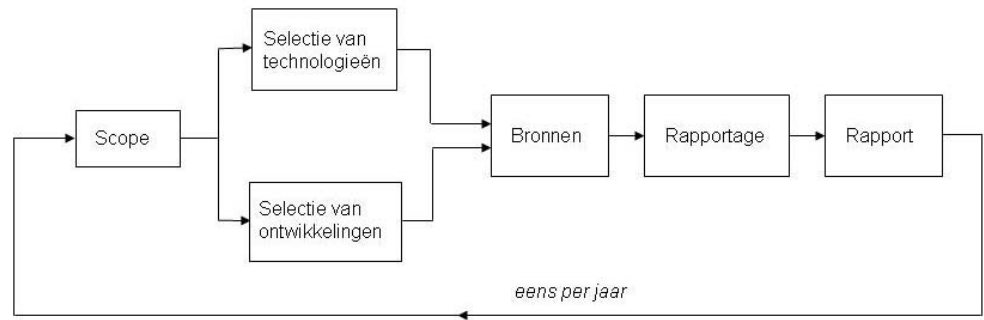
De beschreven technologieën zijn in alle gevallen gestandaardiseerd. Oudere technologieën die voorbij hun hoogtepunt zijn qua toepassing worden niet beschouwd. In principe worden *wereldwijde* ontwikkelingen gevolgd, vanuit een *nationaal* perspectief. Dit betekent dat technologieën die alleen in bijvoorbeeld in Azië worden gebruikt, kunnen worden meegenomen in de monitor als ze van invloed kunnen zijn op de ontwikkelingen in Nederland. Onderliggende “enabling technologieën” zoals CDMA, OFDM, of MIMO worden *niet* apart als technologie behandeld maar waar relevant aangeduid bij de beschrijving van de systeemtechnologie. Draadloze technologie die gebruik maakt van satellieten is buiten de scope gehouden.

Hoewel het karakter van een monitor vereist dat de scope tussen opeenvolgende verschijningen zo veel mogelijk stabiel blijft, is het denkbaar dat deze zeker in de eerste jaren nog verder wordt aangepast. Voor de toekomst behoort een uitbreiding met bijvoorbeeld systemen voor satellietcommunicatie tot de mogelijkheden

1.3 Aanpak

De aanpak voor het samenstellen van de monitor is schematisch weergegeven in Figuur 1-2. Hij bestaat ruwweg uit de volgende stappen:

1. Vaststellen van de scope van de monitor.
2. Op basis van deze scope selecteren van de te beschrijven technologieën en ontwikkelingen in het speelveld.
3. Leveren van bijdrages door diverse experts binnen TNO op de geselecteerde technologieën en onderwerpen. Voor de bijdrages wordt gebruik gemaakt van veelal publiek beschikbare bronnen, zoals websites en nieuwsberichten.
4. Deze cyclus wordt eens per jaar herhaald.



Figuur 1-2: Schematische weergave van de aanpak voor de Monitor Draadloos.

1.4 Indicatoren

Voor de beschrijving per technologie wordt gebruik gemaakt van een aantal indicatoren, om zo structuur aan te brengen en de beschrijvingen beter vergelijkbaar te maken. Tabel 1-1 toont de gebruikte indicatoren, gegroepeerd in drie categorieën, te weten *Algemeen*, *Techniek* en *Markt*.

Tabel 1-1: Lijst van gebruikte indicatoren.

Indicator	Korte omschrijving
Algemeen	
Technologietype	Aanduiding van het soort technologie: mobiele netwerken/omroep, publiek/privaat, etc.
Achtergrond	Schets van de achtergrond van de technologie: Oorsprong, korte geschiedenis, opeenvolgende versies, deel van de wereld waar de technologie wordt ontwikkeld/gebruikt.
Beschikbaarheid	Wat is de status van de beschikbaarheid? Is de technologie uitontwikkeld? Is de technologie al operationeel? In welk deel van de wereld?
Diensten en toepassingen	Voor welke dienst(en) wordt de technologie gebruikt en/of is deze bedoeld? Denk aan bijvoorbeeld spraakdiensten, SMS, internet, e-mail, tv, radio, etc. Waarom is de technologie juist voor deze dienst(en) geschikt?
Terminals	Zijn er typen terminals (bijvoorbeeld handsets, PDAs, insteekkaarten) die deze technologie ondersteunen? Zo ja, welke typen zijn dat?
Relatie met andere technologieën	Welke andere technologieën zijn duidelijk aanvullend of concurrerend op de technologie? Waar zitten de verschillen?
Techniek	

Onderliggende techniek	Aanduiding van “enabling” technieken die duidelijk verbonden zijn met de technologie. Bijvoorbeeld CDMA voor UMTS, OFDM en MIMO voor LTE.
Standaardisatie	Beschrijving van de stand van zaken op standaardisatiegebied. Welk orgaan voert de standaardisatie uit? Welke delen van de technologie zijn gestandaardiseerd? Welke releases zijn nu courant? Wat kan aan belangrijke features worden verwacht in nieuwe releases?
Frequentiebanden	Aanduiding van de frequentieband(en) waarin de technologie gebruikt wordt en/of bedoeld is. Met name voor Nederland, maar als hier in andere landen opvallend van afgeweken wordt dit vermelden. Betreft het gelicenseerde banden? Tot wanneer zijn deze geldig?
Datasnelheid	Aanduiding van de in de praktijk te verwachten datasnelheid volgens een indeling in klassen.
Bereik	Aanduiding van het in de praktijk te verwachten afstands bereik volgens een indeling in klassen.
Quality of Service	Welke QoS klassen bestaan er binnen de technologie? Hoe worden deze vertaald naar de toepassingen?
Informatiebeveiliging	Aanduiding hoe security aspecten geregeld zijn, d.w.z. hoe ervoor gezorgd wordt dat de verbinding niet illegaal kan worden afgeluisterd. Hoe sterk is deze technologie op dit terrein?
Markt	
Marktpenetratie	Hoeveel aansluitingen zijn er (op dit moment of in het afgelopen jaar) voor deze technologie, in Nederland, Europa en de wereld? Hoe is de ontwikkeling t.o.v. voorgaande jaren?
Belangrijke spelers	Beschrijving van de grote commerciële partijen achter de technologie, vaak leveranciers van netwerkapparatuur en netwerk operators. Ook korte aanduiding van de belangrijkste terminalfabrikanten.
Operators en hun marktaandeel	Welke operators zijn actief in Nederland en elders in Europa? Wat is hun marktaandeel?

1.5 Opbouw van de Monitor

De Monitor is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van een aantal trends in het draadloos speelveld. Doel van dit hoofdstuk is om via een soort “nieuwsbrief” te schetsen welke belangrijke ontwikkelingen er op dit moment spelen op de markt en in de techniek. De secties in dit hoofdstuk zijn niet specifiek gebonden aan één bepaalde technologie.

Hoofdstuk 3 bevat per draadloze technologie een korte schets van de belangrijkste ontwikkelingen in het afgelopen jaar. Dit hoofdstuk kan worden gelezen als de daadwerkelijke “monitor”: het volgen van ontwikkelingen per technologie in de tijd.

De beschrijvingen per technologie zijn opgenomen in de bijlage. Iedere beschrijving is gestructureerd volgens de in Sectie 1.4 genoemde indicatoren.

2 Trends in draadloos

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van een aantal trends in het draadloos speelveld. Achtereenvolgens komen aan de orde:

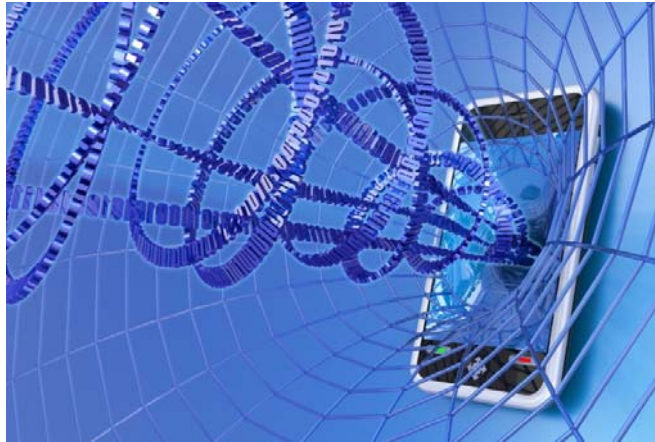
- Snelle ontwikkeling van de smartphone
- Groei van het mobiele dataverkeer
- Machine-to-machine communicatie
- Trend richting kleine netwerkcellen
- Uitrol van LTE
- TDD technologie
- Het gebruik van de 470-862 MHz band – herbestemming van het Digitaal Dividend

2.1 Snelle ontwikkeling van de smartphone

Het gebruik van smartphones groeit hard in Nederland. Begin 2011 was 34 procent van de gebruikte mobiele telefoons een smartphone, verwacht wordt dat dit begin 2012 al ongeveer 50 procent zal zijn. Daarnaast worden smartphones steeds krachtiger. Moderne smartphones bevatten al dual-core processoren die op meer dan 1 GHz draaien, overeenkomend met de rekenkracht van een PC van ongeveer 5 jaar oud. Ook de hoeveelheid geheugen en opslagruimte zijn vergelijkbaar met die van een 5 jaar oude PC. Bovendien gaan de ontwikkelingen in de smartphone markt veel harder dan in de PC markt. Zo staan bijvoorbeeld voor volgend jaar al quad-core processoren gepland, en de klokfrequentie wordt ook verder opgeschroefd (1,5–2,0 GHz). De smartphone wordt zo eigenlijk de nieuwe personal computer. Het is een apparaat met de rekenkracht van een computer dat iemand altijd bij zich draagt, en waarop iemand al zijn persoonlijke gegevens bewaart.

Naast smartphones is er nog een nieuwe klasse van persoonlijke apparaten op komst: de tablet PC. Het verschil tussen een tablet en een smartphone is enigszins vaag. Vaak bevat een tablet alle functionaliteit van een smartphone (inclusief de mogelijkheid om er mee te bellen) en zit het verschil eigenlijk alleen in het feit dat een tablet een groter scherm heeft. En ook daar zie je dat het verschil steeds minder duidelijk wordt omdat de smartphones steeds groter worden. De nieuwste modellen van Samsung en HTC hebben een 4,3 inch scherm, terwijl tablets momenteel beschikken over schermen van 5-10 inch.

Sommige smartphones beschikken al over de mogelijkheid om aangesloten te worden op een docking station, zodat in feite de functionaliteit van een laptop of netbook wordt verkregen. Zo vervaagt ook het verschil tussen aan de ene kant de smartphone/tablet en aan de andere kant de laptop. Het ligt in de lijn der verwachting dat in de toekomst verdere convergentie van apparaten zal plaatsvinden.



Figuur 2-1: Op het gebied van smartphones vindt een snelle ontwikkeling plaats.

Moderne smartphones bieden tal van nieuwe mogelijkheden. Naast de toegenomen rekenkracht beschikken ze over vele sensoren die in een traditionele PC niet aanwezig zijn, maar in een draagbaar apparaat heel handig. Denk aan een accelerometer, gyroscoop, lichtsensoren, afstandsensoren, camera, GPS en kompas. Dankzij deze sensoren kan men bijvoorbeeld “augmented reality” applicaties maken die extra gegevens over de omgeving laten zien, of een stappenteller installeren om de conditie op peil te houden. Ook bieden ze tal van mogelijkheden op het gebied van gaming. In mei 2011 waren er al ongeveer 200.000 verschillende applicaties (“apps”) beschikbaar voor android smartphones, en al 350.000 voor de iPhone. Deze aantallen groeien snel, in het geval van android met ongeveer 30000 apps per maand.

Ook op het gebied van connectiviteit kan een smartphone meer dan een PC. Het bevat meestal vele verschillende radio interfaces (GSM, 3G, WiFi, Bluetooth, NFC) waardoor netwerkconnectiviteit bijna overal mogelijk is en een verbinding tussen twee smartphones of een smartphone met een ander apparaat eenvoudig gemaakt kan worden. Daardoor kan de smartphone bijvoorbeeld gebruikt worden als elektronisch betaalmiddel of als navigatiesysteem met live updates van file-informatie.

Momenteel worden nog lang niet alle mogelijkheden van de smartphone benut. Met behulp van de aanwezige sensoren, de rekenkracht van het apparaat en de aanwezige persoonlijke informatie van de gebruiker (agenda, contacten, email, boodschappenlijstjes etc.) zou het apparaat ook contextinformatie kunnen achterhalen over wat je aan het doen bent, wat je van plan bent, en wat nuttig zou zijn om daarbij te weten of te gebruiken. Dit biedt vele mogelijkheden voor nieuwe diensten en applicaties, maar roept ook belangrijke vragen op ten aanzien van privacybescherming. Want wat gebeurt er met al die informatie, en wie kunnen het allemaal inzien?

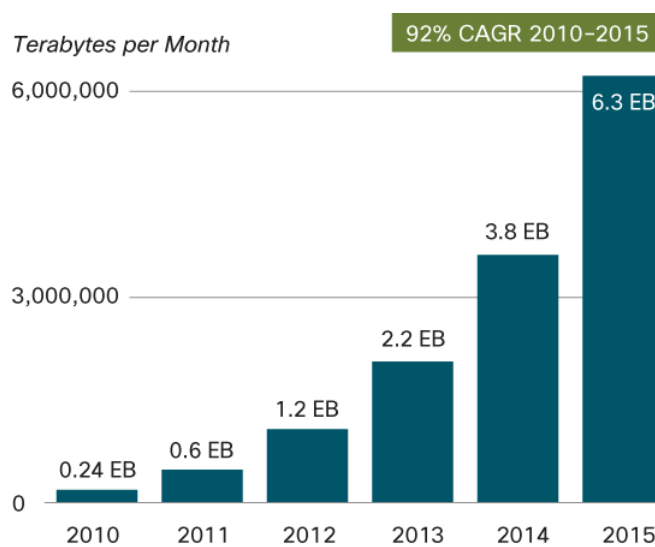
Samenvattend kan de smartphone gezien worden als de PC van de toekomst, maar dan draagbaar en alleswetend met een grote hoeveelheid aan beschikbare software. Met alle voor- en nadelen die daaraan verbonden zijn.

2.2 Groei van het mobiele dataverkeer

Het mobiele dataverkeer laat wereldwijd een sterke groei zien. In 2010 is het wereldwijde mobiele dataverkeer meer dan verdubbeld, voor het derde jaar op rij.

Een belangrijke verklaring voor de sterke groei in 2010 is de enorme populariteit van eerdergenoemde smartphones: toestellen met PC-achtige functionaliteit, zoals de iPhone, Blackberry and Galaxy. Operators zoals Vodafone hebben aangegeven dat smartphone gebruikers 10 tot 20 keer zoveel verkeer genereren als niet-smartphone gebruikers¹.

Onderstaande figuur van Cisco geeft een voorspelling van de groei van het mobiele dataverkeer in de komende jaren. Er wordt een groei verwacht naar 6.3 exabytes (10^{18} bytes) in 2015, wat neerkomt op een toename met een factor 26 t.o.v. 2010. Dit laat zich vertalen in een jaarlijkse groei van 92% tussen 2010 en 2015. In 2015 zal meer dan de helft van het wereldwijde mobiele dataverkeer worden gegenereerd in West-Europa en het Verre Oosten. Niettemin zal ook in het Midden-Oosten en Afrika een sterke groei plaatsvinden.



Source: Cisco VNI Mobile, 2011

Figuur 2-2: Toename van het wereldwijde mobiele dataverkeer tussen 2010 en 2015.

2.3 Machine-to-machine Communicatie

Machine-to-machine (M2M) wordt door velen gezien als de meest veelbelovende nieuwe ontwikkeling in mobiele telecommunicatie. De inkomsten voor mobiele operators uit mobiele telefonie nemen steeds meer af. Mobiele datacommunicatie neemt weliswaar enorm toe in volume, maar met 'flat fee' databundels nemen de inkomsten niet evenredig toe. M2M wordt daarentegen als een compleet nieuwe bron van inkomsten gezien, die relatief weinig investeringen in nieuwe netwerkinfrastructuur vraagt. De belangstelling voor M2M is te lezen in diverse aankondigingen van grote spelers in mobiele datacommunicatie. Ericsson heeft onlangs op het World Mobile Congres in Barcelona M2M als één van hun hoofdthema's bestempeld. Ericsson verwacht dat er 50 miljard "connected devices" zullen zijn in 2020. Ook onder mobiele operators is er een grote belangstelling voor M2M. Zo hebben Vodafone, Verizon Wireless en nPhase (een Qualcomm / Verizon joint venture) een strategisch partnership rondom M2M opgetuigd². In Nederland is

¹ Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015.

² <http://www.nphaseone.com>

KPN stevig aan de weg aan het timmeren met oplossingen voor wereldwijd opererende M2M klanten³.

Wat is nu eigenlijk precies M2M, wat hoort daar nu wel en wat hoort daar nu niet bij? Een definitie van M2M is moeilijk te geven, want deze hangt af van de context waarin je kijkt. Een veel gebruikte definitie op basis van een karakterisering van de applicatie is: "M2M communicatie is communicatie tussen sensoren, actuatoren en processen zonder, of met beperkte, tussenkomst van mensen". Probleem met deze definitie is dat bijvoorbeeld ook applicaties die op een smartphone op de achtergrond draaien hier onder vallen. In het kader van regelgeving rondom telefoonnummers voor M2M wil je juist een definitie die op de apparaten van toepassing is: "alle apparaten die niet primair voor voice of SMS gebruikt worden". In dat geval vallen ook alle apparaten met mobiele datafunctionaliteit – zoals dongles, laptops, en tablets – onder deze definitie. Voor een netwerkoperator is een definitie die kijkt naar de communicatiepatronen van meer belang. Bij M2M applicaties zijn er doorgaans grote aantallen M2M apparaten betrokken die met één enkele M2M server communiceren.

Mobiele M2M communicatie bestaat al geruime tijd. Zo zijn bijvoorbeeld "fleet management" applicaties al lang gemeengoed onder grotere transportondernemingen. Deze applicaties waren tot nu toe niet meer dan een niche tussen alle andere mobiele telefonie- en datacommunicatie applicaties. Waar komt dan die enorme groeiverwachting voor M2M vandaan? Een van de grote aanjagers achter M2M is de stimulering door overheden in de VS, Europa en Azië van slimme meters (zie Figuur 2-3). Met slimme energiemeters kan het stroomverbruik op afstand uitgelezen worden. Slimme meters maken ook een betere afstemming tussen elektriciteitsproductie en afname mogelijk. De stimulering van slimme meters betekent wel dat per huishouden minstens één nieuw M2M apparaat moet worden aangesloten. Ook overheidsplannen voor rekeningrijden, automatische noodoproepen vanuit auto's (eCall) zorgen voor zeer grootschalige introductie van M2M apparaten.



Figuur 2-3: Introductie van slimme energiemeters zorgt voor een zeer groot aantal M2M apparaten

Naast de grote M2M projecten met slimme meters ontstaat er een groot aantal zeer diverse M2M applicaties. Zo kunnen met eBooks op afstand nieuwe boeken worden gedownload, worden navigatieapparaten automatisch van de laatste filedata voorzien en rapporteren kopieerapparaten automatisch wanneer er een mankement is. Al die verschillende applicaties – van mobiele bewakingscamera's tot diefstalalarmen – stellen zeer uiteenlopende eisen aan het mobiele netwerk.

³ <http://www.kpn.com>

Een probleem met M2M is dat mobiele netwerken niet echt ontwikkeld zijn voor M2M applicaties. Van origine zijn mobiele netwerken ontwikkeld voor mobiele telefonie. Nieuwe mobiele netwerktechnologieën zoals LTE zijn geoptimaliseerd voor mobiele breedband Internettoegang. Voor M2M zijn heel andere optimalisaties nodig.

De nieuwe LTE technologie is specifiek ontwikkeld om zeer grote hoeveelheden dataverkeer met een zeer lage vertraging te kunnen transporteren. Voor verschillende M2M applicaties (bijv. besturing op afstand van windmolens of multi-user games) zijn die lage vertragingen zeer welkom. Maar er zijn maar weinig M2M applicaties die de grote bandbreedtes nodig hebben die LTE biedt. Daarentegen zorgt het zeer grote aantal M2M apparaten voor problemen met de huidige mobiele netwerken. Zo is er een tekort aan telefoonnummers aan het ontstaan. Niet alle mobiele M2M apparaten zullen een mobiel telefoonnummer kunnen krijgen. Een ander probleem is de overbelasting van het mobiele netwerk wanneer grote aantallen M2M apparaten tegelijkertijd van het mobiele netwerk gebruik willen gaan maken. Er zijn verschillende gevallen bekend waarbij een enkele M2M applicatie – maar met een groot aantal aangesloten apparaten – tot uitval van een mobiel netwerk heeft geleid.

Wat veel M2M applicaties met elkaar gemeen hebben is dat de opbrengsten per aansluiting veel lager liggen dan voor normale mobiele abonnementen. Opbrengsten van onder de 1 Euro per maand zijn geen uitzondering, terwijl voor normale mobiele abonnementen de maandelijks opbrengsten in de regel het tienvoudige zijn. Dat betekent dat de netwerkkosten voor M2M applicaties ook omlaag moeten. Dat kan door allerlei restricties voor M2M te introduceren, die voor M2M applicaties geen bezwaar zijn maar die wel kostenvoordelen met zich meebrengen. Zo is het mogelijk om bepaalde M2M applicaties alleen data te laten verzenden in de uren waar geen tot weinig ander dataverkeer over het mobiele netwerk wordt getransporteerd. Voor applicaties waarbij bijvoorbeeld op afstand nieuwe software of informatie naar apparaten moet worden gedownload is het doorgaans geen bezwaar als dat 's nachts gebeurt. Voor een mobiele operator betekent dat dat voor het afhandelen van dergelijk verkeer geen investeringen in netwerkcapaciteit nodig zijn; de netwerkcapaciteit wordt afgestemd op de piekbelasting, additioneel verkeer buiten de piek kan bijna zonder additionele kosten worden getransporteerd.

Waar M2M ons in de toekomst toe zal leiden is nog onzeker. Een toekomst van het Internet-of-Things waarbij bijna elk elektronisch apparaat met het Internet is verbonden ligt in het verschiet. Het Internet-of-Things zal grote voordelen kunnen opleveren in onder andere de gezondheidszorg (zorg-op-afstand), in het wegtransport (intelligente transportsystemen), en voor energiebesparing (intelligente energienetwerken). Maar het zal ook vragen opleveren rondom privacy en nieuwe regelgeving. In ieder geval zullen we in de toekomst nog veel van deze nieuwe trend blijven horen.

2.4 Trend richting kleine netwerkcellen

Door het toenemende gebruik van mobiele datadiensten zien operators zich gesteld voor de noodzaak van capaciteitsuitbreiding in hun mobiele netwerk. Enerzijds proberen zij dit op te lossen door een verruiming van het spectrumgebruik en een efficiëntere technologie als LTE, anderzijds is een belangrijke oplossingsrichting om

met steeds kleinere cellen te werken. Dit leidt tot minder gebruikers per cel en daarmee tot een lagere capaciteitsvraag per cel.

Deze ontwikkeling verloopt parallel aan de ontwikkeling van van steeds kleinere basisstationapparatuur. Waar voorheen een basisstation minimaal één 19 inch rack in beslag nam, kan dat nu in de helft of een kwart van de ruimte en een fractie van het gewicht. Dit betreft dan basisstationapparatuur die erop gericht is om dezelfde celgrootte aan te kunnen als voorheen. Het is te verwachten dat verdere verkleining ook gepaard gaat met het inspelen op kleinere celstralen. Specifieke eigenschappen van het systeem worden ontwikkeld om de hogere netwerkdichtheid gepaard gaand met kleinere celstralen te vergemakkelijken. Voorbeelden zijn Alcatel Lucent met haar "LightRadio" concept⁴, en Nokia Siemens met haar "LiquidRadio"⁵.

"LightRadio" is het concept dat het radio-gerelateerde deel van de functionaliteit van het basisstation geminiaturiseerd wordt tot een 5 bij 5 cm metende kubus (zie Figuur 2-4), die flexibel kan worden benut als bouwsteen met verschillende opties voor technologie en frequentieband. Door middel van stapelen van deze kubussen kunnen verschillende technologieën samengevoegd worden in een antenne, of kan de introductie van beamforming of toename van het zendvermogen gerealiseerd worden. Naast de "kubus" is geen antenne meer nodig aangezien die geïntegreerd is in de kubus samen met het RF front-end. Het overige deel van de functionaliteit van het basisstation (baseband processing) is afgesplitst van deze kubus en kan op iedere gewenste plek geplaatst worden tot 15 km afstand, verbonden via glasvezel. In de vorm die lijkt op huidige basisstations komt deze unit tegen de kubus aan of dichtbij de kubus te staan. Het wordt echter ook mogelijk om de unit op afstand te plaatsen in combinatie met de baseband processing units van andere basisstations. Hiermee wordt het in principe mogelijk om deze processing te poolen tussen verschillende basisstations, zodat de capaciteit van deze processing units de vraag in het netwerk kan volgen. Deze architectuur wordt "baseband processing in the cloud" genoemd en biedt belangrijke efficiëntievoordelen qua kosten en energieverbruik.



Figuur 2-4 : LightRadio kubus van Alcatel-Lucent (links) en Ubiquisys femtocel (rechts).

Wanneer deze verandering in basisstations wordt doorgevoerd door operators kan dit ertoe leiden dat de klassieke antennes uit het straatbeeld gaan verdwijnen. Het geheel van processorapparatuur en antennes zal dan gecombineerd weinig ruimte

⁴<http://www.alcatel-lucent.com/lightradio>

⁵<http://www.nokiasiemensnetworks.com>

in beslag nemen, en daardoor veel minder in het oog springen. In een extreem kleine vorm kan het daardoor ook op plekken geïnstalleerd worden die nu nog niet acceptabel zijn, zoals lantaarnpalen of gevels van woonhuizen. Gegeven de huidige problemen voor operators om nieuwe opstelpunten te verwerven zal dit voor hen een welkome ontwikkeling zijn.

Naast deze verkleining van basisstations zijn fabrikanten reeds een aantal jaar bezig met femtocellen. Dit zijn basisstations met afmetingen, zendvermogen en ook installatiewijze vergelijkbaar met die van WiFi access points. Zie bijvoorbeeld de Ubiquisys femtocel in Figuur 2-4. In deze markt is een aantal grote netwerkleveranciers actief (zoals Alcatel-Lucent en Huawei) maar ook opvallende nichespelers die zich volledig specialiseren in deze apparatuur (zoals Ubiquisys, Picochip en Ip.access). Tot dusver zijn femtocellen niet geïntroduceerd in mobiele netwerken in Nederland. Tot de grotere markten voor deze apparatuur behoren Engeland, waar Vodafone al bijna 2 jaar een femtocel product aanbiedt, en de Verenigde Staten, waar marktleider AT&T dit product aan klanten aanbiedt. In de laatstgenoemde markt claimt de femtocell alliantie het Femto Forum zelfs dat het aantal femtocell basisstations inmiddels het aantal conventionele basisstations overschrijdt⁶. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat er een verschil in schaalgrootte is tussen femtocellen en conventionele basisstations in het aantal bereikte huishoudens, aangezien een femtocel typisch één huishouden bedekt waar een conventionele cel duizend of meer huishoudens bedient.

De ontwikkeling aan deze kant van de markt gaat nu twee kanten op. Aan de ene kant vindt miniaturisering plaats, en zijn er nu zelfs basisstations gesignaleerd die passen op een USB stick⁷. Aan de andere kant wordt het principe van femtocellen (een hoge mate van geautomatiseerde configuratie, en een netwerkarchitectuur die gericht is op het ondersteunen van grote aantallen access points) nu ook toegepast in producten die een groter gebied en een grotere capaciteitsvraag afdekken, de zogeheten metrocell. Typische bedekking is een kantoorruimte met bijbehorende capaciteitseisen.

Een andere vorm van miniaturisering van het femtocel concept is de attocel van fabrikant Ubiquisys⁸. Deze attocel maakt gebruik van gelicenseerd spectrum, maar doet dit met een dusdanig laag vermogen dat deze fabrikant hoopt dat licentievrije toepassing is toegestaan. Dit lage vermogen kan betekenen dat de connectie met een telefoon slechts binnen 5 mm gemaakt kan worden en de telefoon dus op de attocel gelegd moet worden. Netto resultaat voor een gebruiker is dat hij – mits deze attocel is aangesloten op internet – gratis van de connectiviteit van zijn telefoon gebruik kan maken. In het hierboven beschreven geval zal dat voor telefoongesprekken middels een headset gebeuren. De belangrijkste toepassing is om *roaming* kosten in het buitenland te vermijden zodra de attocel aan internet gekoppeld is.

Hierbij dient opgemerkt dat er reeds een andere vorm bestaat voor het op vergelijkbare wijze reduceren van roaming kosten in het buitenland. Deze vorm is gebaseerd op WiFi, en werkt alleen indien de mobiele telefoon WiFi ondersteunt en ook een stuk software bevat die het herrouteren van voice/sms sessies van 2G/3G naar WiFi ondersteunt. Net als bij de "attocell" zal overigens ook bij de WiFi-

⁶ <http://www.femtoforum.org>

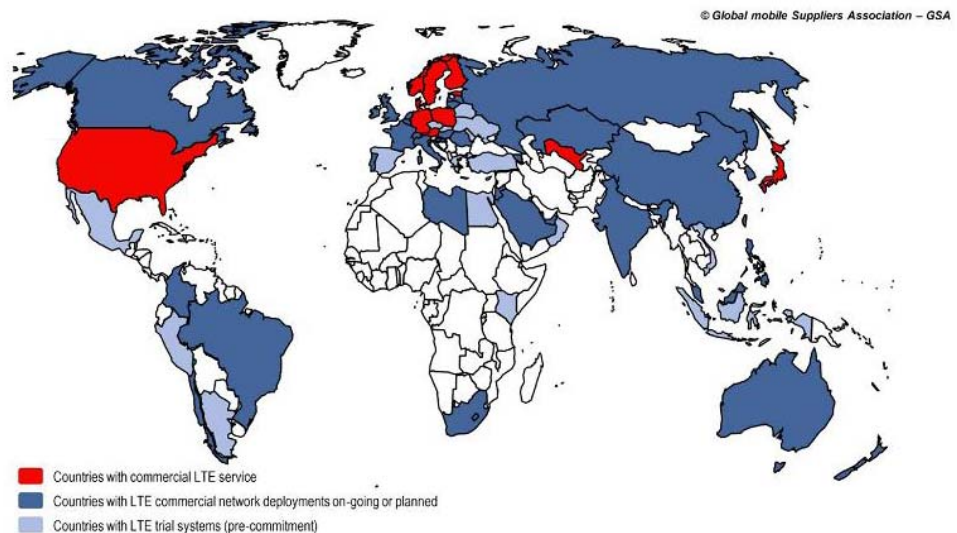
⁷ Hierbij dient opgemerkt te worden dat het RF gedeelte (dwz de radio zender en ontvanger) nog niet op deze USB stick verwerkt is. Het gaat dus slechts om de processing unit.

⁸ <http://www.ubiquisys.com>

oplossing de netwerk-operator van de klant in zijn netwerk aanpassingen moeten doen om de herroutering van voice/sms sessies mogelijk te maken.

2.5 Uitrol van LTE

LTE trekt momenteel veel aandacht en wordt gesteund door de grote mobiele operators en leveranciers. De stand van zaken in maart van dit jaar was dat via 17 LTE netwerken commerciële diensten worden aangeboden en dat voor eind 2012 dit tot 64 gestegen zal zijn⁹. Verwacht wordt dat de eerste LTE netwerken zich alleen zullen richten op datadiensten. Spraak- en SMS diensten zullen in de vroege stadia van LTE geleverd worden via de bestaande netwerken, veelal GSM en UMTS. Figuur 2-5 geeft een overzicht van de mondiale uitrol van LTE, op basis van informatie van de GSA.



Figuur 2-5: Status uitrol van LTE per land.

Het eerste commerciële LTE netwerk is uitgerold door TeliaSonera in december 2009 in de steden Stockholm en Oslo en draait nu ruim 1 jaar. TeliaSonera biedt momenteel in Zweden dekking in 17 steden en heeft plannen voor dekking in vier steden in Noorwegen. TeliaSonera breidt ook uit in Finland, Denemarken en enkele Oost-Europese landen, waaronder Estland (vier lokaties in december 2010)¹⁰.

De meeste grote operators zijn bezig met LTE trials, of hebben deze reeds uitgevoerd. Hieronder zijn o.a. Telefónica, NTT DoCoMo, Verizon Wireless, Telecom Italia, China Mobile, T-Mobile en Vodafone. De grote netwerkleveranciers, zoals Ericsson, Huawei, Nokia Siemens Networks en Alcatel-Lucent hebben de beschikbaarheid van hun LTE apparatuur aangekondigd.

De uitrol van LTE in Nederland is tot op het moment van schrijven beperkt gebleven. Tele2¹¹ en KPN¹² en hebben trials aangekondigd in de vorig jaar geveilde

⁹<http://www.gsacom.com>

¹⁰<http://www.rethink-wireless.com>

¹¹<http://newsroom.tele2.nl>

¹²<http://www.kpn.com>

2,6 GHz frequentieband. Een commerciële dienst is daarbij nog niet genoemd. Als onderdeel van de uitrolverplichting behorend bij de 2,6 GHz spectrumlicentie is het voor de operators wel verplicht om een openbare dienst aan te bieden vóór mei 2012. Het uitrolgebied van deze dienst moet dan gelijk zijn aan 20 km² per blok van 2x5 MHz. Drie jaar later moet 200 km² bedekt zijn per blok van 2x5 MHz.

Opvallend in de uitrol van LTE netwerken is dat het tempo in Europa beduidend lager ligt dan in de Verenigde Staten. Met name Verizon Wireless (één van de twee marktleiders in de VS; een operator waarin Vodafone een 45% belang heeft) gaat snel met dekking in reeds 38 steden en 60 vliegvelden en met een agressieve uitrol planning die erop gericht is om eind 2013 dekking te bieden gelijkwaardig aan het 3G netwerk¹³. Ook is opvallend dat daar vanaf een vroeg stadium (2012) al voice diensten over LTE worden gepland¹⁴. De vlotte uitrol in de VS gaat samen met een snelle verbreding van het terminalassortiment. Dat blijft niet beperkt tot modems voor dataverkeer, maar omvat reeds in 2011 smartphones, embedded modems in laptops, en tablet PCs.

Voor een overzicht van de 98 beschikbare LTE terminals en de ondersteunde frequentiebanden wordt verwezen naar internet⁹. De lijst omvat 22 modules (modem chipsets), zeven mobiele tablets, zes notebooks/netbooks met LTE ondersteuning, 1 PC insteekkaart, zes smartphones, 28 routers (incl. personal hotspots) and 28 USB modems/dongles. De smartphones en tablets zijn vooralsnog (maart 2011) geen van alle geschikt voor de Europese spectrumbanden. Ook dient opgemerkt te worden dat de massaproductie van terminals nog niet op gang gekomen lijkt te zijn. Zo heeft TDC in Denemarken aangegeven zijn LTE netwerk klaar te hebben voor commercieel gebruik, maar moeilijk aan goede terminals te komen¹⁵. De situatie op de Amerikaanse markt is anders, getuige het feit dat daar in het eerste kwartaal van 2011 reeds 250.000 handsets en 250.000 dongles verkocht zijn voor gebruik op het LTE netwerk van Verizon Wireless¹⁶.

Er is in vakbladen en op internet wel gesuggereerd¹⁷ dat er in LTE een grote rol weggelegd is voor femtocellen, oftewel basisstations met een zeer kleine bedekking. De toenemende aandacht voor deze en andere "small cells" is behandeld in Sectie 2.4. Op dit moment is het beeld echter wel dat operators de keus maken om eerst voor macrobedekking te gaan, en pas in een later stadium kleine cellen zoals femtocellen toevoegen. Dit blijkt onder meer uit het feit dat voor zover ons bekend geen van de leveranciers van femtocellen al commerciële LTE femtocellen aanbiedt, terwijl toch de eerste LTE netwerken nu uitgerold worden en macrocel apparatuur ook al enige tijd op de markt is.

2.6 TDD technologie

De huidige mobiele technologieën die in Europa gangbaar zijn (GSM, UMTS en HSPA) zijn alle gebaseerd op het principe dat uplink en downlink gescheiden zijn door middel van frequentie. Dit principe wordt Frequency Division Duplexing (FDD) genoemd. Ook de opvolger LTE wordt door veel marktpartijen op FDD gebaseerd. Een alternatieve manier is om uplink en downlink op basis van tijd te scheiden

¹³<https://www.lte.vzw.com>

¹⁴<http://news.vzw.com>

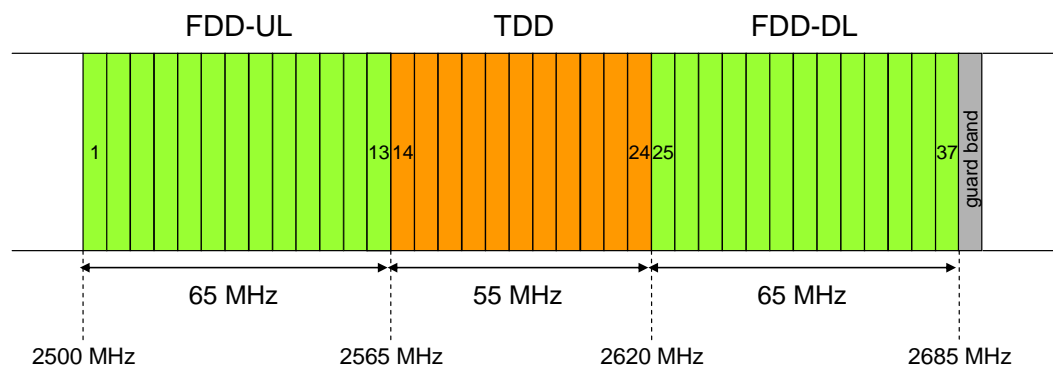
¹⁵<http://www.telecoms.com>

¹⁶<http://www.mobilebusinessbriefing.com>

¹⁷<http://www.pcworld.com>; <http://www.electronicweekly.com>; <http://www.wilson-street.com>

waarbij zij ieder eigen tijdsloten toegewezen krijgen. Dit heet Time Division Duplexing (TDD). Qua technische prestatie ontlopen deze beide principes elkaar weinig tot niets, en het is onwaarschijnlijk dat een eindgebruiker een verschil merkt. FDD en TDD kunnen echter niet zonder meer samen in dezelfde frequentieband gebruikt worden, vanwege interferentie tussen uplink en downlink. De overheid verbindt dan ook een TDD of FDD specificatie aan spectrumvergunningen voor mobiel gebruik.

Reeds sinds de vergunning van UMTS spectrum bijna tien jaar geleden is er naast FDD spectrum ook TDD spectrum beschikbaar voor operators. Operators die FDD spectrum voor UMTS kochten, kregen daarbij ook TDD spectrum geschikt voor UMTS toegewezen. Dit TDD spectrum is door de operators echter nooit in gebruik genomen, met als voornaamste reden het ontbreken van voldoende terminal ondersteuning. Ook voor de opvolgende technologie LTE lijkt in Europa weer de grootste aandacht uit te gaan naar FDD gebaseerde technologie. Dit wordt onderstreept door het feit dat TDD spectrum in de afgelopen veiling van het 2,6GHz spectrum in Nederland onverkocht is gebleven (zie Figuur 2-6).



Figuur 2-6: FDD/TDD toewijzing voor de 2.6 GHz band in Nederland. Het in oranje weergegeven TDD spectrum, 55 MHz, is bij de veiling van april 2010 onverkocht gebleven.

Er zijn echter belangrijke aanleidingen die voor 4G de TDD situatie echt anders kunnen maken dan voor 3G:

- Door de grote toename in datagebruik is meer spectrum nodig. Nieuwe technologieën als LTE en opvolger LTE-Advanced adresseren het gestegen datagebruik en kunnen ook met grotere spectrumblokken overweg. Dit betekent dat het gekochte FDD spectrum ook eerder volledig gebruikt kan worden. De behoefte aan extra spectrum kan dus sneller ontstaan dan bij eerdere technologieën.
- In Aziatische landen is veel TDD spectrum beschikbaar en zijn reeds belangrijke LTE-gebaseerde netwerken aangekondigd of in ontwikkeling. Met name de ontwikkeling van TD-LTE in China is een belangrijke stimulans voor deze technologie. De Chinese overheid pusht de uitrol van TD-LTE in het land, en het ligt in de lijn der verwachting dat hiermee de terminalontwikkeling behoorlijk gestimuleerd wordt. Hier kan terminalontwikkeling voor de Europese spectrumbanden op meeliften.
- Bestaande operators van mobiel breedband over TDD die nu op basis van Mobile WiMAX actief zijn, lijken nu ook te kiezen voor de TD-LTE

technologie. Voorbeelden zijn Clearwire in de VS¹⁸ en Yota in Rusland¹⁹. Dit betekent een uniformering van TDD gebaseerde technologie en dat heeft waarschijnlijk een positief effect op de marktacceptatie van deze technologie.

Mogelijk verhoogde interesse onder marktpartijen voor TD-LTE technologie blijkt uit het feit dat Europese operators werken met deze technologie. Zo heeft E-Plus, de Duitse dochteronderneming van KPN, een TD-LTE trial aangekondigd voor het eerste kwartaal van 2011²⁰. Operator Hi3G werkt in Zweden en Denemarken aan wat zij noemen "the world's first dual-mode LTE networks that will incorporate both FDD and TDD flavors of LTE"²⁰. De interesse wordt bevestigd door de CFO van Ericsson die in een interview stelt: "This is the year of TD-LTE."²¹.

De kans die de toegenomen interesse voor TD-LTE systemen oplevert voor Nederland is dat er zo een mogelijkheid geschapen wordt om ook de TDD spectrumbanden in te zetten voor grootschalige mobiele netwerken. Dit betreft in eerste instantie 55 MHz TDD-spectrum in de 2,6 GHz band en mogelijk later ook 35 MHz TDD spectrum in de 2.1GHz band²². Bruikbaar mobiel spectrum heeft een grote socio-economische waarde.

2.7 Het gebruik van de 470-862 MHz band – herbestemming van het Digitaal Dividend

In 2006 is tijdens de Regional Radio Conference een nieuw frequentieplan voor Europa vastgesteld dat in combinatie met digitale DVB-T en MPEG-2 technologieën de mogelijkheid bood het aantal omroepzenders sterk uit te breiden (Digitaal Dividend). Inmiddels is er al een tweede generatie transmissietechnologie (DVB-T2) ontwikkeld met de dubbele capaciteit van DVB-T en een verbeterde videocompressie-technologie H.264. Daarmee kan het Digitaal Dividend verder worden vergroot. In datzelfde jaar 2006 is in Nederland de analoge TV via de ether afgeschakeld en uiterlijk in 2012 zal dit in geheel Europa het geval zijn.

Tegelijkertijd maakt mobiele communicatie een stormachtige ontwikkeling door en is mobiele telefonie geëvalueerd tot mobiel breedband. Dit succes gaat gepaard met een groeiende behoefte aan radiospectrum. Vanuit het Europese perspectief wordt mobiel breedband ook beschouwd als een oplossing om de vernieuwde Digitale Agenda te verwezenlijken. In veel landelijke gebieden zijn de aanwezige telefoonnetwerken niet geschikt voor 30 Mbit/s breedband diensten, zoals in de vernieuwde Digitale Agenda geëist, en is een draadloze verbinding de meest economische oplossing.

Op grond van het voorgaande heeft de Europese Commissie een discussie geïnitieerd inzake de toewijzing van de 470-862 MHz band: moet de gehele band exclusief gereserveerd blijven voor aardse televisie-omroep of kan de band worden gedeeld met mobiele communicatie zonder afbreuk te doen aan de aardse televisie? De Europese aardse omroeporganisaties zien dit spectrum graag behouden blijven om aardse ether TV verder te ontwikkelen – meer zenders en

¹⁸ Clearwire heeft een LTE trial gedaan. Zie <http://www.clearwire.com>

¹⁹ <http://www.yota.ru>

²⁰ <http://www.zte.com.cn>

²¹ <http://www.totaltele.com>

²² Deze hoeveelheid is af te leiden uit het "Consultatiedocument met betrekking tot Strategische nota MOBIELE COMMUNICATIE" (september 2010) van het Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie.

HDTV. De discussie heeft geresulteerd in het besluit van de EC dat lidstaten een subband van Band V, de frequentieband van 790-862 MHz, ook voor mobiele diensten kunnen gebruiken²³. De Nederlandse overheid is voornemens deze band in 2012 ten behoeve van mobiele diensten aan de markt ter beschikking te stellen.



Figuur 2-7: De discussie rond Digitaal Dividend betreft een mogelijke herbestemming van radiospectrum.

Naast de nieuwe mogelijkheden die de herbestemming van radiospectrum in de 790-862 MHz band de mobiele aanbieders biedt, zijn er enkele nadelen:

- Aanbieders van aardse digitale televisie waaronder Digitenne zullen deze frequenties moeten ontruimen. Dit is vooral een operationeel probleem; het spectrum van 470-790 MHz wordt niet volledig benut zodat er spectrum beneden de 790 MHz is om de zenders (multiplexen) naar toe te verhuizen die nu in de 790-862 MHz uitzenden.
- Er is een zorg dat het hoogste kanaal voor aardse digitale televisie (782-900 MHz) storing zal ondervinden van het laagste gelegen mobiele signaal (791-796 MHz).
- Deze frequenties worden ook gebruikt voor draadloze microfoons en cameraverbindingen bij televisieproducties en evenementen. Voor deze toepassing wordt alternatief spectrum in de banden 608-614, 614-638 en 821-832 MHz beschikbaar gesteld²⁴.
- Tot slot wordt dit spectrum gebruikt om via de kabelnetwerken televisie- en breedbanddiensten te leveren. Gebruik voor mobiele diensten zal tot storing van de kabeldiensten op dezelfde frequenties kunnen leiden. Op termijn is een betere elektrische afscherming van de coaxiale kabels bij de kijker thuis en van de apparatuur zoals televisietoestel en digitale ontvanger naar verwachting een afdoende oplossing. Momenteel overlegt de Nederlandse overheid met de diverse belanghebbenden hoe deze oplossing te bereiken.

Mogelijk komt in de toekomst het scenario aan de orde om nog een tweede subband van 690-790 MHz voor mobiel gebruik te herbestemmen. Dit zal mede afhangen van het maatschappelijke en economische belang van de mobiele diensten en van de aardse digitale televisie en van de toepassing van DVB-T2 transmissietechnologie en H.264 compressie in de broadcast-netwerken.

²³ Commission decision on harmonised technical conditions of use in the 790-862 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the European Union, 2010/267/EU.

²⁴ Vrijmaken 800 MHz band: informatie voor de PMSE-sector, <http://www.agentschaptelecom.nl>

Momenteel ontwikkelt het Europees Parlement het beleid om de mogelijkheid van een herbestemming van de 690-790 MHz open te houden²⁵.

²⁵ *Draft report on the proposal for a decision of the European Parliament and of the Council establishing the first radio spectrum policy programme*, Gunnar Hökmark, Committee on Industry, Research and Energy (ITRE), 2010/0252(COD), 10 Februari 2011.

3 Ontwikkelingen per technologie

Dit hoofdstuk bevat per technologie een samenvatting van de belangrijkste ontwikkelingen in het afgelopen jaar. De volledige beschrijving per technologie is opgenomen in de bijlage.

3.1 GSM

GSM en andere 2G systemen zijn wereldwijd nog de grootste omzetgenerator in de mobiele telecomsector. Waar in Europa een lichte daling van GSM ten gunste van UMTS zichtbaar is, groeit GSM elders nog fors. In India bijvoorbeeld is het aantal GSM aansluitingen in een jaar tijd met 33% toegenomen. GSM wordt over het algemeen bedreven in een lagere frequentieband dan zijn derde-generatie opvolger waardoor de bedekking van GSM beter is. Dit zorgt ervoor dat operators vaak afhankelijk zijn van GSM als het gaat om het leveren van de spraakdiensten op moeilijke locaties. Van een uitfasering van GSM is dan ook nog geen sprake. Omdat de apparatuur echter in veel gevallen al geruime tijd wordt ingezet vinden er wel grootscheepse vervangingen plaats. Meer en meer doet hier de 'multi-standard' zijn intrede: netwerkkapparatuur die naar believen GSM, UMTS en ook LTE kan verzorgen. Energiezuinigheid speelt daarbij een steeds grotere rol.

Op dit moment vindt in Nederland en andere Europese landen een gedeeltelijke vervanging plaats van het traditionele GSM circuit-switched verkeer door dataverkeer. Dit dataverkeer wordt veelal afgehandeld op het UMTS netwerk via "flat-fee" abonnementsvormen en is daarom voor de gebruiker aantrekkelijk. Zo is Voice-over-IP via de applicatie Skype een populair alternatief voor het traditionele spraakverkeer en komen diensten als WhatsApp en Ping op de smartphone in de plaats van het traditionele SMS-en. Deze veranderingen stellen mobiele operators voor de uitdaging om nieuwe verdienmodellen te ontwikkelen waarmee de investeringen in het mobiele netwerk kunnen worden terugverdiend.

3.2 UMTS/HSPA

UMTS is een uitontwikkelde technologie die wereldwijd commercieel wordt toegepast. Uitrol vindt thans in een versneld tempo plaats, dankzij een stabiele netwerkinfrastructuur en een groot aantal gebruikersvriendelijke terminals met vele mogelijkheden zoals smartphones en tablet-PCs.

Het wereldwijde aantal UMTS abonnees is toegenomen van 420 miljoen in 2009 tot 709 miljoen in 2010, waarmee de mondiale penetratie ca. 10% bedraagt. In Europa nadert de penetratie de 50% met een totaal aantal abonnees van ca. 300 miljoen.

Door de groei van het mobiele datagebruik is er ook een noodzaak om datasnelheden en capaciteit te verhogen. Door de recente commerciële introductie van Dual-Cell HSPA worden snelheden van 42 Mbps in de downlink en 11 Mbps in de uplink mogelijk. Verder wordt naar verwachting binnenkort de standaardisatie van Multi-Carrier HSPA afgerond, waarmee HSPA op meerdere frequentieblokken tegelijk kan worden gebruikt. De technologie kan dan voorlopig nog de concurrentie aan met LTE.

3.3 CDMA2000

Het wereldwijde aantal CDMA2000 gebruikers blijft groeien, het afgelopen jaar met ca. 10%. De groei vindt met name plaats buiten de westerse wereld, bijvoorbeeld in China en India waar de operators China Mobile (China) en Reliance Telecom en Tata Teleservices (India) tientallen miljoenen gebruikers bedienen. De datavariant EV-DO is hier nu ook geïntroduceerd. Een interessante ontwikkeling in de VS is de uitrol van LTE bovenop het bestaande CDMA2000/EV-DO netwerk van Verizon Wireless, waarbij interworking tussen CDMA2000/EV-DO en LTE wordt ondersteund.

Een belangrijke ontwikkeling op het gebied van standaardisatie is het verschijnen van twee nieuwe releases. *CDMA 1X Advanced* is primair bedoeld voor spraak en richt zich op een efficiënter gebruik van spectrum en opstelpunten. Het betreft hier hoofdzakelijk een software upgrade. *CDMA DO Advanced* is een geavanceerde netwerktechnologie voor efficiënter spectrumgebruik en hogere datasnelheden, vergelijkbaar met de HSPA uitbreiding van UMTS. De verwachte commerciële introductie hiervan is in 2013. Ook hier betreft het hoofdzakelijk een software upgrade.

3.4 LTE/LTE-A

In hoofdstuk 2 is ingegaan op de uitrol van LTE. Op het gebied van LTE spelen vele ontwikkelingen, hier een kort overzicht.

De 3GPP specificatie van LTE Release 10, ook wel LTE-Advanced genoemd, is vrijwel afgerond. LTE Release 10 is een belangrijke kandidaattechnologie voor de nieuwe wereldwijde standaard IMT-A. Hieraan is een aantal nieuwe features toegevoegd om aan de ITU voorwaarden voor IMT-A tegemoet te komen. Onder tijdsdruk is Coordinated Multi-Point transmission/reception (COMP), een feature waarbij zenden/ontvangen tussen basisstations op verschillende locaties wordt gecoördineerd, uiteindelijk buiten Release 10 gevallen. COMP is niet noodzakelijk voor IMT-A, maar zal worden meegenomen in Release 11 waarvoor het standaardisatiewerk in januari 2011 is begonnen.

In maart 2011 waren er 17 commerciële LTE netwerken in de wereld, terwijl er een jaar eerder nog vrijwel geen commerciële netwerken waren. TeliaSonera in Zweden meldt 10.000 gebruikers, Verizon Wireless in de VS 15.000. Voor andere netwerken zijn nog geen gegevens bekend. Naar verwachting zal de commerciële uitrol van LTE in 2011 gaan versnellen. In maart 2011 waren er al 140 LTE "netwerk aankondigingen" in 56 landen, vergeleken met 64 in 31 landen een jaar eerder.

In Nederland hebben Tele2 en KPN testen met een LTE netwerk aangekondigd. KPN wil een test gaan uitvoeren in een gebied in/rond Den Haag in de zomer van 2011, met Nokia Siemens Networks als netwerkleverancier. Deze zal later worden gevolgd door een test met zogeheten "friendly users".

Er zijn meerdere nieuwe LTE handset types beschikbaar gekomen. Een voorbeeld is de HTC ThunderBolt, die door Verizon Wireless is geselecteerd als de eerste handset voor haar nieuwe LTE klanten.

3.5 WiMAX

Afgelopen maart is de nieuwe WiMAX standaard IEEE 802.16m goedgekeurd door de IEEE Standards Association. Deze nieuwe standaard, ook wel WiMAX2 genoemd, biedt aanzienlijke verbeteringen op het gebied van bedekking en capaciteit. Verwacht wordt dat commerciële WiMAX2 apparatuur rond midden 2012 beschikbaar zal zijn. Het WiMAX Forum verwacht eind dit jaar de eerste apparatuur te kunnen certificeren.

Het aantal WiMAX gebruikers is gegroeid van ca. 10 miljoen in 2009 tot ca. 13 miljoen eind 2010. In de Verenigde Staten is Clearwire een grote en groeiende partij met ca. 3,5 miljoen gebruikers. In Rusland is het aantal abonnees van operator Yota in korte tijd toegenomen van ca. 200.000 in Q3 2009 tot ca. 600.000 in Q2 2010. Verwacht wordt dat het aantal mondiale abonnees verder zal gaan toenemen als gevolg van grootschalige uitrol in landen zoals India en Mexico – veelal betreft het hier een alternatief voor een vaste aansluiting. Niettemin blijft WiMAX een kleine technologie vergeleken met GSM, UMTS/HSPA en (binnenkort) LTE.

3.6 WiFi

Voor WiFi zijn er in 2010 er twee belangrijke recente ontwikkelingen.

De eerste is de standaard 802.11n, waarmee de datasnelheid omhooggetrokken wordt door het gebruik van meerdere antennes (Multiple Input Multiple Output, MIMO). Met 802.11n zijn datasnelheden mogelijk tot 300 Mbit/s.

De tweede ontwikkeling is de nieuwe standaard 802.11p, die de basis vormt voor het uitwisselen van boodschappen tussen auto's (car-to-car communicatie) en tussen auto en infrastructuur (RSU – RoadSide Units) in Intelligent Transport Systems (ITSs). Door de snelle beweging van auto's en het beperkte bereik van zo'n RSU, is er slechts weinig tijd beschikbaar voor data-uitwisseling tussen auto en RSU. Daarom is 802.11p ontdaan van een aantal authenticatie- en autorisatiemechanismes. 802.11p werkt in de frequentieband van 5,85–5,925 GHz.

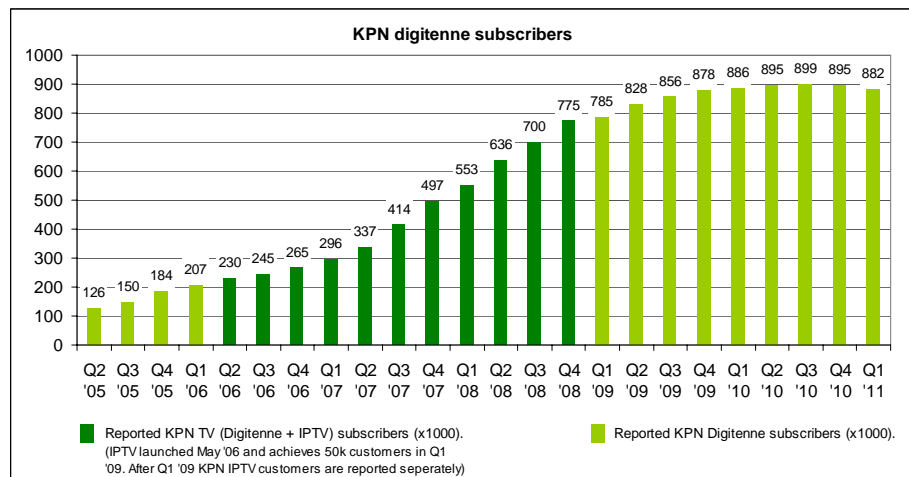
3.7 Digitale Broadcast

DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) is een omroepstandaard gebruikt voor het uitzenden van TV diensten naar 'vaste' TV toestellen. De andere standaarden DVB-H, T-DMB en DAB+ zijn voornamelijk gericht op ontvangst door mobiele ontvangers, zoals mobiele terminals of auto's. Samenvattend kunnen we concluderen dat de ontwikkeling van DVB-T in Europa in de lift zit, doordat meer landen analoge transmissie afschakelen en overstappen op digitale terrestrische uitzendingen. De ontwikkeling van de toepassing van broadcast standaarden gericht op mobiele ontvangers verloopt problematisch. Het aanbieden van Mobile TV diensten via 3G en LTE netwerken is een succesvoller alternatief, dat vanwege het interactieve karakter beter aansluit bij de consumentenbehoeften. Er wordt niet meer geïnvesteerd in DVB-H in Europa, en de dienst zal binnenkort in ieder land afgeschakeld worden. T-DMB en DAB+ zien voornamelijk positieve maar trage ontwikkelingen als multimediale dienst voor radio en navigatie/verkeerstoepassingen gericht op auto's en als mogelijke vervanger van FM radio. De grote hoeveelheid FM ontvangers zorgt er echter voor

dat nog geen enkele regering een harde switch-off datum heeft aangekondigd voor FM transmissie spectrum, maar deze altijd aan een grote set voorwaarden heeft verbonden.

De belangrijkste ontwikkelingen voor de vier technologieën zijn als volgt:

- In Nederland ziet KPN voor het eerst sinds Q3 2010 een lichte terugloop van het aantal Digitenne klanten (zie Figuur 3-1). Het afschakelen van DVB-H door KPN zorgt ervoor dat er extra frequentieruimte komt die weer ingezet wordt voor Digitenne om het aantal zenders uit te breiden (onder andere met BBC1 en BBC2). De overschakeling op digitale terrestrische transmissie in Europa en daarbuiten gaat onverminderd door. Meer landen gaan tevens HDTV kanalen via DVB-T verzorgen en veel landen die starten met de uitrol gebruiken meteen de opvolger DVB-T2, die 30%-50% meer capaciteit biedt. De toename van verkopen van TV's met ingebouwde ontvangers stimuleert deze ontwikkeling.



Figuur 3-1: Ontwikkeling van het aantal Digitenne abonnees²⁶.

- De beschikbaarheid van de DVB-H technologie in Europa is sterk aflopend en zal waarschijnlijk in 2012 in geheel Europa gestaakt worden. Het ontbreken van een sluitende business case, het afwijkende consumentengedrag bij Mobiele TV ten opzichte van vaste TV, het gebrek aan terminals en de instapbarrières voor content partijen zijn verantwoordelijk voor het mislukken van deze technologie in Europa.
- De ontwikkelingen op T-DMB gebied gaan erg traag. De licentiehouders Callmax en MTVNL in Nederland hebben geen nieuwe ontwikkelingen naar buiten gebracht voor wat betreft diensten. Het ontbreken van toestellen is hier mede debet aan. In Italië en Frankrijk hebben overheden besloten om het ondersteunen van T-DMB verplicht te stellen voor bepaalde ontvangstapparatuur voor radiozenders.
- De ontwikkeling van DAB en DAB+ hangt ook samen met de vervanging van FM-radio. In Nederland heeft de overheid de FM licentie verlengd. Om digitalisering van frequenties mogelijk te maken, wordt aan de verlenging de voorwaarde gekoppeld dat per 1 september 2015 minstens 80 procent van

²⁶ TNO, op basis van KPN kwartaalrapportages.

de zenders via de zogeheten digitale radio DAB-standaard is te ontvangen. In navolging van Frankrijk en Verenigd Koninkrijk, geldt ook in Noorwegen dat het voorgenomen besluit van de overheid voor een stimulans van digitale radio zorgt. En daarmee is de overheid een belangrijke partij bij de adoptie en het succes van diensten.

3.8 TETRA

TETRA is een standaard voor gesloten cellulaire digitale mobiele radionetwerken ten behoeve van professionele gebruikers van "command and control" verbindingen, waarbij spraak de meest essentiële dienst is. Het wordt met name gebruikt in de OOV (Openbare Orde en Veiligheid) sector.

Voor de oorspronkelijke versie van TETRA (Release 1) heeft verbetering op het gebied van randapparatuur afgelopen jaar alleen plaatsgevonden op radiofrequentiegebied en uitvoeringsvorm. Kenmerkend voor 2010 was een versterkte voortzetting van de realisatie van de vervolgversie van TETRA (Release 2), die zich richt op meer geavanceerde datacommunicatiediensten met goede beschikbaarheid. Naast Release 2 netwerkproducten zijn in 2010 ook terminalproducten op de markt verschenen. De specificatie voor interoperabiliteit van Release 2 netwerken is echter nog in ontwikkeling. Er zijn niettemin in 2010 diverse projecten waar bestaande TETRA-netwerken een upgrade krijgen naar Release 2 (bijvoorbeeld het *Virve* netwerk in Finland) of waar Release 2 wordt geïmplementeerd zoals in Aziatische landen. In Duitsland bouwt men het grootste TETRA-netwerk ter wereld en wel voor 500.000 gebruikers. Het Russische systeem voor de Olympische Winterspelen is voorbereid op Release 2 en moet in 2012 klaar zijn.

Een belangrijk vraagstuk dat zich opdrong en dat nog steeds open is, is of een geharmoniseerde frequentieband voor Release 2 op Europese schaal kan worden vrijgemaakt. Dit is vooral van belang voor het verkrijgen van internationale interoperabiliteit van TETRA, bijvoorbeeld bij grensoverschrijdende conflicten. Hiervoor is het ook nodig dat een beter beeld ontstaat van de exacte gebruikersbehoefte aan meer geavanceerde datadiensten. Anderzijds speelt nationaal de discussie of extra frequentieruimte niet eerder moet worden bedongen voor vergroting van de transmissiecapaciteit uitsluitend ten behoeve van spraak en de huidige C2000 datadiensten dan voor breedbandige datadiensten. Als alternatief voor Release 2 of als aanvulling daarop, om nog meer geavanceerde diensten te kunnen realiseren, is met nadruk gekeken naar LTE. LTE was al in 2010 in Noord-Amerika de gekozen standaard voor breedband datadiensten voor openbare veiligheidsdiensten zodat de verwachting voor de hand ligt dat LTE op termijn als meest aanvullend op TETRA zal functioneren, in ieder geval voor niet-kritische breedband datadiensten.

Verwacht wordt dat de markt voor TETRA netwerken en -terminals voor de komende vier jaar zal groeien met meer dan 15% per jaar, uitgaande van een zich doorzettende economische verbetering en -groei van China. Ook in andere Aziatische landen wordt TETRA steeds populairder: Azië is al goed voor 25% van de mondiale TETRA-markt. De Aziatische markt groeit sneller dan markten in andere werelddelen.

3.9 Bluetooth

Bluetooth is een PAN (Personal Area Network) standaard die grootschalig wordt toegepast voor het draadloos koppelen van apparaten over relatief korte afstanden. Te denken valt aan de koppeling van een headset aan een telefoon, of een telefoon met een PC. Bluetooth maakt gebruik van de ongelicenseerde ISM frequentieband rond 2,4 GHz.

De meest recente ontwikkeling op het gebied van standaardisatie is Bluetooth versie 4.0. De specificaties van deze standaard zijn in juli 2010 openbaar gemaakt. In de nieuwe standaard speelt het beperken van het energieverbruik een grote rol. Het doel hierbij is om met een knoopcel batterij een Bluetooth toepassing een aantal jaren te kunnen gebruiken. Nieuwe doelgroepen die door de nieuwe standaard interessant worden zijn onder andere de gezondheidszorg, home entertainment, sport en fitness.

Bijlage: Beschrijvingen per technologie

Deze bijlage bevat de beschrijvingen per technologie, aan de hand van de in Sectie 1.4 gedefinieerde indicatoren. De volgende technologieën worden achtereenvolgens beschreven:

1. GSM
2. UMTS/HSPA
3. CDMA2000
4. LTE/LTE-A
5. WiMAX
6. WiFi
7. DVB-T
8. DVB-H
9. T-DMB
10. DAB(+)
11. TETRA
12. Bluetooth

B.1 GSM

B.1.1 Algemeen

Technologietype

GSM is een publieke, cellulaire digitale landmobiele technologie voor spraak- en datadiensten.

Achtergrond

1994 was het jaar waarin GSM commercieel in Nederland werd geïntroduceerd; twee jaar na Finland dat de primeur had. De betreffende operator in Finland was Radiolinja. Ongeveer 10 jaar eerder was de standaardisatie van GSM gestart in de daarvoor opgerichte groep 'Groupe Speciale Mobile' (GSM). Later is de afkorting GSM toegekend aan 'Global System for Mobile communications'. Een treffende benaming gezien het succes dat de standaard over de hele wereld heeft. In het pre-GSM tijdperk was het nauwelijks mogelijk om met je mobiel in het buitenland te bellen; met de introductie van GSM is mobiele bereikbaarheid in het buitenland gemeengoed geworden.

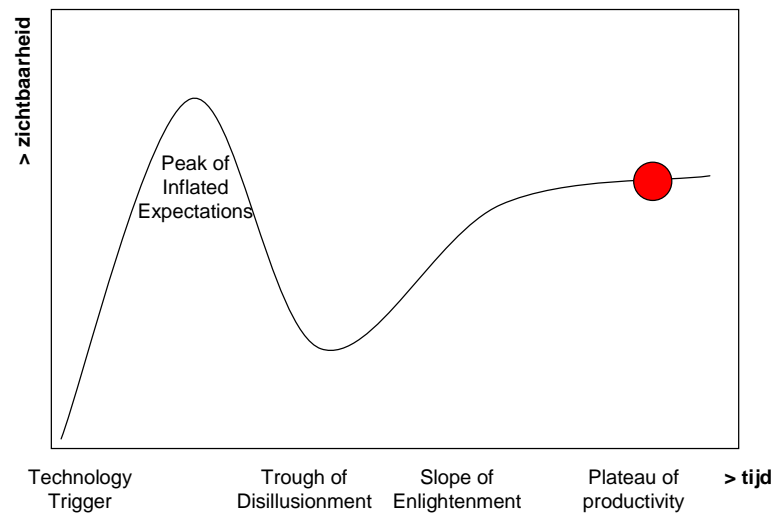
GSM wordt wel de tweede generatie (2G) genoemd omdat GSM in tegenstelling tot zijn analoge voorgangers een digitaal systeem is. Met GSM is mobiel bellen een massaproduct geworden. Met de introductie van een SIM kaart (dat de houder in staat stelt van iedere mobiele telefoon gebruik te maken) en de hoge mate van internationale standaardisatie heeft de markt van mobiele GSM telefoons een grote vlucht genomen. Naast spraakdiensten voorziet GSM in het nog altijd razend populaire sms'en. Ook datadiensten zijn onderdeel van GSM. Voor dit doel is onder andere GPRS (General Packet Radio Service) ontwikkeld.

Volgens de GSMA (GSM Association) telt GSM 3,5 miljard gebruikers in ca. 220 landen. Daarbij gaat het om ca. 1000 netwerken²⁷. 80% van de wereldbevolking leeft in gebieden waar GSM wordt geboden aldus een schatting van de GSMA.

Beschikbaarheid

GSM is inmiddels 'proven technology' en de belangrijkste bron van inkomsten voor de meeste operators als het gaat om spraakverkeer. In de Gartner hype cycle zit GSM dan ook in het 'plateau of productivity' (zie onderstaande figuur).

²⁷ <http://www.gsmworld.com>



Figuur 3-1: Positie van GSM op de Gartner hype cycle.

GSM is nagenoeg uitontwikkeld en wordt op dit moment in veel landen aangevuld met de volgende generatie (3G) technieken met als doel om snelle datadiensten te kunnen leveren. GSM levert weliswaar datadiensten via de standaarden HSCSD, GPRS en EDGE, maar de snelheden van deze technieken zijn bescheiden vergeleken met de datasnelheden van 3G.

Diensten en toepassingen

GSM voorziet zowel in mobiele spraak- als datadiensten, waarbij de spraakdienst sterk dominant is. SMS is een van de belangrijkste datadiensten. De datadiensten zijn vooral geschikt voor e-mail applicaties en bescheiden webbrowsing. Ook voor M2M-toepassingen wordt GSM ingezet. GSM is niet of nauwelijks geschikt voor hoge snelheidsdiensten als video. Een speciale variant op GSM, GSM-R(ail) genaamd is bedoeld voor gebruik door de Europese spoorwegen.

Alhoewel niet op grote schaal gebruikt kent GSM de dienst 'Cell broadcast'. Hierbij kunnen alle gebruikers in een bepaald gebied tegelijkertijd een SMS ontvangen. Toepassingen hiervoor zijn bijvoorbeeld locale waarschuwingen bij noodsituaties of een indicatie dat een laag tarief actief is. Het noodnummer kan altijd worden gebeld. In Nederland zelfs zonder dat het mobiel een SIM kaart bevat.

GSM-R(ail) kent enkele extra diensten. Deze zijn speciaal ontwikkeld voor de spoorwegen en bestaan uit onder andere groepsgesprekken en push-to-talk.

Terminals

Met GSM heeft de ontwikkeling en diversificatie van mobiele terminals een grote vlucht genomen. Dat is voornamelijk te danken aan de wijd geaccepteerde standaardisatie. Verder speelt het gebruik van de SIM kaart (Subscriber Identity Module) een belangrijke rol. Het gebruik van een SIM module is nu standaard, maar was bij de komst van GSM een novum. Een willekeurig GSM toestel kan in principe geschikt worden gemaakt voor persoonlijk gebruik door je eigen SIM erin te plaatsen.

Waar aanvankelijk GSM terminals door (dure) gespecialiseerde instituten goedgekeurd moesten worden, wordt dat nu overgelaten aan de producenten zelf (zelfcertificering). De GSM terminal markt is daardoor voor veel meer (kleinere)

producenten aantrekkelijk geworden. Mede daardoor is een enorme diversificatie van toestellen ontstaan die overigens niet altijd ten goede komt aan de kwaliteit.

GSM toestellen waren aanvankelijk alleen beschikbaar voor de 900 MHz band (zie ook aspect Frequentiebanden). Daarna kwamen dual band toestellen ter beschikking: ook geschikt voor GSM1800. Hieruit bestaat de bulk van de huidige GSM-only toestellen. Wat zeldzamer zijn toestellen die ook werken op 850 of 1900 MHz (Tri-band) en die daarmee ook bruikbaar zijn in de VS.

Tegenwoordig zijn multi-band dual-system modellen standaard. GSM wordt daarin vaak gecombineerd met UMTS. De vraag is dan wel of het gaat om een GSM toestel met UMTS mogelijkheden of een UMTS toestel geschikt voor GSM. Het begrip 'mijn GSM', waarmee het mobiele toestel wordt bedoeld, is echter hardnekkig.

Sinds de introductie van data over GSM (CSD/HSCSD/GPRS/EDGE) zijn insteekkaarten voor laptops beschikbaar. De huidige insteekkaarten zijn echter primair bedoeld voor UMTS, waarbij GSM als backup wordt gezien.

Belangrijk is te realiseren dat hoewel GSM only toestellen aan het verdwijnen zijn, nagenoeg alle nieuwe toestellen (inclusief de smartphones) voor GSM geschikt blijven.

Relatie met andere technologieën

Een belangrijke relatie heeft GSM als 2G technologie met zijn 3G opvolger UMTS/HSPA. 3G is in eerste instantie vooral geïntroduceerd om hoge datasnelheden mogelijk te maken. In die hoedanigheid werkt UMTS nauw samen met GSM: gedurende de uitbouw van UMTS dient GSM als fall back om de bedekkinggaten op te vullen. Voorsnog wordt het meeste spraakverkeer via GSM afgewikkeld, maar geleidelijk zal ook spraak door 3G worden overgenomen omdat 3G eenvoudigweg de opvolgende technologie is. GSM zal naar verwachting zeker nog de komende 5 tot 10 jaar actief zijn.

Technologieën die met GSM concurreren zijn in Europa schaars. CDMAOne met meer dan 2 miljard aansluitingen is vooral te vinden in Noord- en Zuid-Amerika en Azië^{28,29}. In deze gebieden is CDMAOne (IS-95) de grootste concurrent van GSM.

B.1.2 Techniek

Onderliggende techniek

De radiotechniek van GSM is gebaseerd op smalband TDMA (Time Division Multiple Access). Hierbij wordt het spectrum in kanalen van 200 kHz verdeeld (smalband). Iedere gebruiker krijgt een tijdslot in een bepaald kanaal toebedeeld (TDMA). Met spraakcodering wordt de spraak gecomprimeerd om de capaciteit van de radioverbinding in termen van gelijktijdige gesprekken zo groot mogelijk te maken. 'Frequency hopping', een techniek waarin gedurende de verbinding snel gewisseld wordt van kanaal, wordt ingezet om de kwaliteit van de verbinding te optimaliseren.

²⁸ <http://www.gsmworld.com>

²⁹ <http://www.cdg.org>

Standaardisatie

De standaardisatie van GSM is gestart in 1982 in de 'Groupe Speciale Mobile'. Deze groep werd oorspronkelijk ondergebracht binnen de CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations). Nadat de keuze was gevallen op een digitaal systeem (digitale transmissie op de radioweg) werd besloten dat smalband TDMA zou worden gebruikt.

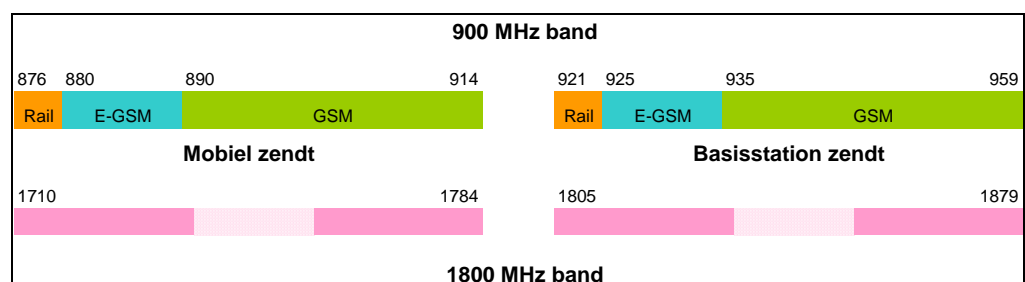
In 1989 werd de verantwoordelijkheid voor standaardisatie overgenomen door ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en in 1990 was de eerste standaard van 6000 bladzijden een feit.

In 1998 werd het 3rd Generation Partnership Project (3GPP³⁰) opgericht, met de bedoeling specificaties voor een derde generatie van mobiele netwerken vast te leggen. 3GPP nam uiteindelijk ook het onderhoud en de ontwikkeling van de GSM-specificatie over. ETSI is een partner van 3GPP.

Frequentiebanden

Het spectrum waarin GSM actief is, verschilt per regio. In Europa zijn er in hoofdzaak twee banden voor GSM bestemd: rond 900 MHz en rond 1800 MHz (Figuur 3-2). Licenties hiervoor zijn in Nederland geldig tot 2013. GSM in de 1800 MHz band werd aanvankelijk DCS1800 (Digital Communication System) genoemd, maar tegenwoordig worden meestal de termen GSM900 en GSM1800 gehanteerd. In alle gevallen is er sprake van gepaard spectrum: de banden voor zenden door het mobiel en zenden door het basisstation zijn gescheiden. In de loop der tijd is 10MHz aan de onderkant van de 900 MHz band toegevoegd: de 'extended' GSM band (E-GSM). Deze band wordt minder gebruikt omdat niet alle mobiele hiervan gebruik kunnen maken en omdat het niet overal in Europa beschikbaar is. In Nederland wordt het op dit moment ingezet door T-Mobile.

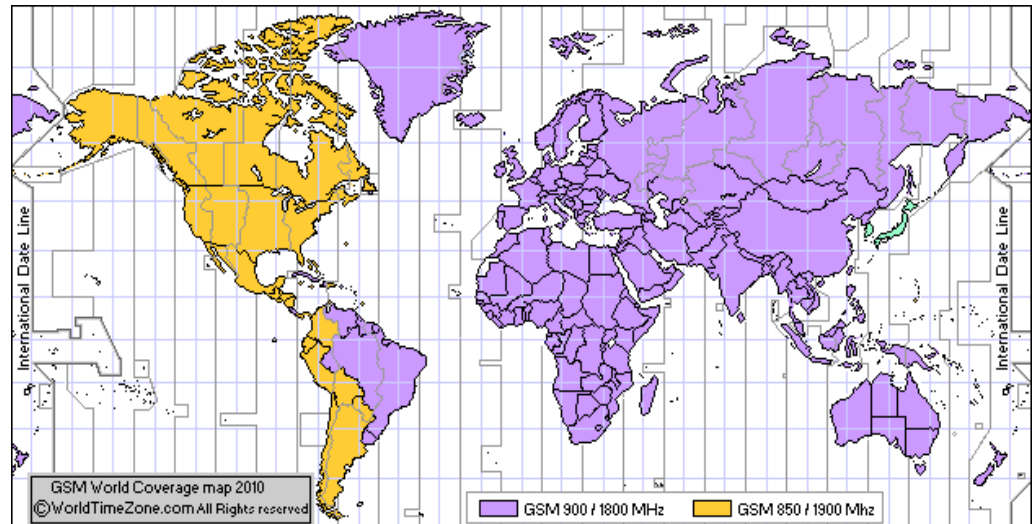
Onder de Extended GSM band bevindt zich nog een stukje van 4 MHz dat uitsluitend bedoeld is voor de spoorwegen om GSM-R te voeren. Figuur 3-2 geeft een overzicht.



Figuur 3-2: Europese GSM banden. Merk op dat (in tegenstelling tot wat de figuur suggereert) de GSM1800 band aanzienlijk groter is dan de GSM900 band; dit wordt in de figuur aangegeven door een stuk van de GSM1800 band te arceren.

Vooraf in landen van Noord- en Zuid Amerika worden de 850 band en de 1900 MHz band voor GSM ingezet, zie onderstaande figuur. Dit beperkt de roaming mogelijkheden naar die landen omdat niet alle toestellen standaard geschikt zijn voor drie banden (tri-band toestellen).

³⁰ <http://www.3gpp.org>



Figuur B-3: Verdeling van de twee hoofdgroepen van GSM frequenties (900/1800 en 850/1900) in de wereld³¹.

Datasnelheid

Technologie	<10 kbit/s	10-50 kbit/s	50 - 100 kbit/s
CSD	x		
HSCSD		x	
GPRS		x	
EDGE			x

Verschillende technieken hebben zich in de loop van de tijd ontwikkeld om data via GSM te versturen. Aanvankelijk werden circuitgeschakelde technieken gebruikt: Circuit Switched Data (CSD). Een maximale snelheid van 9.6 kbit/s wordt daarmee gehaald. Een upgrade op CSD is High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD). Hierbij worden 14.4 kbit/s kanalen gecombineerd om tot hogere snelheden te komen. Enkele tientallen kbit/s is hiermee in de praktijk mogelijk. HSCSD is niet wijd verspreid omdat het aantal HSCSD mobieleën beperkt is.

Een pakketgeschakelde methode werd geïntroduceerd met het nu veelgebruikte GPRS (General Packet Radio Service). Hiermee worden in de praktijk snelheden van ca. 40 kbit/s gehaald over een gedeeld medium.

De eveneens pakketgeschakelde opvolger van GPRS, Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) biedt theoretisch snelheden van meer dan 300 kbit/s. De techniek is duidelijk minder snel dan 3G, maar wordt toch hier en daar ingezet. De reden is dat er doorgaans niet veel voor nodig is: een software update. Omdat GSM daarnaast vaak in (lagere) frequentiebanden actief is waarmee met minder middelen een betere bedekking kan worden gerealiseerd, is EDGE aantrekkelijk voor niet al te snelle data-applicaties. Zo is Vodafone Nederland begin 2011 nog begonnen met de introductie van EDGE.

³¹ <http://www.worldtimezone.com>

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-3 km	>3 km	>10km
GSM	x	x	x	x	x

Het maximale bereik van een GSM zender is ca. 35 km. Met de 'extended cell' feature kan dit nog worden opgerekt tot het dubbele. In de praktijk zijn de celgroottes echter aanzienlijk kleiner. In de steden hebben GSM cellen een straal van ca 2-3 km waar die buiten de steden ca. 3-10 km is. Voor GSM1800 is het bereik wat kleiner omdat een hogere frequentie een hoger transmissieverlies met zich meebrengt: in de steden 0.5-1.5 km. Vaak wordt de grootte van een cel niet bepaald door het bereik maar door de gewenste capaciteit. De capaciteit kan immers worden vergroot door het aantal cellen te vergroten. Microcellen (enkele honderden meters) zijn hiervan een voorbeeld. Het celbereik wordt ook aanzienlijk kleiner indien goede indoor bedekking wordt gewenst. Zeer kleine cellen (femtocellen) worden ingezet voor speciale indoor toepassingen, waarbij de zendstations binnenshuis worden geplaatst.

Quality of service

GSM kent nauwelijks methoden om onderscheid in geboden kwaliteit te bieden aan verschillende gebruikers of diensten. Een weinig gebruikte mogelijkheid is het definiëren van bepaalde gebruikersklassen en deze al of geen (beperkte, op kansen gebaseerde) voorrang te verlenen bij het opzetten van een gesprek.

Het effect op de overall dienstverlening is volstrekt onvoldoende om op basis hiervan tariefdifferentiatie toe te passen; een reden waarom de techniek zelden wordt toegepast. Verder is het intrinsiek onmogelijk om voorrang aan iedereen te bieden. Een partij absolute voorrang te verlenen is te duur omdat het permanent landelijke netwerkresources vergt.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Vertrouwelijkheid			x	
Beschikbaarheid			x	
Integriteit			x	

Met de komst van GSM maakte de veiligheid van mobiel telefoneren een enorme sprong³². Het afluisteren van mobiele gesprekken met behulp van een eenvoudige scanner behoorde tot het verleden door de versleuteling die wordt toegepast op de radioweg (A5 algoritme). Het is wel belangrijk te constateren dat alleen de radioweg is versleuteld; in het hele vaste netwerk vanaf het basisstation vindt geen versleuteling meer plaats. Ieder toestel is voorzien van een uniek nummer (IMEI, International Mobile Equipment Identity) zodat bij diefstal het toestel geblokkeerd kan worden en het niet mogelijk is het toestel opnieuw te activeren met een andere SIM kaart.

³² <http://www.gsm-security.net>

De 'authentication' procedure stelt vast of de handset gerechtigd is om van het netwerk gebruik te maken. Hierbij speelt de IMSI (International Mobile Subscriber Identity) op de SIM een belangrijke rol. Echter, in tegenstelling tot UMTS wordt de authenticiteit van het *netwerk* niet gecontroleerd door de handset. Deze onvolkomenheid laat een (technisch bijzonder complexe) manier van afluisteren toe volgens het principe van 'the man in the middle'. De betreffende afluisterapparatuur doet zich daarbij voor als een basisstation van het netwerk. Een handset die verbinding zoekt en krijgt via dit ongeautoriseerde basisstation kan op die wijze worden afgeluisterd. De apparatuur staat bekend onder de naam: 'IMSI catcher'. Integriteit en vertrouwelijkheid scoren daarom niet maximaal in onderstaande tabel.

Zoals bij veel draadloze technieken is het GSM signaal relatief eenvoudig te storen met een 'jammer'. Deze mogelijkheid wordt bijvoorbeeld door de overheid gebruikt om GSM afstandsbedieningen te blokkeren bij bommeldingen, of (illegaal) door horeca-eigenaren om GSM gesprekken in een restaurant te verhinderen. Gezien de intrinsieke mogelijkheid van signaalverstoring wordt de beschikbaarheid met een 'goed' (en niet een 'zeer goed') beoordeeld.

B.1.3 Markt

Marktpenetratie

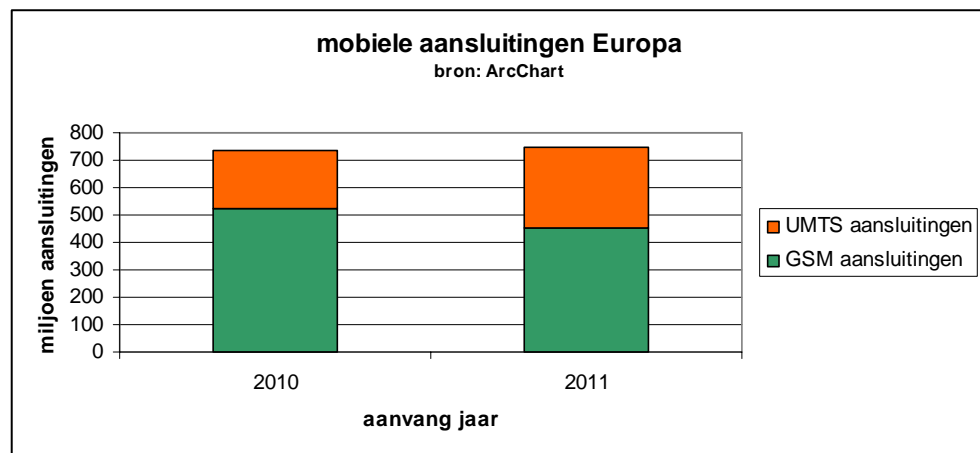
Technologie	Nederland	Europa	Wereld
UMTS +GSM	20 miljoen ³³	730 miljoen ³⁴	3800 miljoen ³⁵

De marktpenetratie van GSM mag groot genoemd worden. De GSMA geeft aan dat er in het tweede kwartaal van 2009 bijna 3,5 miljard GSM aansluitingen in de wereld zijn (van de 4,3 miljard mobiele aansluitingen). In principe zijn dit er nog meer omdat hierbij alleen 'GSM only' aansluitingen zijn geteld. Aansluitingen van het type UMTS zijn niet meegerekend terwijl die op grote schaal gebruik maken van de GSM netwerken: indien de UMTS dekking onvoldoende is wordt er automatisch overgeschakeld naar GSM (indien beschikbaar in dat land). In bovenstaande tabel wordt de som van UMTS en GSM aansluitingen weergegeven.

³³ TNO: Marktrapportage Elektronische Communicatie, mei 2010.

³⁴ <http://www.arcchart.com>

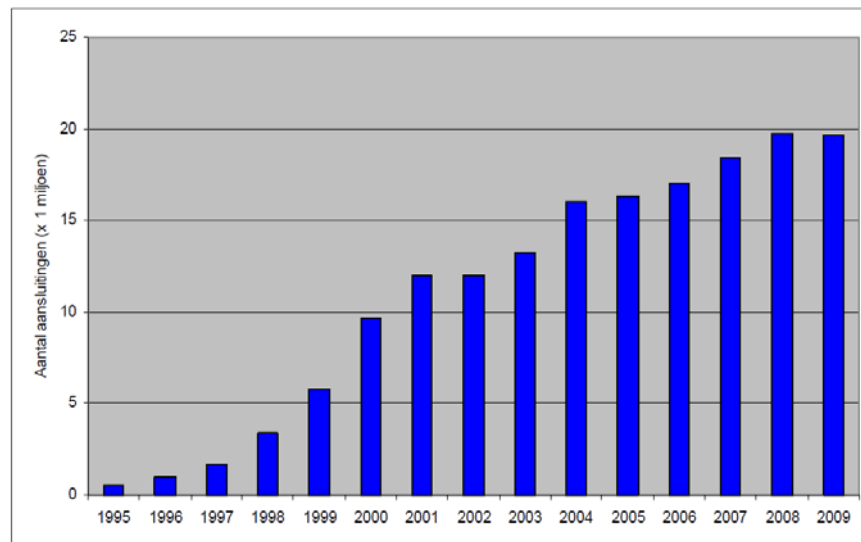
³⁵ <http://www.gsmworld.com>



Figuur B-4: Het aandeel GSM aansluitingen daalt ten gunst van UMTS in Europa.

Waar het aandeel GSM in Europa omvang verliest ten gunste van UMTS (Figuur B-4) geldt dat niet overal. In India bijvoorbeeld groeide het aantal GSM aansluitingen in een jaar met ruim 30%.

Figuur B-5 geeft de groei van het aantal mobiele aansluitingen in Nederland weer. Dit is inclusief UMTS aansluitingen, maar die maken allen in meer of mindere mate gebruik van het GSM netwerk. Merk op dat het aantal aansluitingen groter is dan de bevolkingsomvang. Per persoon zijn er in Nederland ongeveer 1,2 mobiele telefoonaansluitingen.



Bron: TNO, op basis van bedrijfsinformatie

Figuur B-5: Mobile aansluitingen in Nederland³⁶

Een bijzonder geval van druk op het gebruik van GSM diensten komt voort uit het groeiend gebruik van datadiensten op 3G netwerken. Door de 'flat fee' abonnementsvorm voor datadiensten neemt het gebruik van Voice over IP

³⁶ TNO: Marktrapportage Elektronische Communicatie, mei 2010.

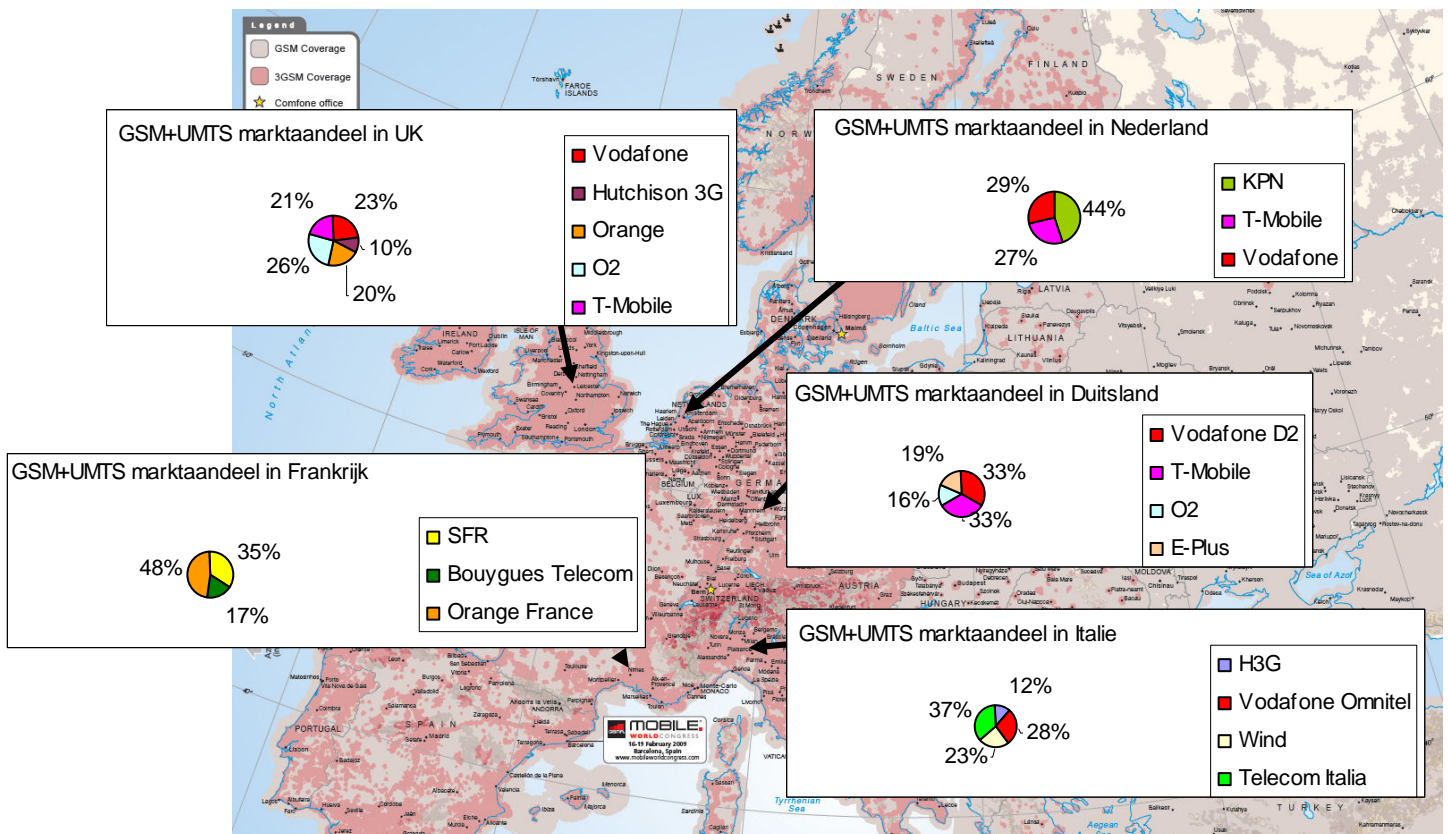
(bijvoorbeeld via Skype) toe. Deze druk op het gebruik van voice diensten treft naast GSM natuurlijk ook UMTS. Groot is de reducerende invloed op een veelgebruikte GSM dienst: SMS. Deze wordt steeds meer vervangen door 'flat fee' datadiensten, bijvoorbeeld door het gebruik van de populaire applicaties WhatsApp en Ping.

Belangrijke spelers

Grote leveranciers van GSM netwerkapparatuur zijn Ericsson, Nokia Siemens Networks en Huawei. Voor de productie en verkoop van mobiele terminals zijn vooral Nokia, Sony-Ericsson, Samsung, LG en NEC de grootste partijen. Grote wereldwijde operators zijn China Mobile, Vodafone, T-Mobile, NTT DoCoMo, AT&T Mobility. In Nederland zijn er drie GSM operators met een eigen netwerk: KPN, T-Mobile en Vodafone.

Operators en hun marktaandeel

Onderstaande figuur toont de marktaandelen van operators in Nederland en enkele omliggende landen.



Figuur B-6: Marktaandelen in 5 landen van Europa op de GSM/UMTS bedekkingskaart van GSMA³⁷

³⁷ <http://www.arcchart.com>

B.2 UMTS/HSPA

B.2.1 Algemeen

Technologietype

UMTS/HSPA is een publieke, cellulaire digitale landmobiele technologie voor spraak, data en multimedia diensten.

Achtergrond

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) wordt gestandaardiseerd door het 3rd Generation Partnership Project (3GPP) en is één van de internationale derde-generatie (3G) technologieën voor mobiele telecommunicatie. High Speed Packet Access (HSPA) vormt een combinatie van twee protocollen: High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) en High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Deze protocollen zijn een evolutie van UMTS met verbeterde prestaties. Het eerste commerciële UMTS netwerk werd gelanceerd in 2001³⁸ (Noorwegen), gebaseerd op de eerste release van 3GPP (Release 99, genoemd naar het jaar van standaardisatie 1999).

HSDPA werd voor het eerst gestandaardiseerd in Release 5, HSUPA voor het eerst in Release 6. Recentere versies van de standaard bevatten diverse verbeteringen zoals HSPA+ (Release 7), Dual-cell HSDPA (Release 8) en Dual-cell HSUPA (Release 9). Op dit moment werkt 3GPP aan de standaardisatie van 4-carrier HSDPA voor Release 10.

UMTS is de meest wijdverbreide 3G technologie. In april 2010 werd het gebruikt door 325 mobiele operators in 135 landen. HSPA wordt gebruikt door 315 operators in 133 landen en HSPA+ door meer dan 41 operators³⁹.

Beschikbaarheid

UMTS, HSPA en HSPA+ zijn wereldwijd in gebruik. De eerste uitrol van Dual-Cell HSDPA werd gemeld door Telstra, Australië, in januari 2010. In november 2010 is DC-HSPA in Noord-Amerika door Bell in Toronto. Hiermee worden download snelheden tot 42 Mbps ondersteund.⁴⁰

Eerste testen en pilots met Dual-cell HSUPA zijn in de loop van 2010 uitgevoerd en de eerste aankondigingen van commerciële beschikbaarheid zijn gedaan (2010/2011). In oktober 2010 heeft Vodafone Portugal de commerciële uitrol aangekondigd van DC-HSPA in Lissabon, waarmee download snelheden tot 43.2 Mbps en upload snelheden tot 11.4 Mbps worden ondersteund⁴¹.

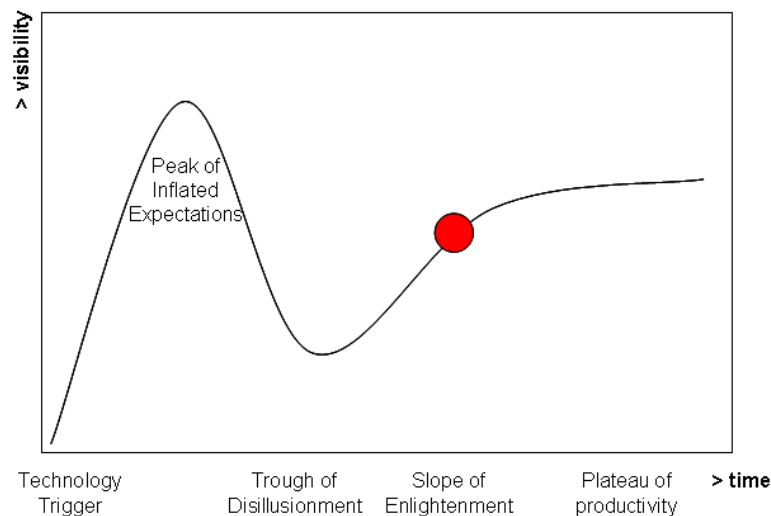
Figuur B-7 toont de positie van UMTS/HSPA op de Gartner hype cycle.

³⁸ <http://www.umtsworld.com>

³⁹ <http://www.gsacom.com>

⁴⁰ <http://www.bce.ca>

⁴¹ <http://www.vodafone.pt>



Figuur B-7: Positie van UMTS/HSPA op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

UMTS/HSPA ondersteunt een breed scala aan diensten, zoals spraak, SMS, mobiele TV, videotelefonie, webbrowsing, download, e-mail, push-to-talk, netwerk gaming, lokatiebepaling en machine-to-machine (M2M) communicatie.

Terminals

UMTS terminals zijn beschikbaar in de volgende vormen:

- handset: voor een lijst zie de website op www.umtsworld.com⁴²
- smartphone: bijvoorbeeld Apple's iPhone, RIM BlackBerry, HTC Galaxy.
- modem: meestal een PCMCIA of USB card ("dongle") in PC of PDA. Voorbeelden zijn de Huawei E169 and Nokia CS-15. In toenemende mate worden HSPA modems *embedded* verwerkt in laptops.
- router: deze biedt meerdere WLAN gebruikers toegang tot het UMTS/HSPA netwerk. Voorbeelden zijn D-Link's DIR-451 and Proxicast's LAN-Cell 2.
- tablet: een terminal die zich laat omschrijven als een smartphone met extra groot touchscreen (tot zo'n 25cm doorsnee), dat erop gericht is om datadiensten gebruiksvriendelijker te maken.
- module met HSPA SIM-kaart die in allerlei apparaten verwerkt kan worden, bijvoorbeeld voor M2M communicatie.

Twee trends in de ontwikkeling van terminals:

1. Veel terminals bieden meer dan één frequentieband, en/of meer dan één technologie. Technologieën waarnaar roaming vaak wordt ondersteund zijn WiFi en GSM.
2. Steeds meer smartphones met steeds meer (PC-achtige) functionaliteiten.

Relatie met andere technologieën

UMTS werd ontwikkeld als opvolger van GSM en is de voorloper van LTE. Roaming tussen deze technologieën wordt ondersteund. Daarnaast wordt ook roaming naar

⁴² <http://www.umtsworld.com>

andere (niet-3GPP) technologieën ondersteund, zoals CDMA2000, WiFi en WiMAX.

De belangrijkste tegenstrevers van UMTS/HSPA zijn andere 3G-standaarden, met name CDMA2000, TD-SCDMA en WiMAX. UMTS/HSPA kan gebruikt worden in combinatie met WiFi, door middel van een dual-mode terminal die overgaat naar WiFi in de buurt van een WiFi access point. WiFi kan ook gezien worden als een concurrent voor in-huis oplossingen van UMTS/HSPA, zoals femtocellen.

B.2.2 Techniek

Onderliggende technieken

CDMA (Code Division Multiple Access) is een belangrijke onderliggende techniek voor UMTS/HSPA. CDMA is een radio toegangstechniek die gebruik maakt van codes, waardoor meerdere zenders simultaan kunnen zenden en ontvangen op hetzelfde fysieke kanaal (frequentieband).

Soft handover is een andere belangrijke onderliggende techniek voor UMTS en HSUPA (niet voor HSDPA). Een mobiele telefoon die in soft handover is, is verbonden met twee of meer cellen tegelijkertijd in het netwerk. Dit resulteert in de zogeheten "diversity gain", omdat bij wegvallen van een cel de verbinding kan blijven staan.

HSPA+ maakt gebruik van multiple-input multiple-output (MIMO) antennetechnologie, waarbij data wordt verzonden via een aantal parallelle kanalen over meerdere antennes bij zowel zender als ontvanger. Dit leidt tot een verhoging van de datasnelheid.

Standaardisatie

UMTS/HSPA wordt gestandaardiseerd door 3GPP, een samenwerking tussen telecommunicatie-associaties zoals ETSI (Europa), ATIS (Noord-Amerika), ARIB en TTC(Japan), CCSA (China) en TTA (Zuid-Korea)⁴³.

De UMTS/HSPA standaard omvat het radio toegangsnetwerk (RAN), het core netwerk (CN) en de service architectuur (SA). In de verschillende releases zijn stap voor stap nieuwe functionaliteiten geïntroduceerd, zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Release	Jaar	Features
99	2000	eerste UMTS release, met de definitie van de op CDMA gebaseerde air interface;
4	2001	all-IP core network
5	2002	IMS en HSDPA
6	2004	HSUPA, MBMS, roaming naar WiFi
7	2007	HSPA+, verbeteringen in QoS and real-time toepassingen (zoals Voice-over-IP – VoIP)
8	2008	Dual-cell HSDPA

⁴³ <http://www.3gpp.org>

9	2009	Dual-cell HSUPA, roaming naar WiMAX
10	2010/2011	4-carrier HSPA

Frequentiebanden

UMTS/HSPA wordt gebruikt in gelicenseerde frequentiebanden, die verschillen per regio. In Europa wordt UMTS/HSPA van origine gebruikt in de 2100 MHz band (uplink: 1920-1980 MHz; downlink: 2110-2170 MHz). Daarnaast wordt het nu in sommige Europese landen (Finland, België, IJsland⁴⁴) ook toegepast in de 900 MHz band (uplink: 880-915 MHz; downlink: 925-960 MHz). In Nederland wordt UMTS/HSPA tot op heden alleen gebruikt in de 2100 MHz band, waarvoor de licenties eind 2016 zullen verlopen. De bandbreedte van een UMTS kanaal is 5 MHz in zowel uplink als downlink.

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
UMTS/HSPA		x	x	x	

De theoretische pieksnelheden van de verschillende UMTS/HSPA versies zijn als volgt:

- Oorspronkelijk UMTS: 2 Mbit/s in de downlink, 128 kbit/s in de uplink
- HSPA: 14 Mbit/s in de downlink, 5.8 Mbit/s in de uplink
- HSPA+: 42 Mbit/s in de downlink, 11 Mbit/s in de uplink
- Dual-cell HSPA: 42 Mbit/s in de downlink, 11 Mbit/s in de uplink

De daadwerkelijke gebruikerssnelheid varieert sterk en hangt af van de ontvangen signaalsterkte, beweegsnelheid en het aantal gebruikers in de cel. Zo ligt in een gewone macrocel omgeving met hoge gebruikerssnelheid de downlink datasnelheid voor het oorspronkelijke UMTS tussen de 1 en enkele honderden kbit/s. Voor de veel kleinere picocellen, lage gebruikerssnelheid en een verder lege cel kan deze oplopen tot 2 Mbit/s.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
UMTS/HSPA	x	x	x	x	

Het bereik van een UMTS antenne hangt af van zendvermogen, type antenne, antennehoogte, frequentie (2100 MHz band of 900 MHz band) en het type omgeving (bijvoorbeeld stedelijk of open). Meestal ligt het bereik voor een UMTS 2100 MHz cel tussen de enkele honderden meters en enkele kilometer. Het bereik van UMTS 900 MHz kan oplopen tot enkele tientallen kilometer in open gebied. Ook is het met UMTS 900 MHz eenvoudiger om binnenshuis bedekking te leveren. UMTS/HSPA femtocellen (binnen 3GPP ook vaak aangeduid als "Home NodeBs") zijn bestemd voor het leveren van indoor bedekking in huizen en kantoren. UMTS/HSPA ondersteunt mobiliteit tot 250 km/h.

⁴⁴ <http://www.gsacom.com>

Quality of Service

Binnen UMTS zijn vier QoS-klassen gedefinieerd, elk gericht op zijn eigen type diensten⁴⁵:

- Conversational class: spraak, videotelefonie, video games, etc.
- Streaming class: streaming multimedia, etc.
- Interactive class: webbrowsing, netwerk games, etc.
- Background class: downloads, emails, etc.

Het belangrijkste verschil tussen deze QoS-klassen is de gevoeligheid van de diensten voor vertraging. Conversational class is bedoeld voor diensten die zeer vertraginggevoelig zijn (bijv. spraak). De Background class daarentegen wordt gebruikt voor diensten die niet erg gevoelig zijn voor vertraging.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Vertrouwelijkheid				x
Beschikbaarheid			x	
Integriteit				x

De beveiliging van UMTS is sterk verbeterd ten opzichte van GSM en GPRS. Een van de belangrijkste verbeteringen is het gebruik van een wederzijds authenticatiemechanisme, aangeduid als Authentication and Key Agreement (AKA). Dit houdt in dat de gebruiker niet alleen door het netwerk wordt geauthenticeerd, maar dat de gebruiker ook zelf vaststelt of hij is verbonden met een echt netwerk. Dit voorkomt de zogeheten "false base station attacks". Daarnaast biedt UMTS vertrouwelijkheids- en integriteitsbescherming van de communicatie over de radio link. Deze beveiligingsmechanismen zijn gebaseerd op het gebruik van een UMTS SIM kaart (USIM) en op het gebruik van zware en algemeen bekende cryptografische algoritmes (zoals Advanced Encryption Standard – AES).

De UMTS standaard biedt ook IPSec-gebaseerde bescherming van de communicatie in het core netwerk en op de link tussen operators. Dit biedt bescherming voor o.a. legitimatiegegevens. Het gebruik van beveiliging in het core netwerk is echter optioneel en ter beoordeling aan de operator.

Dankzij de hierboven beschreven eigenschappen, kan de integriteits- en vertrouwelijkheidsbescherming van UMTS worden aangemerkt als zeer goed. De mogelijkheid tot verstoring is een inherente zwakte van veel radiocommunicatietechnologieën voor wat betreft de beschikbaarheid.

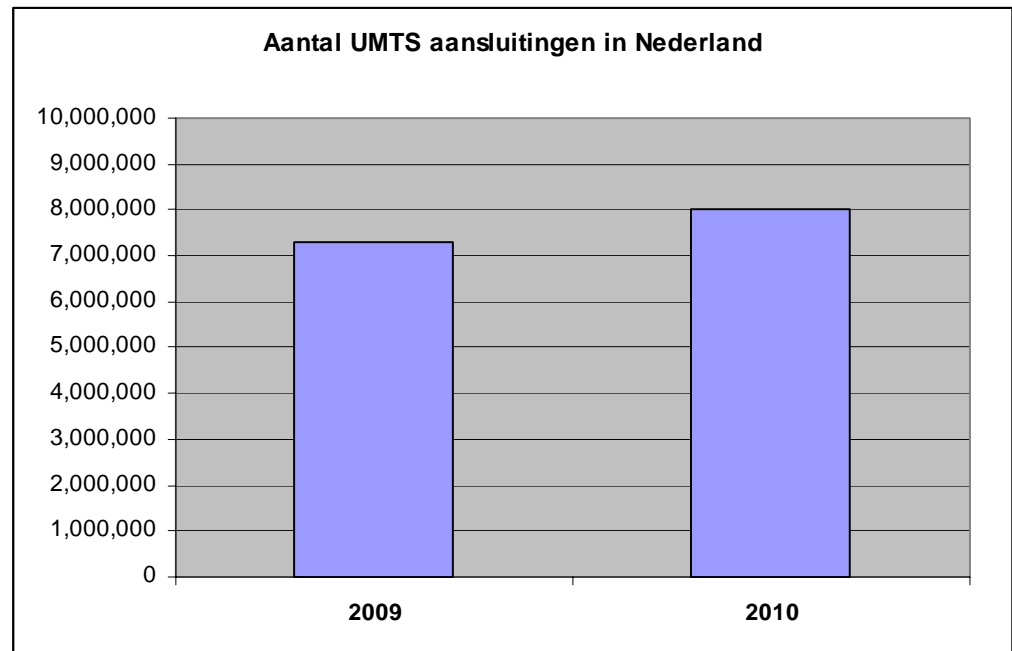
B.2.3 Markt

Marktpenetratie

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
UMTS/HSPA	8 miljoen / 47.7%	293 miljoen / 47.2%	709 miljoen / 10.3%

⁴⁵ 3GPP Specificatie TS 23.107, <http://www.3gpp.org>

De tabel geeft de marktpenetratie van UMTS/HSPA in het derde kwartaal van 2010. In Europa is de penetratie het hoogst (47.2%); in de rest van de wereld is de penetratie veel lager. De penetratie groeit wel sterk: met 9.6%, 41.5% en 68.8% op jaarbasis in respectievelijk Nederland, Europa en de wereld. Figuur B-8 toont het aantal aansluitingen in Nederland (marktpenetratie gegevens afkomstig van ARCchart⁴⁶).



Figuur B-8: Aantal UMTS aansluitingen in Nederland (t/m 2010).

Belangrijke spelers

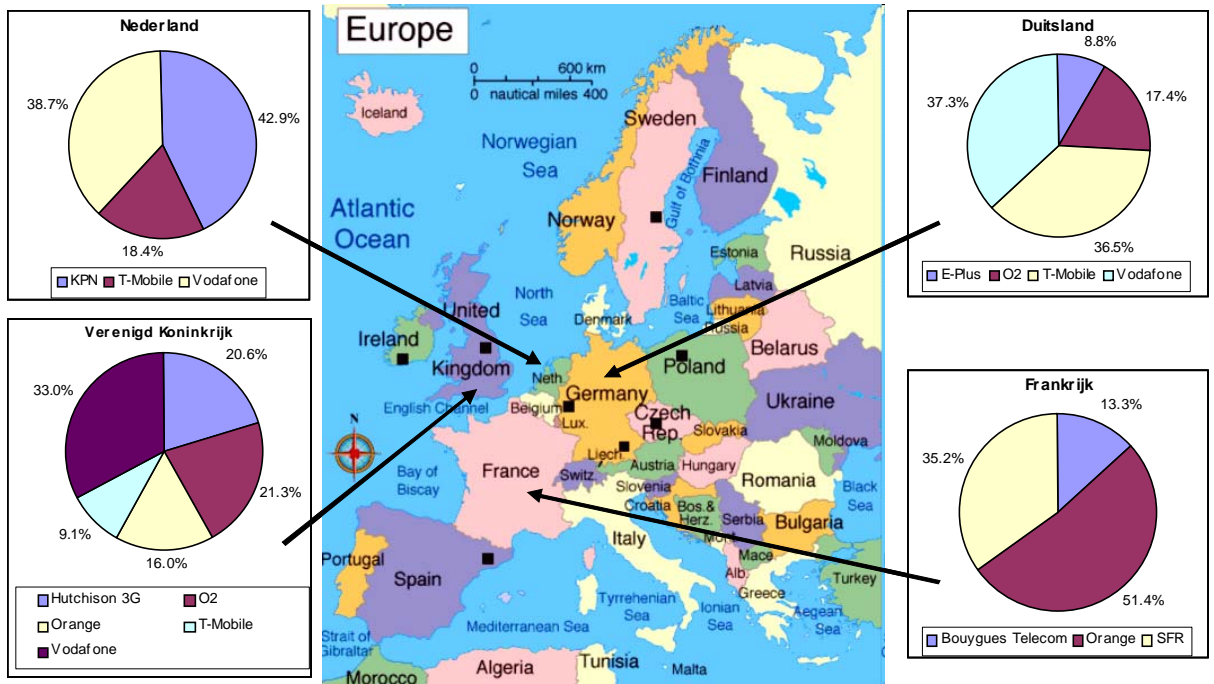
Grote leveranciers van netwerkapparatuur zijn o.a. Ericsson, Nokia Siemens Networks, Huawei en Alcatel-Lucent. Grote leveranciers van UMTS/HSPA terminals zijn o.a. Nokia, Motorola, Samsung, Sony-Ericsson, LG, NEC. Grote UMTS/HSPA netwerk operators in de wereld zijn o.a. China Unicom, Vodafone, T-Mobile, NTT DoCoMo, AT&T Mobility. In Nederland zijn er op dit moment drie netwerkoperators: KPN, T-Mobile en Vodafone.

Operators en hun marktaandeel

Figuur B-9 toont het marktaandeel per operator in Nederland en drie grote Europese landen (cijfers derde kwartaal 2010):

- Nederland: KPN (42.9%), Vodafone (38.7%), T-Mobile (18.4%)
- Duitsland: Vodafone (37.3%), T-Mobile (36.5%), O2 (17.4%), E-Plus (8.8%)
- Frankrijk: SFR (35.2%), Orange (51.4%), Bouygues Telecom (13.3%)
- Verenigd Koninkrijk: Vodafone (33.0%), O2 (21.3%), Hutchison 3G (20.6%), Orange (16.0%), T-Mobile (9.1%)

⁴⁶ <http://www.arcchart.com>



Figuur B-9: Marktaandeel mobiele operators in vier Europese landen.

B.3 CDMA2000

B.3.1 Algemeen

Technologietype

CDMA2000 is een cellulaire digitale landmobiele technologie voor spraak, data en multimedia diensten.

Achtergrond

CDMA2000 is het derde-generatie (3G) lid uit de familie van CDMA standaarden, die worden onderhouden in 3GPP2^{47,48}. Het wordt ook wel 'Small Band CDMA' genoemd om het onderscheid met de "Wide Band" CDMA (WCDMA) of UMTS standaard aan te geven. Een ander belangrijk lid uit deze familie is cdmaOne of IS-95, een 2G alternatief voor GSM. CDMA2000 is uitgebreid met de technieken voor hogere datasnelheden Evolution – Data Optimised (EV-DO) en Evolution – Data and Voice (EV-DV), die in technologisch opzicht vergelijkbaar zijn met de UMTS technieken voor hogere data snelheden, HSDPA en HSUPA. Onder CDMA2000 valt ook een versie aangeduid als CDMA450 speciaal voor toepassing in de 450 MHz band. CDMA2000 EV-DV is commercieel geen succes. Qualcomm heeft de ontwikkeling tot nader bericht zelfs stopgezet.

CDMA staat voor Code Division Multiple Access en is de aanduiding voor een gestandaardiseerde radio toegangstechniek waarbij gebruikers van elkaar worden onderscheiden d.m.v. "unieke" codes. De eerste toepassingen van CDMA op radioverbindingen zijn te vinden in de militaire sector vanwege de goede informatiebeveiliging en robuustheid van het radiokanaal voor storingen. Hoewel het principe al eerder bekend was, was chipleverancier Qualcomm de eerste die CDMA voorstelde als toegangstechniek voor cellulaire netwerken.

Op dit moment (cijfers voor april 2011) wordt CDMA2000 wereldwijd door ruim 300 netwerkkoperators commercieel geëxploiteerd in meer dan 100 landen. Er zijn ruim 623 miljoen abonnees aangesloten op een CDMA2000 netwerk. CDMA2000 heeft een sterke positie in Noord- en Zuid-Amerika en in mindere mate ook in Azië. In West-Europa wordt het nauwelijks gebruikt.

Beschikbaarheid

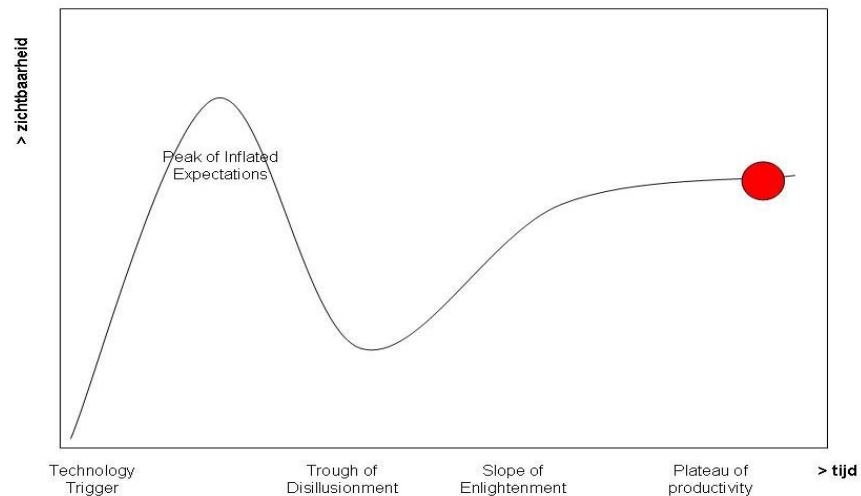
De technologie is operationeel in ca. 120 landen. Voor een overzicht van de belangrijkste statistische informatie wordt verwezen naar de website van de "CDMA Development Group (CDG)"⁴⁹. CDMA2000 is hoofdzakelijk operationeel in Noord-Amerika, Latijns Amerika en Azië. Er wordt voortdurend gewerkt aan nieuwe uitbreidingen van de standaard met name op het gebied van breedband data. De meeste fabrikanten in de telecommunicatie-industrie bieden systemen aan voor deze cellulaire technologie o.a.: Motorola, Huawei, ZTE, Ericsson, Alcatel-Lucent, Samsung. Het CDMA ecosysteem omvat 20 leveranciers van netwerkinfrastructuren en meetapparatuur, en 136 terminal leveranciers die zo'n 2540 handset types en PC-interfaces leveren.

⁴⁷ www.3gpp2.org

⁴⁸ www.cdg.org

⁴⁹ www.cdg.org

Figuur B-10 toont de positie van CDMA2000 op de Gartner hype cycle.



Figuur B-10: Positie van CDMA2000 op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

De technologie wordt gebruikt voor elke vorm van mobiele netwerkdiensten, zoals spraak, SMS, MMS, multimedia diensten, real-time video streaming en Internet diensten.

Een belangrijk voordeel van CDMA2000 is de relatief kleine breedte van het radiokanaal (1.25 MHz) en de mogelijkheid om kanalen te bundelen. Anders dan bij UMTS is gebruik dus niet afhankelijk van de beschikbaarheid van gehele blokken van 5 MHz breed spectrum. Daardoor is het een aantrekkelijke technologie om bijvoorbeeld analoge mobiele systemen in de 450 MHz band te vervangen binnen de reeds gereserveerde frequentiebanden (digitalisering) en in de digital dividend band (790-862 MHz).

Terminals

Er zijn 137 producenten actief in de markt voor CDMA2000 apparatuur⁵⁰.

- Diverse typen terminals zijn op de markt beschikbaar voor CDMA2000: handsets, smart phones, PDA's en insteek datakaarten. Fabrikanten zijn o.a. HTC, Casio en LG.
- Er zijn ongeveer 250 multi-standaard terminals op de markt. Zo is er een versie van de BlackBerry, die geschikt is voor zowel CDMA2000 als GSM/UMTS. In 2010 zijn er terminals op de markt gekomen die CDMA2000 en LTE of WiMAX combineren. Fabrikanten zijn o.a. HTC, LG, Samsung.

De markt biedt terminals voor alle frequentiebanden, waarin CDMA2000 opereert. Voor de 800 MHz band is de keuze aan terminals echter het grootst.

Relatie met andere technologieën

⁵⁰ www.cdg.org

De CDMA2000 standaard lijkt in veel opzichten op de UMTS standaard. De oorsprong van CDMA2000 technologie gaat verder terug in de tijd dan van UMTS. Toen GSM in Europa nog de enige digitale mobiele standaard was, werd er in de VS al gewerkt met de CDMAOne standaard van Qualcomm (interim standaard IS95). Als opvolger van GSM heeft men in Europa gekozen voor het ook op CDMA gebaseerde UMTS, met alle octrooi-perikelen tussen Qualcomm en andere fabrikanten tot gevolg. Belangrijke verschillen tussen CDMA2000 en UMTS zijn de kanaal bandbreedtes (1.25 versus 5 MHz) en de architectuur van het core netwerk, dat bij UMTS deels voortborduurde op de GSM netwerkarchitectuur.

CDMA2000 is de opvolger van de 2G technologie CDMA_ONE, ook aangeduid als IS95. EV-DO en EV-DV zijn verbeteringen op CDMA2000, net zoals HSPA een verbetering is op UMTS.

B.3.2 *Techniek*

Onderliggende techniek

CDMA staat voor Code Division Multiple Access en is de aanduiding voor een gestandaardiseerde toegangstechniek voor cellulaire netwerken. Bij CDMA worden individuele radioverbindingen in een radiokanaal van elkaar onderscheiden door middel van "unieke" codes (de zogenaamde "pseudo-random code sequences"). Dit in tegenstelling tot scheiding in radiokanalen ("Frequency Division Multiple Access" – FDMA) of scheiding in tijdsleuven ("Time Domain Multiple Access" – TDMA). Met CDMA wordt met de codering de informatie uitgesmeerd over het beschikbare frequentiespectrum. Deze is alleen te ontcijferen als men beschikt over dezelfde code; de medegebruikers in het radiokanaal worden ervaren als ruis.

Soft handover is een andere belangrijke onderliggende techniek voor CDMA2000 and EV-DO. Een mobiele telefoon die in soft handover is, is verbonden met twee of meer cellen tegelijkertijd in het netwerk. Dit resulteert in de zogeheten "diversity gain", omdat bij wegvallen van een cel de verbinding kan blijven staan.

Standaardisatie

De standaardisatie van CDMA2000 wordt onderhouden door 3GPP2. 3GPP2 heeft 52 leden. Het werk is onderverdeeld in vier groepen. Elke groep onderhoudt een deel van de standaard:

1. TSG-A: Access Network Interfaces;
2. TSG-C: Radio Access;
3. TSG-S: Service and System Aspects;
4. TSG-X: Core Networks;

De meest courante releases zijn:

- CDMA2000 1X en 3X (3X betekent dat er drie kanalen gebundeld worden om de data snelheid of capaciteit te vergroten)
- CDMA2000 EV-DO Rev. A en B ("Evolution – Data Optimised", pakket geschakelde technologie voor nog hogere data snelheden)

Merk op dat bij 3GPP2 de nieuwe versies niet worden aangeduid met nummers, maar met het aantal kanalen (voor CDMA2000) of een revisie index: Revision A, Revision B (voor EV-DO).

De laatste releases zijn:

1. CDMA 1X Advanced: resultaat is een efficiënter gebruik van spectrum en opstelpunten. 4 keer toename in spraak capaciteit of 70% toename in

bedekking. Het betreft hier hoofdzakelijk een software upgrade en in 2010 beschikbaar.

2. CDMA DO Advanced: geavanceerde netwerktechnologie voor efficiënter spectrumgebruik en hogere data snelheden. De verwachte introductie is in 2013. Ook hier betreft het hoofdzakelijk een software upgrade.

Frequentiebanden

Wereldwijd wordt CDMA2000 hoofdzakelijk toegepast in de 450 en 800 MHz banden, maar er zijn ook netwerken die in de hogere frequentiebanden opereren (1700, 1900, 2100 MHz). Het gaat hier om gelicenseerde frequentiebanden. In West-Europa wordt CDMA2000 nauwelijks toegepast voor publieke mobiele netwerken; UMTS domineert hier de markt. CDMA2000 wordt soms wel toepast in zogenaamde gesloten mobiele netwerken (Private Mobile Radio: PMR en Public Access Mobile Radio: PAMR)⁵¹. Voor gesloten netwerken in een beperkt gebied is wel een licentie nodig, maar deze wordt meestal zonder problemen verleend en verlengd. In Europa is de TETRA standaard de techniek voor gesloten mobiele netwerken. Om CDMA te kunnen toepassen is minstens 2 x 1.25 MHz nodig.

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
CDMA2000		x			
EV-DO		x	x		
DO Advanced			x	x	

De pieksnelheden voor CDMA2000 zijn als volgt:

- CDMA2000 1X: 153 kbit/s in zowel uplink als downlink
- EV-DO Rev.B: 9.3 Mbit/s downlink, 5.4 Mbit/s uplink
- DO Advanced: 19.8 Mbit/s downlink, 7.2 Mbit/s uplink

Merk op dat de pieksnelheid dus een sterke evolutie heeft ondergaan. Bij EV-DO Rev. B worden kanalen gebundeld om de hoge data snelheden te bereiken. De bandbreedte van het radiokanaal komt dan overeen met die van UMTS (5 MHz). Met de EV-DO technieken gaat CDMA2000 sterke overeenkomsten vertonen met UMTS. De CDMA2000 DO Advanced technologie lijkt sterk op de HSPA techniek.

De daadwerkelijke gebruikerssnelheid ligt over het algemeen (aanzienlijk) lager dan de pieksnelheid en hangt onder meer af van de afstand tot de antenne, beweegsnelheid en het aantal gebruikers in de cel.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
CDMA450				x	
CDMA2000			x		

Het bereik van een CDMA2000 basisstations strekt zich typisch uit van enkele honderden meters in stedelijk gebied tot een aantal kilometer in open gebied. Door

⁵¹ Zie ook de beschrijving over TETRA.

de lagere frequentie heeft CDMA450 grote voordelen als het gaat om dekking van grote gebieden. Bovendien is de binnenhuisdekking beter.

Quality of Service

Technologie	Data snelheden Up/ Downlink	Latency	Quality of Service	Services
CDMA2000 1X, 3X	9,2/153.6 kbit/s	250 ms	Nee	Spraak, SMS, MMS, data transfer
CDMA2000 EV-DO Rev. A	1.8/3.1 Mbit/s	50 ms	Ja: prioriteit op basis van gebruikersprofiel of applicatietype	Internet diensten en data transfer. Multimedia streaming
CDMA2000 EV-DO Rev. B phase 2	5.4/14 Mbit/s	35 ms	Ja: prioriteit op basis van gebruikersprofiel of applicatietype	Internet diensten en data transfer. Multimedia streaming, video conferencing en andere real-time applicaties (gaming)
CDMA DO Advanced	7.2/19.8 Mbit/s	< 20 ms	Ja: prioriteit op basis van gebruikersprofiel of applicatietype Naadloze interoperabiliteit met LTE	Internet diensten en data transfer. Multimedia streaming, video conferencing en andere real-time applicaties (gaming)

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Vertrouwelijkheid				x
Beschikbaarheid			x	
Integriteit				x

In grote lijnen is de informatiebeveiliging in CDMA2000 EV-DO vergelijkbaar met die in UMTS. In ieder geval hebben de beveiligingsmaatregelen op de fysieke laag veel gemeen met die van UMTS. Vercijfering van data geschiedt d.m.v. het Advanced Encryption Standard (AES) algoritme (128 bits). Signaleringsgegevens zijn net als in UMTS niet vercijferd maar wel beschermd t.a.v. integriteit. Evenals bij

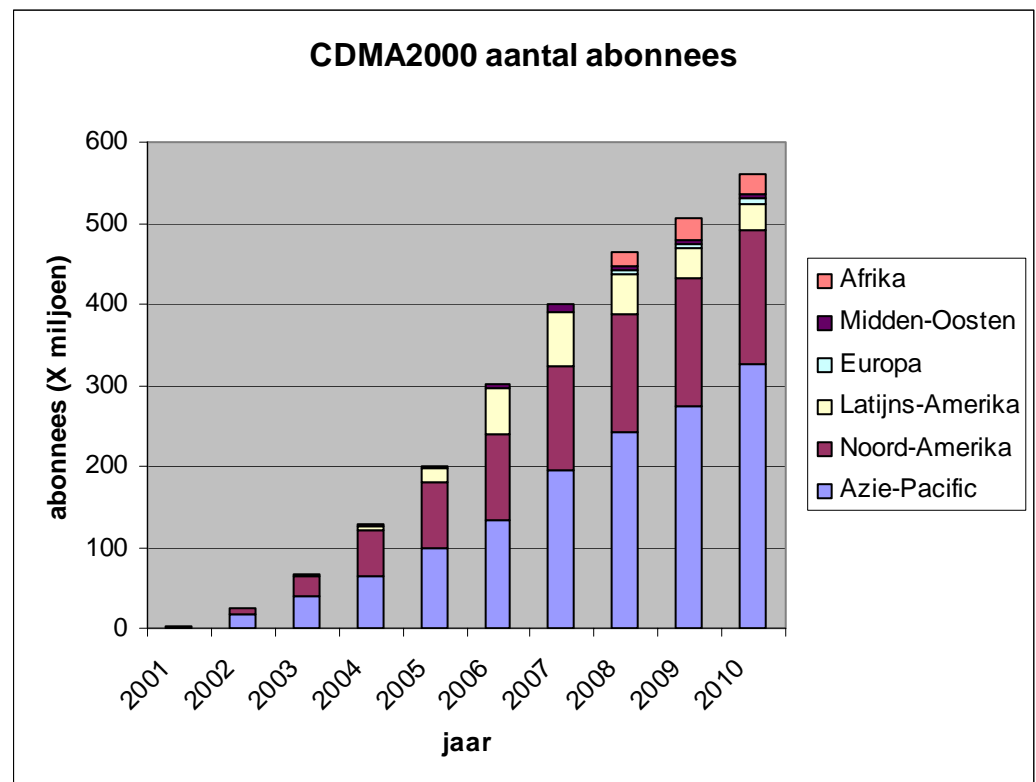
UMTS wordt in EV-DO wederzijds Authentication and Key Agreement (AKA) toegepast, zij het dat de implementaties onderling wat verschillen.

Belangrijk punt te vermelden is dat voor CDMA2000 systemen die worden geëxporteerd, de sleutels voor vercijfering worden ingekort, wat neerkomt op een afzwakking van het oorspronkelijke beveiligingsniveau. Met deze opmerking is de beoordeling van nieuwe CDMA2000 technologie (EV-DO Rev A en B) vanuit beveiligingsoptiek gelijk gekozen aan die voor UMTS.

B.3.3 Markt

Marktpenetratie

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
CDMA2000	0	6.6 miljoen (2010)	561 miljoen (2010)



Figuur B-11: Groei van het aantal abonnees⁵².

In Figuur B-11 is te zien dat Europa geen rol van betekenis speelt in de CDMA markt.

De verwachting is dat in 2014 het aantal abonnees is gegroeid tot 750 miljoen voor CDMA2000 1X en 580 miljoen voor CDMA2000 EV-DO. Een opvallende groeiemarkt is Afrika.

Belangrijke spelers

⁵² Bron: <http://www.cdg.org>

De belangrijkste netwerkleveranciers zijn Qualcomm, Motorola, Huawei, Ericsson, ZTE, Alcatel-Lucent, Nokia, Samsung. Fabrikanten van terminals zijn o.a. HTC, Casio en LG. In totaal zijn er zijn er meer dan 137 fabrikanten actief in de CDMA2000 markt.

Operators en hun marktaandeel

CDMA2000 is een belangrijke technologie in een aantal landen buiten Europa, voornamelijk in Noord- en Zuid-Amerika en in mindere mate ook in Azië. Gegevens over marktpenetratie zijn verkregen uit data van ArcChart⁵³.

In de *Verenigde Staten* zijn er in totaal ca. 168 miljoen gebruikers (73 miljoen CDMA2000, 95 miljoen EV-DO) op een bevolking van ca. 311 miljoen inwoners. Dat komt overeen met een penetratie van ruim 50%, groter dan die van GSM en UMTS. De belangrijkste netwerkkoperators in de VS zijn Verizon Wireless (37 miljoen CDMA2000, 56 miljoen EV-DO) en Sprint (15 miljoen CDMA2000, 23 miljoen EV-DO). Verizon biedt inmiddels ook LTE aan in de VS, via interworking met CDMA2000/EV-DO.

In *China* worden ca. 80 miljoen klanten bediend door het netwerk van China Telecom. In *India* wordt CDMA2000 geleverd door Tata Teleservices (63 miljoen) en Reliance Telecom (117 miljoen). In al deze gevallen bedraagt de groei tientallen procenten per jaar. In beide landen is GSM sterker vertegenwoordigd. Slechts een kleine minderheid van de CDMA2000 abonnees in China en India beschikt over EV-DO.

In Nederland is op dit moment geen CDMA2000 netwerkkoperator actief.

⁵³ <http://www.arcchart.com>

B.4 LTE/LTE-A

B.4.1 Algemeen

Technologietype

LTE is een publieke, cellulaire digitale landmobiele technologie voor spraak, data en multimedia diensten.

Achtergrond

Begonnen in 2004 binnen het 3rd Generation Partnership Project (3GPP), richt het Long Term Evolution (LTE) project zich op het verbeteren van de Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) en het optimaliseren van de architectuur van het radio aansluitnet. Doel is een verdere verhoging van de datasnelheid per gebruiker en, vooral, een verhoging van de beschikbare capaciteit per cel. De eerste LTE standaard (Release 8) is bevroren in december 2008 en vormt de basis voor de eerste generatie LTE apparatuur. Inmiddels zijn er ook al een Release 9 en 10 en wordt gewerkt aan de standaardisatie van Release 11. Het eerste openbare LTE netwerk werd geopend door TeliaSonera in december 2009, in Stockholm en Oslo⁵⁴. In maart dit jaar waren er al 17 commerciële LTE netwerken in 12 landen, en 140 LTE netwerk toezeggingen in 56 landen⁵⁵. De eerste releases van LTE, Releases 8 and 9, zijn strikt genomen pre-4G technologie, omdat ze niet volledig beantwoorden aan de ITU voorwaarden voor IMT-Advanced. LTE-Advanced, d.w.z. LTE Release 10 en verder, is hiervoor wel een kandidaat.

Beschikbaarheid

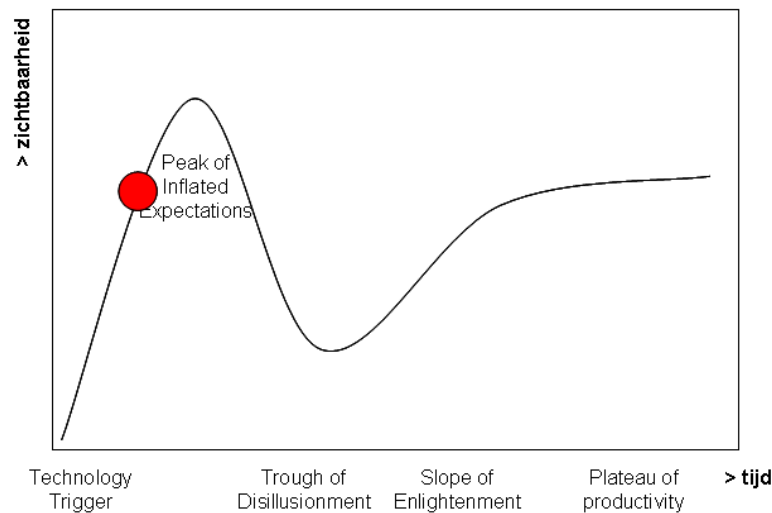
LTE is technisch gereed voor commerciële roll-out, zoals blijkt uit de 17 commerciële LTE netwerken. De meeste (11) van die commerciële LTE netwerken zijn in Europa, de overige in Azië (4) en de VS (2). De meeste grote mobiele operators hebben al een eigen LTE netwerk (bijv. Vodafone, Verizon Wireless en NTT DoCoMo) of doen testen met LTE (bijv. T-Mobile, China Mobile). Verwacht wordt dat eind 2012 tenminste 73 LTE netwerken operationeel zullen zijn⁵⁵. Nederland heeft nog geen operationeel LTE netwerk, maar op de 2.6 GHz spectrum veiling in april 2010 is door 5 partijen spectrum aangekocht dat in een aantal gevallen (zeker de nieuwe partijen Tele2 en Ziggo 4) gebruikt zal gaan worden voor LTE⁵⁶. Volgens de licentievoorwaarden van het spectrum moet binnen 2 jaar een beperkt netwerk worden uitgerold. KPN, één van de 5 partijen, heeft al in februari dit jaar een LTE proef gestart⁵⁷. De positie van LTE op de Gartner hype cycle wordt weergegeven in Figuur B-12.

⁵⁴ <http://www.telecoms.com>

⁵⁵ <http://www.gsacom.com>

⁵⁶ <http://www.agentschap-telecom.nl>

⁵⁷ <http://www.kpn.com>



Figuur B-12: Positie van LTE op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

Met LTE kan een veelheid aan diensten geleverd worden zoals spraak, SMS, mobiele (HD)TV, videotelefonie, webbrowsing, download, delen van informatie (zoals video, muziek en multimedia content), e-mail, push-to-talk, netwerk gaming, location-based services, grootschalige streaming, broadcasting en machine to machine (M2M) communicatie. LTE ondersteunt alleen pakketgeschakelde en geen circuitgeschakelde diensten.

LTE is het meest geschikt voor diensten met hoge datasnelheden en niet echt ontworpen voor spraak en SMS. Niettemin heeft 3GPP twee manieren ontwikkeld om hier in te voorzien: Circuit-Switched Fallback naar GSM/UMTS en IMS-gebaseerde Voice-over-IP⁵⁸. Een derde mogelijkheid voor spraak via LTE is Generic Access, zoals gedefinieerd door het VoLGA forum⁵⁹.

Terminals

De eerste LTE terminals zijn in de vorm van:

- modems/dongels voor PC's of PDA's, zoals de GT-B3710 van Samsung en de RD-3 van Nokia.
- routers die meerdere WLAN gebruikers toegang tot het LTE netwerk bieden. Voorbeeld is de ZLR-2070S van Zyxel.
- handsets: in maart 2010 kondigde Samsung de eerste LTE handset aan, de SCH-r900, als eerste gebruikt door de Amerikaanse operator MetroPCS. In maart dit jaar werd HTC's LTE handset ThunderBolt gekozen door Verizon Wireless voor zijn LTE klanten. De eerste LTE handsets zijn met name geschikt voor de VS markt, maar verwacht wordt dat er binnenkort ook LTE handsets beschikbaar komen voor de Europese en Aziatische markt.

Drie trends in de ontwikkeling van terminals:

- meer handsets

⁵⁸ A. K. Salkintzis, M. Hammer, I. Tanaka, en C. Wong, "Voice Call Handover Mechanisms in Next-Generation 3GPP Systems," IEEE Communications Magazine, vol. 47, nr. 2, pp. 46-56, februari 2009.

⁵⁹ <http://www.volga-forum.com>

- terminals met roaming naar andere technologieën, met name GSM en UMTS/HSPA.
- smartphones met PC-achtige functionaliteiten, zoals de LTE iPhone⁶⁰.

Relatie met andere technologieën

LTE wordt vaak gezien als een verzameling van verbeteringen op UMTS/HSPA. Het ondersteunt roaming naar andere 3GPP technologieën (GSM, UMTS/HSPA) en naar een aantal niet-3GPP technologieën (CDMA2000, WiFi en WiMAX). De belangrijkste tegenstrever van LTE is de andere 4G/pre-4G standaard, de IEEE 802.16m versie van WiMAX.

Binnen de 3GPP familie kan HSPA+ tot op zekere hoogte gezien worden als een concurrent van LTE: sommige (vele?) operators zullen eerst hun UMTS/HSPA netwerken gaan uitbreiden met HSPA+ alvorens over te gaan op LTE. LTE is complementair aan WiFi, via een LTE/WiFi dual-mode handset die gebruik maakt van het WiFi netwerk in de buurt van een WiFi access punt en van LTE daarbuiten. Met de opkomst van LTE femtocellen kan WiFi ook gezien worden als een concurrent van LTE voor gebruik binnenshuis. LTE is een concurrent van DVB-H voor het leveren van mobiele televisiediensten.

B.4.2 Techniek

Onderliggende technieken

Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA) wordt in de downlink gebruikt voor het scheiden van gebruikers in dezelfde frequentieband. De frequentieband is opgesplitst in verschillende frequentiekanalen (subcarriers) en data voor verschillende gebruikers wordt verzonden via verschillende combinaties van deze kanalen. Dit maakt het mogelijk tegelijkertijd data te verzenden van en naar verschillende gebruikers met verschillende datasnelheden.

Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) is een andere techniek die gebruikt wordt door LTE, waarbij verschillende datastromen worden verzonden via verschillende antennes. Dit leidt tot een verhoging van de capaciteit en de te behalen maximale datasnelheid.

LTE heeft een all-IP platte architectuur (flat architecture), waarbij de eNodeB (het LTE basisstation) de enige component is in het radionetwerk en direct verbinding wordt gemaakt tussen eNodeBs. Er is dus geen LTE equivalent van de BSC (GSM) of RNC (UMTS). De platte architectuur zorgt voor minder vertraging in de communicatie, en tot lagere investeringen en operationele kosten.

Zelf-optimalisatie is ook een belangrijke mogelijkheid bij LTE. Dit zorgt voor automatische configuratie en optimalisatie van het LTE radionetwerk, en leidt zo tot lagere operationele kosten voor de operator.

In LTE Release 10 zullen de volgende technieken worden geïntroduceerd⁶¹:

- Carrier aggregatie: het samenvoegen van frequentiebanden om bandbreedtes groter dan 20 MHz mogelijk te maken.
- Relaying: het doorzenden van het signaal via Relaying Nodes (RNs). Dit wordt gezien als een goedkope manier om de bedekking en/of capaciteit te verbeteren.

⁶⁰ <http://nexus404.com>

⁶¹ 3GPP Technical Report TR 36.192, <http://www.3gpp.org>

In LTE Release 11 zal o.a. worden geïntroduceerd:

- Coordinated Multi-Point transmission/reception (COMP): dit zorgt voor dynamische coordinatie van zenden en ontvangen bij basisstations op verschillende locaties, om zo de datasnelheid te verhogen voor bijvoorbeeld gebruikers op de celrand.

Standaardisatie

LTE wordt gestandaardiseerd door 3GPP, een samenwerking tussen telecommunicatie-associaties zoals ETSI (Europa), ATIS (Noord-Amerika), ARIB en TTC(Japan), CCSA (China) en TTA (Zuid-Korea)⁶².

De standaardisatie van LTE omvat het radio toegangsnetwerk (RAN), het core netwerk (CN) en de service architectuur (SA). In de verschillende releases zijn/worden stap voor stap nieuwe functionaliteiten geïntroduceerd, zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Release	Jaar	Features
8	2008	De eerste LTE release
9	2009	Verbeteringen in zelf-optimalisatie, Multimedia Broadcast and Multicast Services (MBMS), lokalisatietechnieken, energiebesparing, home eNodeB (de 3GPP term voor femtocellen), etc
10		LTE-Advanced, verbeteringen in machine to machine (M2M) communicatie, carrier aggregatie, relaying, etc.
11		Coordinated Multi-Point transmission/reception, verdere verbeteringen van Release 10 features

Frequentiebanden

LTE werkt in gelicenseerde frequentiebanden, die verschillen per regio. In Europa kan de FDD mode van LTE in principe gebruikt worden in de volgende banden:

- 800 MHz (uplink: 832-862 MHz; downlink: 791-821 MHz)
- 900 MHz (uplink: 880-915 MHz; downlink: 925-960 MHz);
- 1800 MHz (uplink: 1850-1910 MHz; downlink: 1930-1990 MHz);
- 2100 MHz (uplink: 1920-1980 MHz; downlink: 2110-2170 MHz);
- 2.6 GHz (uplink: 2500-2570 MHz; downlink: 2620-2690 MHz).

Het eerste commerciële netwerk van TeliaSonera gebruikt spectrum in de 2.6 GHz band. In Nederland zullen de eerste LTE netwerken waarschijnlijk de 2.6 GHz band gebruiken. LTE ondersteunt schaalbare bandbreedtes van 1.4, 3, 5, 10, 15 of 20 MHz, zowel in downlink als uplink en deels afhankelijk van de frequentieband⁶³. LTE-Advanced ondersteunt bandbreedtes tot 100 MHz.

De volgende TDD frequentiebanden kunnen ook gebruikt worden voor LTE-TDD mode: 1850-1910 MHz, 1900-1920 MHz, 1930-1990 MHz, 2010-2025 MHz en 2570-2620 MHz. 3 Sweden is van plan 2.6 GHz TDD frequentiebanden van Intel te kopen voor haar 4G netwerk⁶⁴.

Datasnelheid

⁶² <http://www.3gpp.org>

⁶³ 3GPP Specficiation TS 36.101, <http://www.3gpp.org>

⁶⁴ <http://www.rethink-wireless.com>

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
LTE		xx	xx	xx	xx

De theoretische maximale datasnelheden van LTE/LTE-Advanced zijn als volgt:

- LTE: 300 Mbit/s in de downlink (MIMO met 4x4 antennes en 20 MHz bandbreedte) en 75 Mbit/s in de uplink (enkele zendantenne, 20 MHz bandbreedte)
- LTE-Advanced: 1 Gbit/s in de downlink en 500 Mbit/s in de uplink (vereist)

De werkelijke gebruikerssnelheid zal variëren en afhangen van o.a. ontvangen signaalsterkte, bandbreedte, beweegsnelheid en aantal MIMO antennes. Dit kan leiden tot zeer uiteenlopende datasnelheden, zoals weergegeven in de tabel.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
LTE	x	x	x	x	

Het bereik van een LTE basisstation hangt af van zendvermogen, antennetype, hoogte, frequentie en de omgeving (bijvoorbeeld stedelijk of open gebied). Voor een 2.6 GHz cel zal het bereik meestal liggen tussen enkele honderden meters en een kilometer. Met LTE 800 MHz kan het bereik aanzienlijk vergroot worden tot enkele tientallen kilometers in open gebied, en is het eenvoudiger om binnenshuis dekking te leveren. LTE femtocellen zijn bestemd voor gebruik binnenshuis in woning of kantoor.

LTE is geschikt voor snelheden tot 350 km/h voor eenvoudige (gewone) diensten, en tot 120 km/h voor hoge-datasnelheid toepassingen.

Quality of Service

Het concept bearer wordt in LTE gebruikt om een IP pakketstroom met een vaste Quality of Service (QoS) aan te duiden. Voor één gebruiker kunnen meerdere bearers worden opgezet, elk met zijn eigen QoS profiel. Een bearer bevat een bijbehorende QoS Class Identifier (QCI) en een Allocation and Retention Priority (ARP)⁶⁵.

Een volledig overzicht van gestandaardiseerde QCIs en bijbehorende eigenschappen (scheduling prioriteit, maximale vertraging en toegestaan pakketeverlies) wordt beschreven in de 3GPP specificatie, inclusief voorbeelden van diensten bij iedere QCI. De ARP wordt o.a. gebruikt tijdens de Call Admission Control – het toelaten van nieuwe verbindingen in het netwerk – om te bepalen of een draaggolf mag worden opgezet in geval van congestie op het radiokanaal.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Vertrouwelijkheid				x
Beschikbaarheid			x	
Integriteit				x

⁶⁵ 3GPP Specification TS 23. 203, <http://www.3gpp.org>

De beveiliging van LTE is gebaseerd op die van UMTS. De Authentication and Key Agreement (AKA) is hieruit overgenomen. Dit houdt in dat de gebruiker niet alleen door het netwerk wordt geauthenticeerd, maar dat de gebruiker ook zelf vaststelt of hij is verbonden met een echt netwerk, ter voorkoming van zogeheten “false base station attacks”. De vertrouwelijkheids- en integriteitsbescherming for gebruikersdata- en signaleringsverkeer is gewijzigd t.o.v. UMTS. In LTE worden verschillende versleutelingen gebruikt tussen de terminal (UE) en het radionetwerk (RAN), en tussen de terminal (UE) en het core netwerk. Hiervoor wordt een nieuwe versleutelings-methode gebruikt gebaseerd op de sleutel op de SIM-kaart. Tussen de UE en het basisstation wordt gebruikersdata versleuteld, signaleringskanaal wordt versleuteld en voorzien van een integriteitsbescherming. Ook tussen UE en het core netwerk wordt het signaleringsverkeer versleuteld en voorzien van integriteitsbescherming. De beveiligingsmechanismen zijn gebaseerd op het gebruik van zware en algemeen bekende cryptografische algoritmes (zoals Advanced Encryption Standard – AES).

De LTE standaard biedt verplichte IPSec-gebaseerde bescherming tussen basisstations onderling en tussen basisstations en het core netwerk. Het gebruik van beveiliging in het core netwerk is echter optioneel en ter beoordeling aan de operator.

Gezien de hierboven beschreven beveiligingseigenschappen, kan de integriteits- en vertrouwelijkheidsbescherming als zeer goed worden aangemerkt. Omdat LTE radiocommunicatie verstoord kan worden is het lastig om de beschikbaarheid te beoordelen. Vergeleken met andere radiotechnologieën kan de beschikbaarheid als “goed” worden aangemerkt.

B.4.3 Markt

Marktpenetratie

LTE staat aan het begin van commerciële roll-out. Er ontstaan steeds meer commerciële LTE netwerken, die service bieden in grote steden maar nog geen nationale dekking hebben. Volgens ARC CHART⁶⁶, waren er in maart 2011 ongeveer 10000 gebruikers in het TeliaSonera LTE netwerk in Zweden, en ongeveer 15000 gebruikers in het Verizon Wireless LTE netwerk in de VS. Er zijn tot nu toe geen aantallen gebruikers gemeld voor andere LTE netwerken.

Belangrijke spelers

Grote leveranciers van netwerkapparatuur zijn o.a. Ericsson, Nokia Siemens Networks, Huawei, Alcatel-Lucent en ZTE. Grote leveranciers van terminals zijn o.a. Nokia, HTC, Samsung, Sony-Ericsson, LG, NEC.

TeliaSonera was de eerste operator met een LTE netwerk, met Ericsson en Huawei als netwerk leveranciers en Samsung als leverancier van de terminal⁶⁷. Andere grote operators die met LTE bezig zijn zijn China Mobile, Vodafone, T-Mobile, NTT DoCoMo en Verizon Wireless. In Nederland hebben KPN en Tele2 een LTE proef aangekondigd. De vijf partijen die in Nederland 2.6 GHz spectrum hebben gekocht zijn KPN, T-Mobile, Vodafone, Tele2 en Ziggo 4⁶⁸ (een joint venture van Ziggo en UPC). Voor deze partijen geldt een uitrolverplichting, die voorschrijft dat 2 jaar na

⁶⁶ <http://www.arcchart.com>

⁶⁷ <http://www.telecoms.com>

⁶⁸ <http://www.agentschap-telecom.nl>

de veiling een gebied ter grootte van 20 km² per 5 MHz spectrum wordt bedekt. LTE is een voor de hand liggende kandidaat om aan deze uitrolverplichting te voldoen.

Operators en hun marktaandeel

LTE staat nog aan het begin van commerciële roll-out. TeliaSonera heeft een operationeel LTE-netwerk met dekking in Zweden, Noorwegen, Finland, Denemarken en Estland. In de VS is op 5 december 2009 Verizon live gegaan met een LTE-netwerk dat dekking biedt o.a. op 60 vliegvelden verspreid over het land. Eveneens in de VS heeft MetroPCS een LTE-netwerk gelanceerd in San Francisco. In delen van Duitsland heeft Vodafone zijn eerste commerciële LTE netwerk in de 800 MHz band operationeel gebracht⁶⁹. In Zweden hebben Tele2 en Telenor samen een operationeel LTE-netwerk gebouwd, door zijn joint venture Net4Mobility⁷⁰.

In Nederland worden er op dit moment nog geen commerciële diensten via LTE aangeboden. Zoals hierboven beschreven zijn diverse partijen bezig met LTE-veldtesten en aanschaf van spectrum, vooruitlopend op de commerciële introductie van LTE.

⁶⁹ <http://www.mobilenewscwp.co.uk>

⁷⁰ <http://wirelessfederation.com>

B.5 WiMAX

B.5.1 Algemeen

Technologietype

Mobiele terrestrische breedbandtechnologie welke spraak-, data- en multimediasdiensten ondersteunt.

Achtergrond

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) betreft een vorm van breedbandige draadloze technologie gebaseerd op de IEEE 802.16 standaard. WiMAX ondersteunt breedbandige vaste, nomadische en mobiele in- en outdoor connectiviteit. De eerste WiMAX versie dateert van 2004 en is gebaseerd op de IEEE 802.16d standaard, ook bekend als IEEE 802.16⁷¹ (2004). Deze eerste versie WiMAX technologie wordt meestal als "Fixed WiMAX" aangeduid daar ondersteuning van mobiliteit ontbreekt. In December 2005 accordeerde de IEEE een herziene standaard IEEE 802.16e waarin onder andere de ondersteuning van mobiliteit is gespecificeerd. Algemeen wordt deze standaard "IEEE 802.16-2005 genoemd⁷² en aangeduid als "Mobile WiMAX".

Een volgende generatie WiMAX, ook wel WiMAX2 genoemd, is gebaseerd op de nieuwe IEEE802.16m standaard. Deze is in oktober 2010 goedgekeurd door de ITU als een IMT-Advanced technologie en vervolgens afgerond in maart 2011. WiMAX2 maakt snellere en efficiëntere datacommunicatie mogelijk en is compatibel met de huidige operationele WiMAX systemen.

In tegenstelling tot wat vaak wordt aangenomen betreft WiMAX geen standaard zoals WiFi dat ook niet is. WiMAX is een keurmerk van het WiMAX Forum betreffende apparatuur gebaseerd op de IEEE 802.16 standaarden, dat garandeert dat een product aan een set minimale systeemeisen voldoet en samenwerkt met WiMAX apparatuur van andere leveranciers.

In deze monitor ligt de nadruk op Mobile WiMAX, oftewel IEEE 802.16e.

Beschikbaarheid

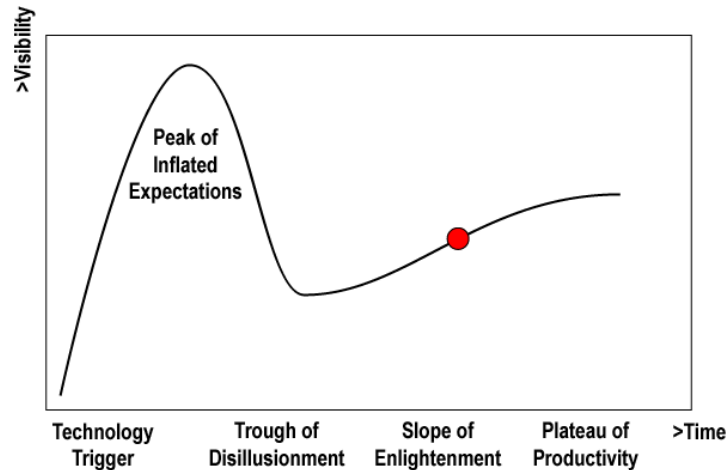
De eerste commerciële WiMAX-gecertificeerde producten betreffen de fixed WiMAX versie en zijn beschikbaar sinds 2006. In 2008 komen de eerste gecertificeerde Mobile WiMAX systemen op de markt. Medio 2009 zijn er meer dan 130 producten (basisstations, Access Service Network Gateways en gebruikersterminals) van diverse mondiale fabrikanten op de markt, waarvan 60 procent Mobile WiMAX⁷³. De gebruikersterminals beperken zich tot nog toe tot home gateways, PCMCIA kaarten en USB dongles. Op verschillende handelstentoonstellingen zijn diverse WiMAX mobieltjes gelanceerd, echter, de commerciële beschikbaarheid van WiMAX mobieltjes is tot op heden zeer beperkt.

Mobile WiMAX is gebaseerd op een standaard en de apparatuur van diverse fabrikanten is momenteel commercieel goed verkrijgbaar. Aldus moet Mobile WiMAX als een volwassen technologie worden gezien. Figuur B-13 toont de positie van WiMAX op de Gartner hype cycle.

⁷¹ IEEE 802.16-2004, "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems." Online: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>

⁷² <http://www.wimaxforum.org>

⁷³ <http://www.wimaxforum.org>



Figuur B-13: Positie van WiMAX op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

WiMAX is ontworpen voor breedbandige draadloze toegang op basis van grootschalige netwerken met een geografisch volledige dekking. Gebruikers kan een hoge bitsnelheid tot 10 Mbit/s of meer worden geleverd. WiMAX ondersteunt real-time diensten zoals file transfer en internettoegang als ook real-time diensten als telefonie en streaming.

Terminals

Mobile WiMAX terminals zijn in diverse uitvoeringen verkrijgbaar waaronder:

- Niet geïntegreerde ontvangers zoals PCMCIA kaarten (Samsung SPH-H1100) en USB dongles (Samsung SWT-H200K, Huawei BM325)
- Handsets zoals HTC Evo 4G en Samsung Epic 4G
- laptops met dual-mode WiMAX/WiFi chipset

De HTC Evo 4G handset ondersteunt dual-mode WiMAX en CDMA EV-DO. Dit type is momenteel beschikbaar in de VS (i.e. Sprint⁷⁴, Clearwire⁷⁵), Japan (i.e. UQ Communications⁷⁶) en Rusland (i.e. Yota⁷⁷). Ook de Samsung Epic 4G ondersteunt dual-mode WiMAX en CDMA EV-DO, maar deze is alleen beschikbaar in het Sprint netwerk in de VS.

Relatie met andere technologieën

In de huidige markt zijn de UMTS/HSPA-netwerken de belangrijkste concurrenten van WiMAX netwerken, en daarmee is UMTS/HSPA de belangrijkste concurrent van WiMAX technologie. In de toekomst zal de opvolger van UMTS/HSPA, Long Term Evolution (LTE), de belangrijkste concurrent worden. LTE biedt een op IP gebaseerde pakketgeschakelde connectiviteit met (nog) grotere bandbreedte en een lage latency en met een aanvullende spraak dienst. De verwachting is dat LTE in de komende jaren zal worden uitgerold, en dat de prestatie van LTE en WiMAX in termen van bereik en bitsnelheid niet wezenlijk zal verschillen wanneer de systemen in dezelfde frequentieband bij dezelfde kanaalbreedte worden toegepast. Operator acceptatie en investeringen zullen naar verwachting echter wel beduidend

⁷⁴ <http://www.sprint.com/>

⁷⁵ <http://www.clearwire.com/>

⁷⁶ <http://www.uqwimax.jp/>

⁷⁷ <http://www.yota.ru/en/>

groter zijn voor LTE (zie de discussie onder sectie B.5.3). Het lijkt er op dat op de mobiele markt WiMAX het gaat verliezen van LTE.

B.5.2 Technologische aspecten

Onderliggende techniek

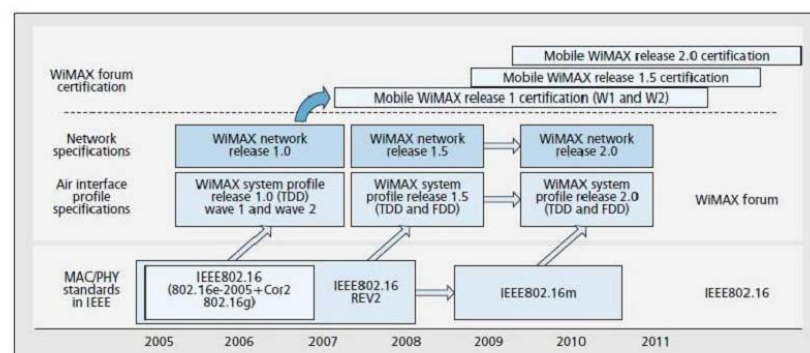
De radiotechnologie van WiMAX is gebaseerd op Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). OFDM is een modulatietechnologie waarbij de informatie met een (groot) aantal coherente draaggolven wordt verzonden. Verkeer van meerdere gebruikers wordt gemultiplexed op basis van een gecombineerde Time Division Multiplexing (TDM) en Frequency Division Multiplexing (FDM): één of meer van de draaggolven wordt gedurende één of meer tijdsloten aan een gebruiker toegewezen. In een niet-zicht verbinding biedt OFDM het voordeel dat de radiosignalen die via verschillende radiopaden worden ontvangen worden samengevoegd zonder gebruik van een equalizer zoals nodig in geval van single carrier modulatie.

Mobile WiMAX ondersteunt drie hand-over technologieën⁷⁸: – Hard Handover (HHO), Fast Base Station Switching (FBSS) en Macro Diversity Handover (MDHO), waarbij de Hard Handover verplicht, en de andere twee optioneel zijn. In geval van de Hard Handover wordt de verbinding abrupt aan een ander basisstation overgedragen. Leveranciers hebben binnen het WiMAX Forum diverse oplossingen ontwikkeld om de duur van de onderbreking te beperken tot minder dan 50 ms.

Het afgelopen decennium zijn in universitaire en bedrijfsonderzoekscentra nieuwe radio- en antennetechnologieën zoals MIMO en bundelvorming ontwikkeld waarmee het bereik en de capaciteit van een radiosysteem kunnen worden vergroot. Mobile WiMAX is het eerste cellulaire systeem waarin deze technologieën ook worden toegepast.

Standaardisatie

Figuur B-14 toont een schematisch overzicht van de standaardisatie roadmap en tijdslijnen van IEEE 802.16 en WiMAX.



Figuur B-14: Mobile WiMAX en IEEE 802.16 standaardisatie roadmap en tijdslijnen.⁷⁹

⁷⁸ "Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation", 2006. Online: <http://www.wintegra.com>

⁷⁹ Kamran Etemad, "Overview of Mobile WiMAX Technology and Evolution", *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 10, pp. 31-40, Oct 2008.

De huidige versie van Mobile WiMAX betreft Release 1.0, gepubliceerd in 2007. Release 1.0 omvat alle functionaliteiten van IEEE 802.16-2005 die verplicht zijn, en enkele optionele functionaliteiten van IEEE 802.16-2005 ter ondersteuning van mobiliteit en QoS. Release 1.0 is beperkt tot TDD systemen met een bandbreedte van 5 en 10 MHz in 2.3 GHz, 2.5 GHz en 3.5 GHz frequentiebanden.

Release 1.5 gebaseerd op IEEE 802.16-2009 is de vervolgvorsie van Mobile WiMAX Release 1.0. Release 1.5 zal naast TDD ook FDD ondersteunen. O.a. het Clearwire WiMAX netwerk in de VS maakt gebruik van Release 1.0 technologie, met een verwachte upgrade naar Release 1.5 in het komende jaar⁸⁰.

In het afgelopen jaar is een WiMAX versie 2.0 gestandaardiseerd (Mobile WiMAX Release 2.0) gebaseerd op IEEE 802.16m. Deze Release 2.0 is terugwaarts compatibel met Releases 1.0 en 1.5. IEEE 802.16m specificeert 4x2 MIMO technologie met een celcapaciteit van 120 Mbit/s in de downlink en 60 Mbit/s in de uplink gebruikmakend van een enkel 20 MHz kanaal. Daarnaast bevat Release 2.0 diverse andere verbeteringen zoals een betere ondersteuning van VoIP, een geringere latency, een snellere cel handover en een betere dekking en range. Commerciële Mobiele WiMAX Release 2.0 producten zijn voor 2011-2012 voorzien⁸¹.

Frequentiebanden

Mobile WiMAX (Release 1.0⁸¹) is beschikbaar voor de 2.3 GHz, 2.5/2.6 GHz en 3.5 GHz banden. Versie 1.0 ondersteunt uitsluitend de time-division duplex (TDD) mode en geen frequency-division duplex (FDD) welke in IEEE 802.16e eveneens gespecificeerd is. Deze voorkeur voor TDD wordt gemotiveerd door de technische voordelen van TDD waaronder een flexibele allocatie van capaciteit voor upstream- en downstreamverkeer en de mogelijkheid om bundelvorming en Multiple Input Multiple Output (MIMO) technologie toe te passen. In versie 1.5 is ook de ondersteuning voorzien van de FDD duplex mode als ook van de frequentiebanden in de 700 MHz en de 1700 MHz. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de frequentiebanden voor WiMAX versie 1.5.

Band klasse	Frequentiegebied	Bandbreedte	Duplex technologie
1	2.3 - 2.4 GHz	5, 8.75 en 10 MHz	TDD
2	2.305 - 2.320 GHz en 2.345 - 2.360 GHz	3.5, 5 en 10 MHz	TDD
		2x3.5 MHz, 2x5 MHz en 2x10 MHz	FDD
3	2.496 - 2.690 GHz	5 en 10 MHz	TDD
		2x5 MHz en 2x10 MHz	FDD
4	3.3 - 3.4 GHz	5, 7 en 10 MHz	TDD
5	3.4 - 3.5 GHz	5, 7 en 10 MHz	TDD

⁸⁰ <http://www.cio.com>

⁸¹ <http://www.wimaxforum.org>

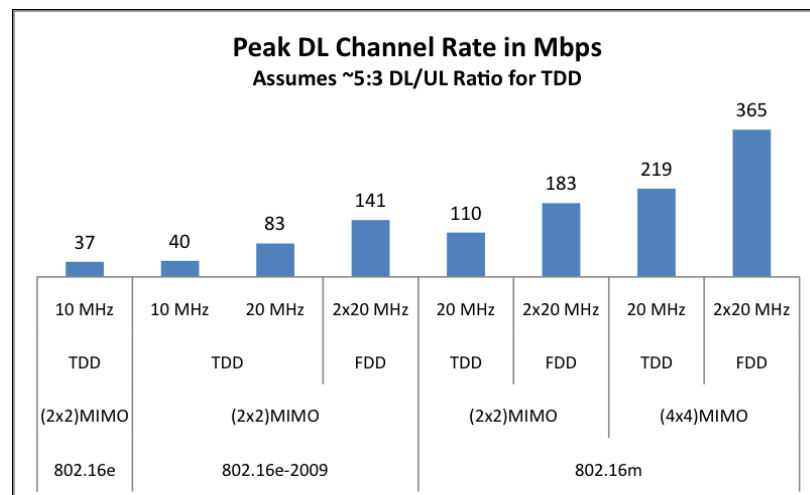
		2×5 MHz, 2×7 MHz en 2×10 MHz	FDD
6	1.710 – 2.170 GHz	2×5 MHz en 2×10 MHz	FDD
7	0.698 – 0.862 GHz	5, 7 en 10 MHz	TDD
		2×5 MHz, 2×7 MHz en 2×10 MHz	FDD
8	1.710 – 2.170 GHz	5 and 10 MHz	TDD

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
WiMAX			x	x	x

WiMAX2 kan datasnelheden aan tot 120 Mbps downstream en 60 Mbps upstream, door gebruik te maken van een 4×2 MIMO antenneconfiguratie en een enkel 20 MHz TDD kanaal. Niettemin heeft Samsung op CEATEC 2010 in Japan een WiMAX2 systeem laten zien met een datasnelheid van 330 Mbps over korte afstanden⁸². IEEE 802.16m biedt een 20-30% verbetering van bedekt celoppervlak in een standaard niet-zicht omgeving. Verdere verhoging van de datasnelheid wordt verkregen door de ondersteuning van geavanceerde antennesystemen.

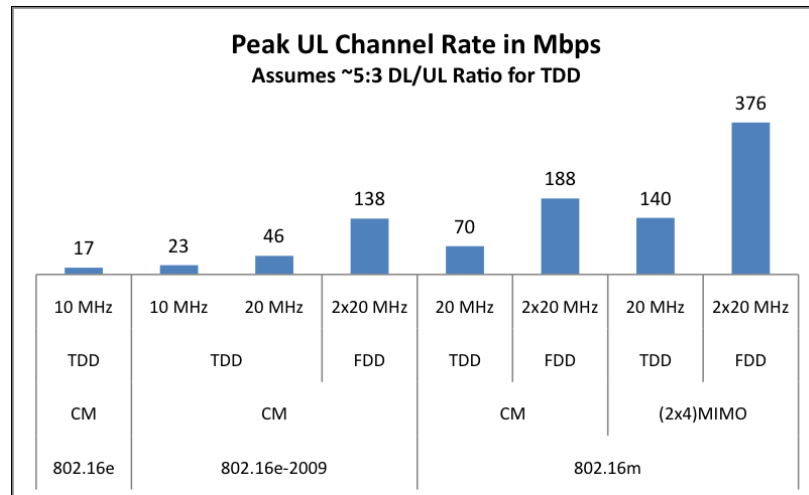
Figuur B-15 en Figuur B-16 vatten de WiMAX datasnelheden samen in een vergelijking tussen Release 1.0, Release 1.5 en Release 2.0⁸³.



Figuur B-15: Downlink pieksnelheden voor WiMAX 1.0, WiMAX 1.5 en WiMAX 2.0.

⁸² <http://www.koreaitimes.com>

⁸³ <http://www.wimaxforum.org>



Figuur B-16: Uplink pieksnelheden voor WiMAX 1.0, WiMAX 1.5 en WiMAX 2.0.

De maximale datasnelheid zal lager zijn daar de celcapaciteit met meerdere gebruikers moet worden gedeeld. De datasnelheid is daarbij tevens afhankelijk van de afstand tot het basisstation en van eventuele obstakels op het pad tussen het basisstation en de gebruiker, maar met MIMO is niettemin een verdubbeling van de maximale datasnelheid mogelijk.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
WiMAX	x	x	x		

Bij het begin van de ontwikkeling van WiMAX technologie waren de verwachtingen erg hooggespannen. In de media werd gesproken over “WiFi on steroids” waarmee op een afstand van 30 km een hoge bitsnelheid kan worden geleverd. In strikte zin is dit correct; met WiMAX is het mogelijk (vaste) punt-punt radio verbindingen te leveren met mogelijk zelfs een grotere afstand. In een mobiel scenario, is het radiopad lang niet zo ideaal als in het punt-punt scenario; de dienst moet in-huis en met een kleine handset goed functioneren. Afhankelijk van het zendvermogen, antennehoogte, frequentie is het bereik van Mobile WiMAX in een stedelijke omgeving en zonder in-huis dekking ca. 2 tot 3 km. Indien een goede in-huis dekking vereist is, zal het bereik verder afnemen tot ongeveer 1 km. Clearwire in de Verenigde Staten hanteert een celdiameter van ongeveer 3 km, hetgeen neerkomt op een celstraal van 1,5 km⁸⁴.

Mobile WiMAX ondersteunt mobiel gebruik tot snelheden van 120 km per uur en met een vloeiende hand-over waarbij de verbinding bij een handover maximaal 50 ms onderbroken wordt⁸⁵.

Quality of service

De WiMAX QoS mechanismen zijn overgenomen uit de DOCSIS-technologie voor kabelnetwerken⁸⁶. WiMAX ondersteunt diverse transportdiensten waaronder een

⁸⁴ <http://www.clearwire.com/>

⁸⁵ “Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, 2006. Online: <http://www.wintegra.com>

⁸⁶ <http://www.cablelabs.com>

real-time voor bv. spraakdiensten, non real-time voor bijvoorbeeld filetransfer en een best-effort dienst voor bijvoorbeeld webbrowsing en e-mail. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de QoS-opties.

Qos Classes	Toepassingen
USG (Unsolicited Grant Service)	VoIP
rtPS (Real-time Polling Service)	Streaming Audio and Video
ErtPS (Extended Real-time Polling Service)	VoIP
nrtPS (Non-real-time Polling Service)	FTP
BE (Best Effort Service)	Data transfer, Web browsing, etc.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Vertrouwelijkheid			x	
Beschikbaarheid			x	
Integriteit			x	

Evenals de QoS-mechanismen, zijn ook de security concepten en mechanismen afgeleid van de DOCSIS-technologie voor kabelnetwerken. WiMAX ondersteunt authenticatie van de gebruiker en gebruikersterminal en van het basisstation en past sterke encryptie algoritmen toe op gebruikersverkeer, netwerkmanagement messages, in combinatie met een robuust sleutel management. Daarnaast biedt Mobile WiMAX 3-traps handshake ten behoeve van een snelle re-authenticatie bij een cel hand-over. Deze re-authenticatie is nodig om te voorkomen dat derden op de verbinding inbreken met behulp van een *man-in-the-middle* aanval.

B.5.3 Marktaspecten

Marktpenetratie

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
WiMAX	Niet beschikbaar	Niet beschikbaar	13 miljoen (~0.01%)

Volgens de meest recente gegevens van het WiMAX Forum⁸⁷ zijn er op dit moment 582 WiMAX netwerken in 150 landen. Er wordt geschat dat eind 2011 er 1 miljard "bedekte gebruikers" zullen zijn.

Merk op dat "bedekte gebruikers" heel iets anders is dan daadwerkelijke abonnees. Tijdens het laatste Mobile World Congress in Barcelona schatte het WiMAX Forum het daadwerkelijke aantal gebruikers op 13 miljoen. Ongeveer de helft hiervan betreft Mobile WiMAX gebruikers; de andere helft geldt vaste WiMAX. Het algemene beeld bij WiMAX is dat er vele kleinere operators zijn verspreid over de wereld, hoewel Clearwire in de VS goed is voor ongeveer een kwart van de wereldwijde abonnees.

⁸⁷ WiMAX Forum monthly industry report – March 2011. <http://www.wimaxforum.org>

Verwacht wordt dat het aantal wereldwijde gebruikers sterk zal gaan toenemen als gevolg van uitrol door grote operators zoals BSNL⁸⁸ in India en Axtel⁸⁹ in Mexico. Ter illustratie: in februari 2011 had BSNL 13.000 abonnees, met een verwachte groei naar 200.000 eind dit jaar⁹⁰. Volumegroei is vereist voor een kostprijsreductie van de netwerkkapparatuur en gebruikersterminals wat weer noodzakelijk is voor het succes van WiMAX. Het staat echter te bezien of deze volumegroei zal worden gehaald, temeer daar de belangstelling voor WiMAX afneemt. Ericsson, een belangrijke fabrikant van netwerkkapparatuur, heeft al eerder aangekondigd af te zien van de ontwikkeling van WiMAX, en zich op LTE te richten. De bestaande mobiele operators, mondiaal, hebben een duidelijke voorkeur voor LTE.

Belangrijke spelers

WiMAX gebruikersterminals en netwerkkapparatuur inclusief basisstations worden door diverse leveranciers vervaardigd, waaronder Samsung, Alcatel-Lucent, Motorola, Alvarion, Huawei Technologies and Cisco Systems.

Sinds juni 2008 bood WorldMAX een WiMAX dienst aan in Amsterdam en omgeving onder het label Aerea. Deze dienst werd geleverd op basis van haar licentie voor een 3.5 GHz band met landelijke dekking. Het aanbod betrof een downstream bitsnelheid van maximaal 12 Mbit/s en een upstream bitsnelheid van maximaal 2 Mbit/s. Alcatel-Lucent heeft de apparatuur geleverd⁹¹. WorldMAX heeft medio 2010 besloten haar diensten te staken, o.a. in verband met fors aangescherpte restricties aan de licentie in verband met het risico van storing van het luisterstation van Defensie in Burum (Groningen).

In de Verenigde Staten biedt Clearwire Mobile WiMAX diensten aan in meer dan 70 grote steden zoals New York, Boston, Chicago, Washington DC etc.

Operators en hun marktaandeel

Mondiaal gezien is Clearwire de grootste aanbieder van Mobile WiMAX. In Europa hebben vrijwel alle grote mobiele operators een voorkeur voor LTE in plaats van WiMAX. Het volgende overzicht geeft een beeld van het gebruik van Mobile WiMAX:

- Nederland heeft geen gebruikers meer sinds WorldMAX haar diensten in augustus dit jaar beëindigd heeft;
- Rusland (Yota): deze grootste Russische aanbieder had per Q2 2010 iets meer dan 600.000 abonnees⁹²;
- Verenigde Staten (Clearwire): zei eind 2010 ongeveer 3,5 miljoen abonnees te hebben⁹³.
- South Korea (Korea Telecom) has 344.000 subscribers as of Aug 2010⁹⁴.
- Malaysia (Packet One) has 200.000 subscribers as of Jan 2011⁹⁵.

⁸⁸ <http://www.bsnl.co.in>

⁸⁹ <http://www.axtel.mx>

⁹⁰ <http://lteworld.org>

⁹¹ <http://www.worldmax.nl>

⁹² <http://www.maravedis-bwa.com>

⁹³ <http://www.sidecutreports.com>

⁹⁴ <http://www.techalps.com>

⁹⁵ <http://connectedplanetonline.com>

B.6 WiFi

B.6.1 Algemeen

Technologietype

Draadloze communicatie netwerktechnologie voor breedbandig transport van data over korte afstanden.

Achtergrond

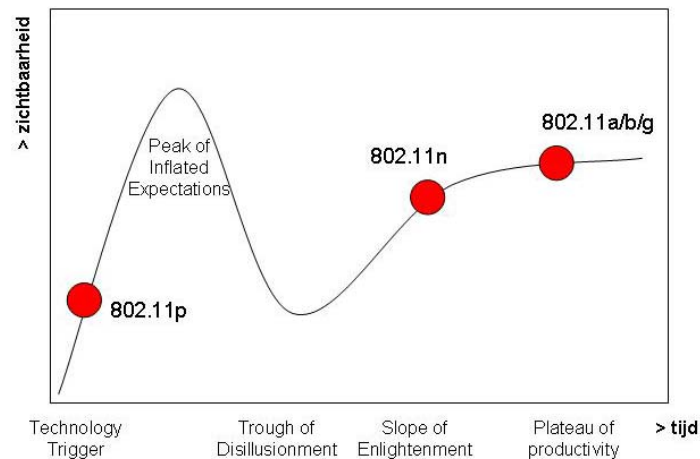
WiFi is de populaire naam voor de suite van draadloze communicatie standaarden gedefinieerd door IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineers) en bekend onder naam IEEE 802.11. De term WiFi is geïntroduceerd door WiFi Alliance, met het doel om de compatibiliteit van apparaten die kunnen communiceren met IEEE 802.11 standaarden te bevestigen.

WiFi kan in één van twee modes werken. De eerste mode is de **ad-hoc** mode die een directe verbinding tussen twee apparaten faciliteert. Dit is nuttig in situaties als twee PCs direct moeten koppelen en dit vereist geen toegang tot een LAN of tot Internet. De tweede manier van koppelen is de **infrastructuur** mode. In deze mode wordt er gecommuniceerd via een basisstation (ook Access Point (AP) genoemd), dat is gekoppeld aan een Local Area Network (LAN).

De meest gebruikte mode van WiFi is de infrastructuur mode waarbij elk van de apparaten is verbonden met een LAN via een AP, en waarbij ook elke communicatie tussen twee 'clients' onderling via het AP loopt. Een duidelijk voordeel van de infrastructuur mode is dat de administrator (beheerder) controle heeft over de Access Points die aan het LAN zijn gekoppeld. Elke AP heeft een unieke identificatiecode die aan een AP wordt toegewezen, welke wordt aangeduid als de Basis Service Set Identifier (BSSID). Deze code is het adres van het AP op de Medium Access Control (MAC) laag. Het toegangspunt heeft ook een Service Set Identifier (SSID), die de identiteit van een draadloos netwerk definieert. Deze naam is niet noodzakelijk uniek. In feite kennen de meeste fabrikanten zelf een SSID aan APs toe zodat ze direct bruikbaar zijn vanuit de doos. De SSID van het toegangspunt is nodig om met het netwerk te kunnen verbinden. Sommige basisstations hebben extra functionaliteit, met inbegrip van routers en ingebouwde DHCP servers. Er zijn zelfs sommige geïntegreerde eenheden die specifieke rollen hebben - zoals draadloos toegangspunt, firewall en router voor het huis.

Beschikbaarheid

WiFi is gebaseerd op een standaard en de apparatuur van diverse fabrikanten is momenteel commercieel goed verkrijgbaar. Voorbeelden zijn draadloze netwerken van commerciële partijen (KPN HotSpots en T-Mobile HotSpots), draadloze bedrijf netwerken en draadloze in-huis netwerken bij particulieren. Aldus moet WiFi als een volwassen technologie worden gezien. Onderstaande figuur geeft de positie weer van WiFi op de Gartner hype cycle.



Figuur B-17: Positie van WiFi technologieën op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

802.11 standaarden ondersteunen het transport van IP datapakketten tussen twee apparaten of tussen een apparaat en een AP. Verschillende applicaties kunnen deze verbinding gebruiken - email, video telefonie, Web browser, downloaden, gaming, etc. WiFi wordt grootschalig gebruikt voor het verkrijgen van draadloos internettoegang in kantoren en woningen, maar ook op bijvoorbeeld vliegvelden en stations. WiFi is van oorsprong bedoeld voor 'best effort' diensten, waar vertragingen en pakketverliezen niet van wezenlijk belang zijn omdat ze kunnen worden ondervangen door hertransmissie van verloren pakketten. Bij sommige tijdkritische en delay-gevoelige toepassingen zoals spraak, gaming en video conference is dat niet genoeg, en zijn dus andere oplossingen nodig dan die beschreven in de standaard. Die oplossingen zijn gebaseerd op een centrale controller die bepaalt welke pakketten worden verstuurd – die kan dus garanties geven voor toegang van het apparaat tot het communicatie medium en voorkomt op die manier verlies van datapakketten. De centrale controller omzeilt bestaande protocollen voor toegang tot het radiokanaal, en vormt in dat opzicht een eigen 'ecosysteem' waar dit kan werken. Als andere (volgens de standaard werkende) apparaten in de buurt komen van een dergelijk systeem, dat kan dit problemen in de communicatie veroorzaken en dus leiden tot pakketverliezen, enz.

WiFi standaarden ondersteunen géén handover mechanisme waarmee van de een naar de andere AP kan worden overgeschakeld tijdens de verplaatsing van de gebruiker, zonder interruptie van de toepassing. Wel wordt nomadisch gedrag (dus elke keer dat gebruiker buiten bereik van een AP komt, hij moet opnieuw 'inloggen' bij volgende zichtbare AP) van gebruikers ondersteund, waarbij de gebruiker de actieve toepassing even moet beëindigen of een onderbreking moet accepteren. Dit is een beperkende factor voor een bredere toepassing van WiFi voor tijdkritische diensten.

Terminals

WiFi wordt op dit moment breed gebruikt. WiFi is zeer populair zowel in de consumentensector als ook in de zakelijke sector voor in pandige draadloze breedbandige connectiviteit. De bloei van de zogenaamde WiFi hotspots illustreert het belang van WiFi technologie in het publieke domein om nomadische gebruikers te bedienen. Veel van nieuw verkochte laptops (netbooks, PDA) en smartphones zijn tegenwoordig standaard uitgerust met een WiFi interface.

Relatie met andere technologieën

De 802.11 standaarden zijn deel van de familie van de WAN/MAN (Wide Area Network / Metropolitan Area Network) communicatiestandaarden die door IEEE zijn gedefinieerd. Andere bekende standaarden uit die familie zijn Ethernet (802.3), Wireless PAN (Personal Area Network) zoals ZigBee (802.15.4) en Bluetooth (802.15.1), WiMAX (802.16), etc.

WiFi levert draadloze internetconnectiviteit en is daarmee aanvullend op, of concurrerend met, technologieën als UMTS/HSPA, WiMAX en LTE. Waar voor laatstgenoemde technologieën een abonnement bij een operator (dus kosten) verbonden is, kan WiFi zonder abonnement worden gebruikt. Daar staat tegenover dat WiFi geen mobiliteit ondersteunt: de gebruiker dient in de omgeving van het access point te blijven.

B.6.2 *Techniek*

Onderliggende techniek

De techniek die door 802.11 wordt gebruikt kan in grote lijnen ingedeeld worden in technieken voor de fysieke laag en technieken voor de MAC laag.

Op de fysieke laag kunnen 802.11 standaarden verschillende transmissietechnieken gebruiken, te weten DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) in 802.11, 802.11b en 802.11g, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) in 802.11g, 802.11a en 802.11n en MIMO (Multiple Input Multiple Output) in 802.11n. Ook op de MAC laag waarop de capaciteit van het beschikbare medium wordt toegekend voor verzending van pakketten, biedt de standaard twee mogelijke technieken (functies) namelijk DCF (Distributed Coordination Function) en PCF (Point Coordination Function). Het PCF-mechanisme leent zich beter voor QoS-gevoelig verkeer, maar DCF is de courante optie in praktische systemen.

De standaard 802.11 definieert *adaptieve modulatie* voor de verzonden signalen. Dit houdt in dat de modulatie en codering vrijwel continu wordt aangepast aan de condities van het radiokanaal, wat concreet kan worden vertaald naar de sterkte van het ontvangen signaal. Op deze manier wordt getracht onder verschillende condities steeds de optimale datasnelheid te bereiken.

Standaardisatie

De 802.11 standaard beschrijft de fysieke laag (hoe de radiosignalen worden verzonden) en de MAC laag (Medium Access Control laag – hoe de apparaten toegang tot het communicatiekanaal krijgen en hoe de data is ‘ingepakt’ in pakketten). De WiFi standaarden zijn oorspronkelijk ontwikkeld voor gebruik in kantoren als draadvervangend communicatiemiddel om extra kabels in kantoor omgeving (voor muizen, toetsenborden, printers, etc.) te voorkomen.

In de loop der jaren is de oorspronkelijke standaard aangepast om hogere snelheden mogelijk te maken. De oorspronkelijke versie was bekend als 802.11 - en die had een maximale snelheid van 1Mbit/s (1 Megabit per seconde). De volgende versie 802.11b had een maximale snelheid van 11Mbit/s, 802.11g en 802.11a hadden een maximale snelheid van 54 Mbit/s. De laatste versie van standaard - 802.11n kan snelheden bereiken tot 400 Mbit/s.⁹⁶ Het nieuwste lid van de 802.1 familie is 802.11p, gemaakt voor communicatie in ITS (Intelligent Transport Systems), met een verwacht bereik van 300m en een datasnelheid van 6Mbit/s.

Frequentiebanden

WiFi kan in verschillende frequentiebanden werken, maar de meest gebruikelijke band is 2.4 GHz, ook wel bekend als de ISM (Industrial, Scientific and Measurement) band, die licentievrij is te gebruiken als aan bepaalde eisen is voldaan, zoals ten aanzien van het maximaal uitgestraalde vermogen. Wegens deze keuze van frequentieband kunnen apparaten die 802.11b en 802.11g gebruiken interferentie krijgen van magnetrons, draadloze telefoons en ook Bluetooth.

802.11a gebruikt de 5GHz band, welke nog relatief weinig voor WLAN wordt gebruikt, dus de kans op interferentie door andere WLANs is kleiner. Er worden in deze band wel radarsystemen gebruikt maar het 802.11a protocol is speciaal ontwikkeld om daarmee om te gaan.

De nieuwe standaard 802.11p werkt in de frequentieband van 5.85 tot 5,925GHz.

De standaard schrijft ook een versie van 802.11 voor die kan werken in de IR (Infra Rood, frequenties in THz) band, maar er zijn weinig fabrikanten die apparaten maken (de meest prominente fabrikant is Spectrix). De IR versie van 802.11 wordt niet verder ontwikkeld, en dus zijn de 2.4 en 5GHz banden de enige reële opties om WiFi te gebruiken.

Datasnelheid

Onderstaande tabel geeft een globaal overzicht van datasnelheden in WiFi. Met de toepassing van steeds weer nieuwe technieken, is de datasnelheid van WiFi ook significant gegroeid. Benadrukt wordt dat ook bij WiFi de datasnelheid sterk afhangt van de kwaliteit van de radioverbinding.

Technologie	<100 kbps	0.1-1 Mbps	1-10 Mbps	10-100 Mbps	>100Mbps
802.11	x	x			
802.11b		x	x		
802.11g		x	x	x	
802.11a		x	x	x	
802.11n			x	x	x
802.11p		x	x	x	

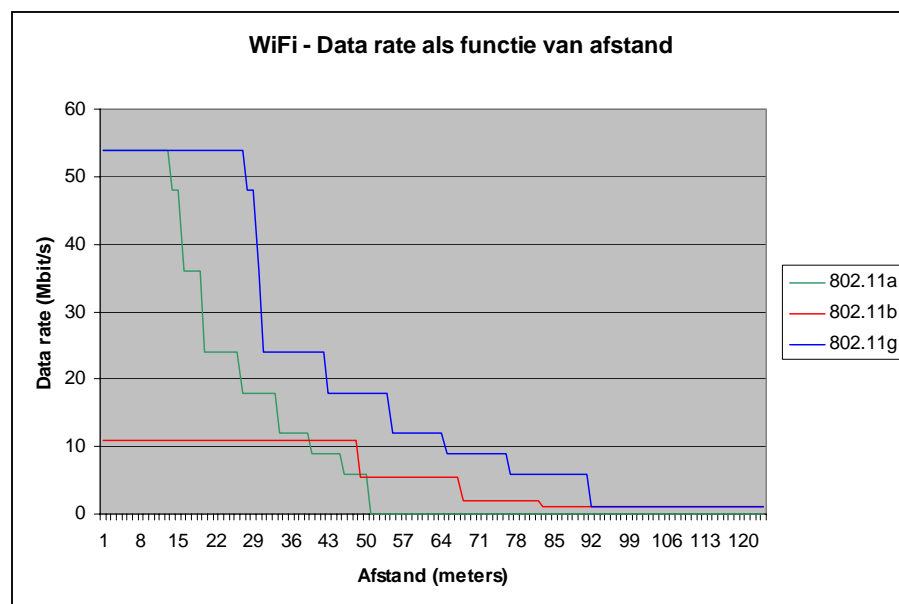
Bereik

⁹⁶ Let op: dit is maximale brutto data rate, en maximale netto (dus nuttige) data throughput is lager dan dit waarde Voor niet zwaar belaste netwerken (dus met niet veel WiFi gebruikers op dezelfde kanaal) is netto datarate ongeveer 2/3 van brutto datarate.

Onderstaande tabel geeft het bereik van WiFi weer. WiFi is primair bedoeld voor in-huis toepassingen en kortere afstanden. Het bereik van 802.11p is maximaal 1000 meters, met een verwacht bereik van ca. 300 m.

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
WiFi	x	x			

In onderstaande grafiek is het resulterende verloop weergegeven van de datasnelheid als functie van de afstand tussen zender en ontvanger. De afhankelijkheid van datasnelheid van afstand is het gevolg van de adaptieve modulatie, waarbij de bitsnelheid wordt aangepast aan de ontvangen signaalsterkte bij de ontvanger.



Figuur B-18: Gedrag datasnelheid als functie van de afstand tussen AP en terminal voor 802.11 a/b/g⁹⁷.

Quality of Service

In de oorspronkelijke versie van de standaard 802.11 was er geen sprake van een apart gedefinieerd QoS mechanisme. Alle data werd op dezelfde wijze behandeld. Toegang tot het radiokanaal werd geregeld via het zogenaamde "contention window" mechanisme, wat eenvoudig gezegd neerkomt op een trekking van een random getal waarbij de uitkomst bepaalt of een terminal al dan niet toegang kan krijgen. Voor best-effort verkeer is dit een acceptabele werkwijze, maar niet voor tijd-kritisch verkeer dat om garanties vraagt bij de afhandeling.

De situatie is gedeeltelijk verbeterd met de introductie van 802.11e, een toevoeging aan de standaard waarin een aantal QoS mechanismes wordt gedefinieerd. Verschillende data types krijgen onderling verschillende toegangskansen door hun contention window kleiner of groter te maken. Het contention window voor spraak is

⁹⁷ Bron: TNO, op basis van cijfers van Cisco.

bijvoorbeeld kleiner dan voor gewone (browsing) data. Dat vertaalt zich in een grotere kans dat een spraak pakket wordt gezonden t.o.v. andere typen data.

Een andere aanpak voor QoS is om niet te vertrouwen op het statistisch gedrag van de gegenereerde pakketten, maar een aparte controller te gebruiken die data van tijdkritische applicaties hogere prioriteit geeft t.o.v. andere typen applicaties. Dit type oplossingen is beschikbaar (bij voorbeeld bij Aruba Networks) maar niet gestandaardiseerd.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Confidentialiteit			x	
Beschikbaarheid			x	
Integriteit			x	

WiFi kent een paar mechanismes voor de bescherming van data - allemaal gebaseerd op encryptie van data verzonden over radio.

De eerste versie van WiFi gebruikte WEP (Wireless Equivalent Privacy) als de basis voor encryptie. WEP bood een vrij zwakke bescherming, en was open voor aanvallen. Tegenwoordig is het vrij makkelijk om tools te downloaden om WEP encryptie te kraken.

Na de vaststelling dat er problemen waren met WEP heeft IEEE een nieuwe encryptiestandaard 802.11i gedefinieerd, ook bekend als WPA en WPA2 (WiFi Protected Access). WPA is gebaseerd op een Advanced Encryption Standard (AES) encryptie mechanisme. Sinds maart 2006 moeten alle apparaten met een WiFi logo aan WPA2 voldoen.

Voor zakelijk gebruik wordt EAP (Extensible Authentication Protocol) gebruikt, maar die vereist het gebruik van een 802.1x authenticatie server.

B.6.3 Markt

Marktpenetratie

WiFi wordt breed gebruikt door zakelijke gebruikers en particulieren. Dit geldt nog niet voor de nieuwe standaard 802.11p.

Naast particulier gebruik, zijn er ook tientallen commerciële WiFi exploitanten. Grote partijen als KPN en T-Mobile beschikken over honderden hotspots. Daarnaast zijn er tientallen kleinere WiFi providers (met gemiddeld 5 tot 30 hotspots).

KPN en T-Mobile bieden via hun hotspots ook aan derden toegang tot internet, zoals hotels, congrescentra, maar ook bij voorbeeld aan klanten van Vodafone. De laatste is een goed voorbeeld waar een partij (Vodafone) geen eigen infrastructuur heeft, en toch zijn klanten (via een commerciële afspraak) toegang aanbiedt tot hotspots.

Belangrijke spelers

Belangrijke spelers voor WiFi infrastructuur (Access Points en routers) zijn de fabrikanten zoals Linksys (deel van Cisco), Asus, Belkin, Apple en Alcatel-Lucent. Wat betreft WiFi terminals zijn er geen dominante spelers, aangezien WiFi echt als 'commodity' technologie moet worden beschouwd, vrij goedkoop en breed toegankelijk. Broadcom is een belangrijke chipset fabrikant.

Operators en hun marktaandeel

De voor een breed publiek beschikbare netwerken kunnen verdeeld worden in twee categorieën: commercieel en niet commercieel. Commercieel wordt WiFi als dienst aangeboden door mobiele operators KPN en T-Mobile, maar ook door verschillende hotels (Bastion Hotels, ...) en horecabedrijven (McDonalds, Bagels&Beans,...). Voorbeelden van een publiek niet-commercieel netwerk zijn Stichting Wireless Leiden of stadsnetwerk in Groningen. Hier komt het er op neer dat bezitters van een WiFi AP deze open stellen voor andere leden. Op deze manier worden semi-publieke WiFi netwerken gevormd.

B.7 DVB-T

B.7.1 Algemeen

Technologietype

Terrestrisch omroepnetwerk voor TV- en radiotoepassingen.

Achtergrond

DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) is een standaard uit 1997 voor “terrestrial broadcast” van digitale TV, ofwel uitzendingen via aardse zendmasten. Het Digital Video Broadcasting (DVB) project⁹⁸ is een industrie-gebaseerd consortium bestaand uit meer dan 250 broadcasters, fabrikanten, netwerkoperators, softwareontwikkelaars en anderen in meer dan 35 landen. Het consortium produceert tevens standaarden voor kabel- en satelliettelevisie en IPTV.

Sinds 2004 wordt de TV dienst via DVB-T geleverd in Nederland onder de naam Digitenne⁹⁹. De zenders van de publieke omroepen (Nederland 1,2 en 3 plus een regionale zender) kunnen gratis (free-to-air) worden ontvangen, de overige zenders worden via KPN als betaald pakket verkocht. In omliggende landen als Engeland en Duitsland worden DVB-T diensten voornamelijk geleverd als ‘free-to-air’ ofwel gratis diensten.

In december 2006 zijn analoge televisie uitzendingen via de ether in Nederland volledig vervangen door digitale televisie via DVB-T¹⁰⁰. Deze operatie staat beter bekend als “analoge switch-off”, wat momenteel in een groot aantal landen plaatsvindt.

Sinds 2008 is ook opvolger DVB-T2 beschikbaar als standaard¹⁰¹. DVB-T2 maakt gebruik van dezelfde infrastructuur, maar biedt wel 30 tot 50% meer capaciteit.

Beschikbaarheid

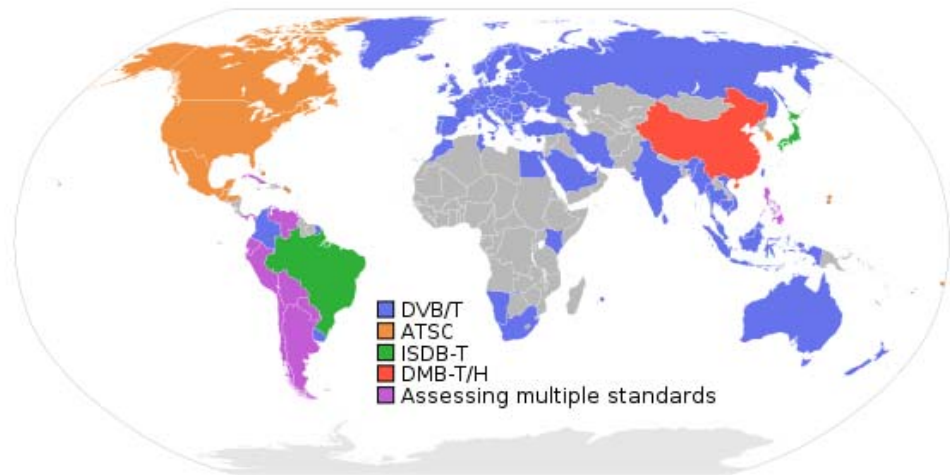
Er zijn verschillende alternatieve terrestrische standaarden in de wereld, maar de DVB-T standaard is wijdverspreid, zie onderstaande figuur. DVB-T is de leidende standaard in Nederland en Europa, maar wordt ook gebruikt in Rusland, Australië, delen van Azië en het Midden Oosten.

⁹⁸ <http://dvb.org>

⁹⁹ <http://digitenne.nl>

¹⁰⁰ <http://www.radio-tv-nederland.nl>

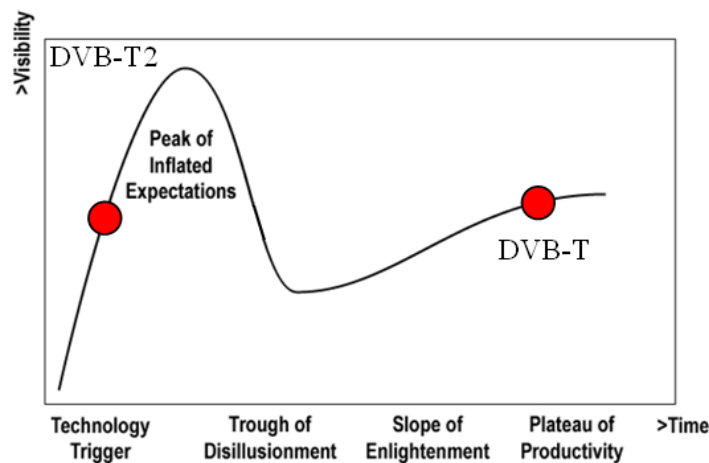
¹⁰¹ <http://www.dvb.org>



Figuur B-19: Gebruik van DVB-T en andere terrestrische broadcast technieken¹⁰².

DVB-T wordt op grote schaal commercieel uitgenut, en zit ver in het “plateau of productivity” van de Gartner hype cycle (zie figuur).

DVB-T2 zit nog in de technology-trigger fase. In Nederland wordt nog geen gebruik gemaakt van deze technologie. In veel landen worden trials uitgevoerd met DVB-T2. In Engeland wordt sinds december 2009 onder de naam ‘Freeview HD’¹⁰³ op basis van DVB-T2 een commerciële dienst geleverd voor HDTV kanalen.



Figuur B-20: Positie van DVB-T op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

DVB-T wordt gebruikt voor het uitzenden van digitale TV en radioprogramma's. De technologie is geschikt voor deze diensten vanwege het omroepkarakter, waardoor een groot aantal mensen de programma's kan ontvangen met slechts een beperkt aantal strategisch geplaatste zendmasten. In Nederland bijvoorbeeld, is er een

¹⁰² <http://en.wikipedia.org>

¹⁰³ <http://freeview.co.uk>

ontvangstbereik van 98% met dakantenne, verzorgd door zenders, die op 44 locaties in Nederland staan opgesteld. De publieke omroepen zijn gratis te ontvangen via DVB-T. KPN¹⁰⁴ biedt tegen betaling een pakket van 23 televisie- en 19 radiozenders (inclusief de publieke omroepen). Ook is er per regio één regionale zender (die dus niet landelijk dekkend is).

In landen als België, het Verenigd Koninkrijk en Duitsland is het zenderpakket voornamelijk gratis te ontvangen. Dit wordt 'free-to-air' genoemd.

Terminals

Tientallen fabrikanten produceren DVB-T ontvangers in de vorm van een losse settopbox, welke op een televisietoestel aangesloten kan worden. Onder andere Samsung en Topfield leveren DVB-T settopboxen die in Nederland gebruikt worden¹⁰⁵. Daarnaast zijn meer dan 80% van de verkochte televisietoestellen van de huidige generatie uitgerust met een ingebouwde DVB-T ontvanger¹⁰⁶. Ook zijn er draagbare TV's en USB-sticks met DVB-T ontvanger te koop voor gebruik in combinatie met een PC¹⁰⁷.

Alle DVB-T apparatuur kan ontvangen in de UHF frequentieband: 430-858MHz. Daarnaast kan een aantal terminals ontvangen in VHF band III (175-230 MHz).

Relatie met andere technologieën

Concurrerende technologieën voor DVB-T in Europa (maar ook in het algemeen) zijn digitale televisie via de satelliet en via vaste (kabel- en telefonie-) netwerken. Digitale televisie via de satelliet gebeurt op basis van DVB-S (Satellite) technologie, met als belangrijkste verschil de veel grotere capaciteit ten opzichte van DVB-T. Met DVB-S kan een zeer groot zenderpakket aangeboden worden, inclusief HDTV zenders.

Digitale televisie over kabelnetwerken via de DVB-C (Cable) technologie heeft in Nederland het grootste marktaandeel. Over ADSL, VDSL en glasvezelnetwerken wordt televisie op basis van IPTV technologie aangeboden. IPTV is nog relatief klein, vergeleken met DVB-C, maar is in opkomst. Naast de veel grotere capaciteit heeft digitale televisie via vaste netwerken de mogelijkheid tot interactiviteit, omdat het vaste netwerk ook een retourkanaal biedt. Overigens bestaat ook de combinatie van DVB-T of DVB-S met DSL of DOCSIS (kabel) voor het retourkanaal, waardoor het grote voordeel van omroepetechnologie (efficiënte distributie van TV-zenders) wordt gecombineerd met interactiviteit.

In mindere mate zijn de draadloze technologieën DVB-H en T-DMB concurrerend. Deze technologieën zijn in Nederland veel minder sterk aanwezig, en hebben een focus op mobiele applicaties en kleinere ontvangstterminals. Zie elders in deze monitor voor meer informatie over respectievelijk DVB-H en T-DMB.

B.7.2 Techniek

Onderliggende techniek

DVB-T is een transmissietechniek gebaseerd op COFDM (Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). COFDM is een modulatiemethode die een enkel

¹⁰⁴ <http://www.digitenne.nl>

¹⁰⁵ <http://www.itu.int>

¹⁰⁶ <http://www.europa.eu>

¹⁰⁷ <http://www.etsi.org>

radiosignaal verdeelt in 1000 of meer verschillende signaaldragers. Deze signalen worden orthogonaal (haaks op elkaar) verzonden zodat er geen interferentie (ongewenste wisselwerking) optreedt tussen de signaaldragers. DVB-T gebruikt COFDM omdat het zeer goed overweg kan met interferentie afkomstig van reflecties.

DVB-T biedt de keuze uit drie modulatietechnieken, die elk hun eigen afweging tussen capaciteit en betrouwbaarheid hebben:

- QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) – lage capaciteit en lage kans op fouten
- QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation-16) – hogere capaciteit en hogere kans op fouten
- QAM-64 (Quadrature Amplitude Modulation-64) – hoge capaciteit en hoge kans op fouten

Daarnaast biedt DVB-T FEC (Forward Error Correction) en guard intervals. Beide technieken zorgen voor een meer betrouwbare ontvangst van het televisie signaal, ten koste van capaciteit.

Gecomprimeerde video, gecomprimeerde audio en datastromen worden gemultiplexed in MPEG program streams (MPEG-PSs). Eén of meer MPEG-PSs worden samengevoegd in een MPEG transport stream (MPEG-TS); Dit is de digitale informatiestroom die uitgezonden wordt en ontvangen door een DVB-T ontvanger. Digitale compressie van het beeldsignaal vindt plaats door het televisiesignaal te coderen volgens de MPEG2 of H.264 standaard.

In de onderliggende techniek moet dus een afweging worden gemaakt tussen de betrouwbaarheid van het signaal en de videokwaliteit of het aantal TV zenders. In Nederland is het netwerk grotendeels gedimensioneerd op ontvangst met binnenantennes, omdat buitenantennes minder geaccepteerd zijn door de consument. In Duitsland en het Verenigd Koninkrijk is er voornamelijk gedimensioneerd op ontvangst met buitenantennes waardoor er netto meer capaciteit overblijft voor de kwaliteit van het videosignaal of meer TV zenders. .

Standaardisatie

DVB-T is gepubliceerd als European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Standard EN 300 744 V1.5.1 (2004-11)¹⁰⁸.

De werkgroepen van het DVB-project maken technische specificaties, die vervolgens worden vastgelegd in standaarden van ETSI of CENELEC. De eerste DVB-T standaard werd in 1997 vastgelegd, en de eerste DVB-T-uitzendingen begonnen in 1998 in Zweden en het Verenigd Koninkrijk.

Het DVB Project heeft in 2008 de opvolger van de DVB-T specificatie uitgebracht: DVB-T2¹⁰⁹. DVB-T2 levert volgens de simulaties ten opzichte van DVB-T een 30-50% capaciteitsuitbreiding op bij dezelfde capaciteit/ruisverhouding, ondermeer doordat ook QAM-256 als modulatie beschikbaar is.

De standaard is geratificeerd door ETSI. De DVB-T2 specificatie is ontworpen om aan de volgende eisen te voldoen:

- moet gebruikt kunnen worden met huidige ontvangstantennes en zender infrastructuur;
- is bedoeld voor ontvangst voor vaste en verplaatsbare ontvanger;

¹⁰⁸ <http://www.dvb.org>

¹⁰⁹ <http://freeview.co.uk>

- identieke planning parameters als DVB-T;
- gericht op 'vaste dak- of buitenantennes'

Alleen in Engeland wordt sinds december 2009 onder de naam 'Freeview HD'¹¹⁰ een DVB-T2 gebaseerde dienst geleverd voor HDTV kanalen.

Frequentiebanden

In Nederland worden frequenties van 470 MHz tot 862 MHz gebruikt (in de UHF band IV en V) voor zowel DVB-T als DVB-T2. Dit komt overeen met TV kanaal 21 tot en met 69, welke in Europees verband zijn afgesproken. In verband met de digitaal dividend discussie (zie Sectie 2.7) wordt de bovenkant van de frequentieband teruggebracht tot 790 MHz.

De standaard laat ook in Europa ook DVB-T uitzendingen in UHF band III toe, (frequentie band 174 –230 MHz). De meeste landen - waaronder Nederland-reserveren deze frequentieband voor alternatieve digitale terrestrische diensten gebaseerd op DVB-H, T-DMB of DAB. De afstemming voor het gebruik van DVB-T frequenties in meer dan 120 landen (waaronder Nederland) is vastgelegd in de Regional Radio Conference 2006 (RRC-06)¹¹¹.

Bij de analoge switch-off is frequentiespectrum vrijgekomen – het zogenaamde digitaal dividend. In eerste instantie wordt het digitaal dividend ingezet voor nieuwe TV-diensten. De Europese Commissie heeft aanbevolen om in 2012¹¹² de analoge switch-off voor geheel Europa af te ronden, waarmee er nog een stuk frequentieruimte in de UHF-band vrij komt. Op dit moment is het beleid van de Europese Commissie en de verschillende Europese landen om in de toekomst het digitale dividend niet alleen voor nieuwe omroepdiensten te bestemmen, maar ook een deel van het vrijgekomen spectrum toe te wijzen aan mobiele communicatiediensten (bijvoorbeeld UMTS).

Meer specifiek wordt frequentieband van 790- 862 MHz (kanaal 61-69) toegewezen aan Electronic Communications Services oftewel aan een nieuwe generatie mobiele diensten. Deze frequentieband is niet een volledig blok dat pas na de Europese analoge switch-off vrijkomt, maar betreft ook frequenties die momenteel in het DVB-T netwerk van KPN gebruikt worden. Digitenne zal de kanalen 61-69 op termijn dan ook vrij moeten maken.

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
DVB-T			x	x	
DVB-T2				x	

De datasnelheid voor DVB-T varieert tussen de 4976 en 31668 Mbit/s per 8 MHz kanaal. Zo'n 8 MHz kanaal wordt multiplex genoemd.

In Nederland zijn er vijf landelijk dekkende multiplexen geoperationaliseerd op basis van de DVB-T zendmasten. Dat wil zeggen dat op iedere locatie met Digitenne dekking er 5 UHF kanalen ontvangen kunnen worden, die in totaliteit de 23 TV en 19 radiozenders dragen. De NPO is houder van een licentie van één van deze multiplexen, KPN bezit de licentie voor de overige 4 multiplexen. Drie daarvan zijn

¹¹⁰ <http://www.kpn.com>

¹¹¹ <http://wireless.per.nl>

¹¹² <http://www.conax.no>

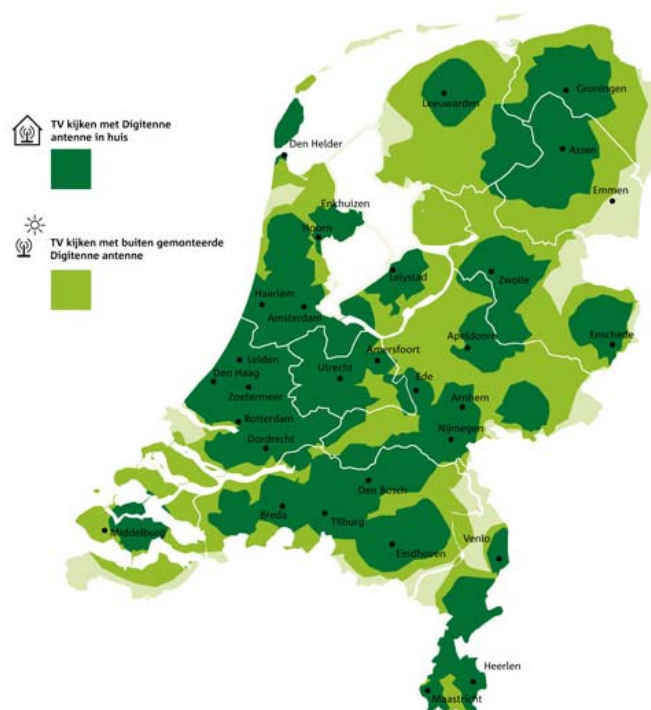
in gebruik voor de Digitenne dienst, één is in gebruik voor de Mobiele TV dienst (op basis van DVB-H; zie aldaar). KPN fungeert wel als netwerkoperaator voor alle vijf multiplexen. KPN heeft recentelijk aangegeven te stoppen met Mobiele TV via DVB-H en deze frequentieruimte toe te wijzen aan een uitbreiding van de Digitenne dienst¹¹³.

Zoals eerder aangegeven wordt de datasnelheid mede bepaald door de gebruikte FEC (Forward Error Correction) en guard intervals. DVB-T2 voegt 30 tot 50% capaciteit toe. Deze capaciteit kan dan ingezet worden voor betere dekking en/of meer TV zenders en/of TV zenders met betere beeldkwaliteit.

Bereik

Technologie	Indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
DVB-T/T2				X	

Het ontvangstbereik van DVB-T is afhankelijk van de gebruikte apparatuur, met name van de ontvangstantenne. In Nederland is er een ontvangstbereik van 98% met dakantenne en 66% met binnenhuisantenne, verzorgd door zenders, die op 44 locaties in Nederland staan opgesteld. Zie onderstaande figuur voor een dekkingsoverzicht per regio.



Figuur B-21. Digitenne dekking per regio¹¹⁴

DVB-T is niet ontworpen voor mobiliteit; bij een snelheid van boven de 10 kilometer per uur kan signaalverlies optreden. Dit is afhankelijk van de gebruikte apparatuur (met name de antenne), modulatie en andere instellingen¹¹⁵. In de praktijk is

¹¹³ <http://tweakers.net>

¹¹⁴ <http://www.satellitecity.nl>

¹¹⁵ <http://www.vergelijk.nl>

Nederland de ontvangst nog redelijk bij een snelheid van ruwweg boven de 40 kilometer per uur.

Quality of service

DVB-T maakt geen onderscheid in prioriteit en latency. DVB-T kent geen traditionele QoS-klassen, maar de videokwaliteit (let op, dus niet de ontvangstkwaliteit) van een zender hangt af van de gebruikte bitsnelheid. Deze wordt per zender door de netwerkoperator vastgesteld en is -vanwege het omroepkarakter van de technologie- voor alle gebruikers gelijk.

De ontvangstkwaliteit wordt bepaald door de modulatietechniek, de gebruikte FEC en het guard interval. Dit wordt door de netwerkoperator vastgesteld. De ontvangstkwaliteit hangt af van de situatie bij de gebruiker en is dus voor iedere gebruiker verschillend.

Informatiebeveiliging

DVB-T bevat geen beveiligingsmechanisme, waardoor het signaal door alle geschikte apparatuur ontvangen kan worden. De beveiliging wordt op transportniveau geregeld met behulp van een CA (Conditional Access) systeem. Hiermee is het mogelijk om bepaalde zenders te blokkeren, tenzij de gebruiker een smart card van de DVB-T aanbieder koopt waarmee de beveiligde kanalen gedecodeerd kunnen worden. In Nederland worden de zenders die aangeboden worden door KPN beveiligd door het Conax¹¹⁶ conditional access systeem. De publieke zenders worden zonder beveiliging doorgegeven en zijn door iedereen te ontvangen met een DVB-T ontvanger (dus ook door bijvoorbeeld toeristen).

B.7.3 Markt

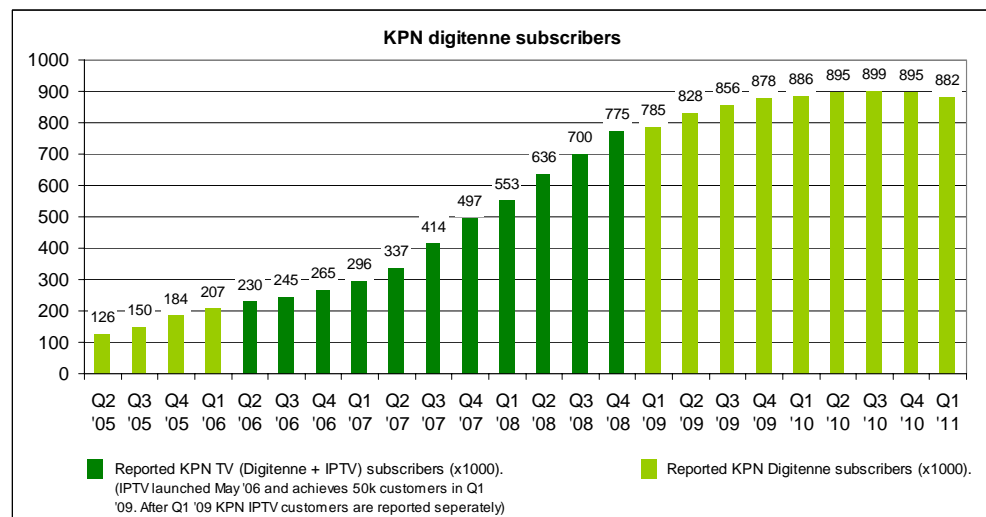
Marktpenetratie

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
DVB-T	1 miljoen (16%)	30%	Geen informatie beschikbaar

In Nederland wordt een groot gedeelte van de TV zenders via DVB-T in een betaalde vorm aangeboden, in tegenstelling tot andere landen in Europa die vooral een Free-to-Air variant aanbieden. De marktpenetratie in Nederland is daarom ook te bepalen aan de hand van het aantal abonnees dat aanbieder Digitenne van KPN rapporteert¹¹⁷. Tegen het einde van Q3 van 2010 telde het aantal Digitenne abonnees bijna 900.000 klanten. In Q4 2010 en Q1 2011 is het aantal klanten licht afgenomen tot 822.000. Zie onderstaande figuur.

¹¹⁶ <http://www1.conrad.nl>

¹¹⁷ <http://www.kpn.com>



Figuur B-22: Ontwikkeling DVB-T abonnees in Nederland¹¹⁸.

Er zijn drie relevante ontwikkelingen op het gebied van DVB-T:

1. De introductie van DVB-T2
2. De digitale switch-over
3. De introductie van TVs met ingebouwde digitale ontvanger

Ad1) DVB-T2

Ontwikkelingen op het gebied van de uitrol van DVB-T2 zijn in Europa van start gegaan. Het Verenigd Koninkrijk heeft als eerst DVB-T2 uitgerold¹¹⁹. Sinds het eerste kwartaal van 2010 zijn er diverse DVB-T2 settopboxen en geïntegreerde TV-ontvangers beschikbaar van verschillende fabrikanten. De komst van HDTV is een grote stimulans voor DVB-T2. HDTV kanalen hebben per saldo 2-3 keer zoveel capaciteit nodig als normale TV kanalen.

Naast het Verenigd Koninkrijk is een aantal landen gestart met diensten, trials en dergelijke op het gebied van DVB-T2. In **Zweden** zijn negen HDTV zenders beschikbaar via twee multiplexen voor DVB-T2. In **Finland** wordt een HD service op basis van DVB-T2 aangeboden via vijf multiplexen. Mid 2011 is de dekkingsgraad 80% van de bevolking. Tot maart 2011 konden de zenders gratis worden ontvangen. In **Italië** zijn HDTV diensten beschikbaar via een DVB-T2 trial via 1 multiplex. De dienst zal live gaan in het najaar van 2011. **Duitsland** start met testen van DVB-T2 in deelstaat Beieren. **Oostenrijk** heeft drie frequenties uitgegeven bestemd voor DVB-T2 service.

Tsjechië start met testen van DVB-T2. **Servië** heeft in 2009 al gekozen voor de DVB-T2 standaard voor terrestrische televisie. **Wit Rusland** start met testen van DVB-T2.

Oekraïne zal DVB-T2 uitrollen op basis van DVB-T2 in september 2011. Buiten Europa heeft op het Afrikaanse continent **Zuid-Afrika** bevestigd dat het DVB-T2 als standaard zal kiezen voor digitale terrestrische TV. **Mozambique** heeft de beslissing van Zuid-Afrika overgenomen en kiest ook voor DVB-T2. In Azië wil **Sri-**

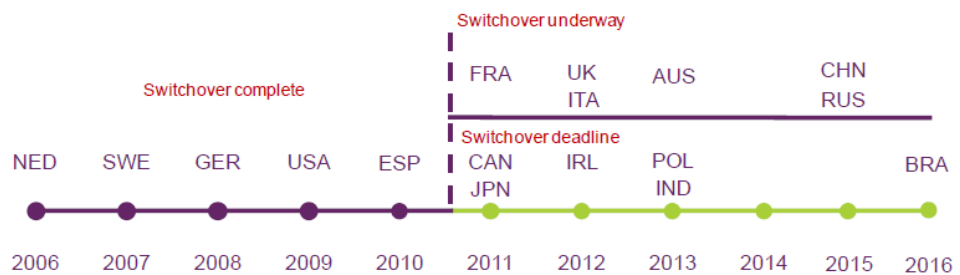
¹¹⁸ TNO, op basis van KPN kwartaalrapportages

¹¹⁹ <http://www.dvb.org>

Lanka de overstap van DVB-T naar DVB-T2 completeren in 2015. **Maleisië** start met testen van DVB-T2.

Ad 2) Digitale switch-over

Door de overgang van analoge naar digitale transmissie komt er in veel landen spectrum vrij voor digitale terrestrische transmissie. De switch over is in Europa in 2006 ingezet, waarbij Nederland één van de eerste landen was. Het komende decennium zullen nog vele andere landen volgen, waarna de overschakeling naar verwachting compleet zal zijn. In onderstaande figuur zijn de jaartallen voor de switch-over voor een aantal belangrijke landen weergegeven.

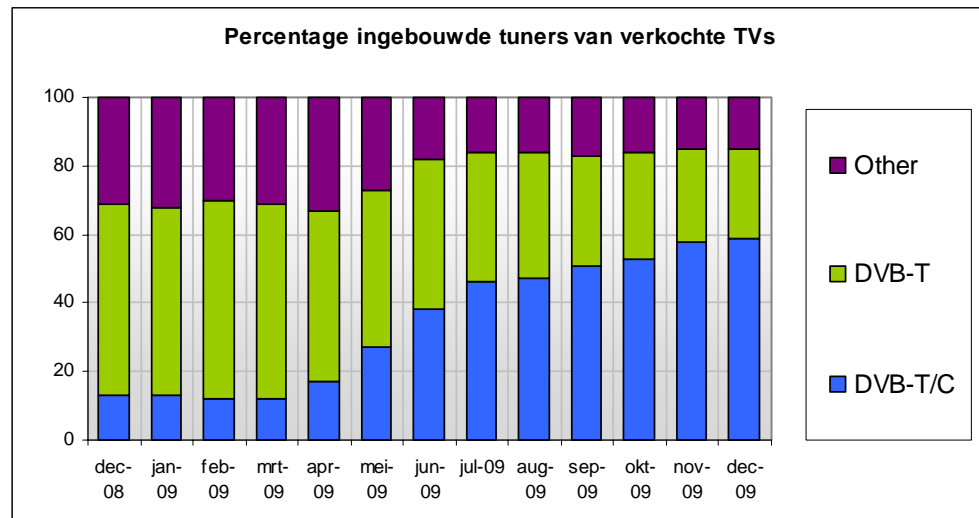


Source: IDATE / industry data / Ofcom

Figuur B-23: Switch over jaartallen van een aantal landen in de wereld.

Ad 3) Introductie TVs met digitale ontvangers.

Een derde relevante ontwikkeling die de afname van de DVB-T dienst stimuleert is de introductie van TV's met ingebouwde digitale ontvanger. Hierdoor zijn er geen losse settopboxen of extra afstandsbedieningen meer nodig en kan de TV-dienst ontvangen worden door rechtstreeks de kabel in de TV te steken. In slechts een kort tijdsbestek is deze ontwikkeling doorgevoerd bij vrijwel alle nieuwe televisies. In onderstaande figuur is het percentage ingebouwde tuners van verkochte TV's weergegeven. Begin 2009 was 70% van de verkochte TVs al uitgerust met een DVB-T tuner. In onderstaande figuur is te zien dat in één jaar tijd het aandeel multimodale ontvangers is uitgebreid van 10% naar bijna 60%, waardoor TV's dus zowel Digitenne als wel Ziggo kabelTV konden ontvangen met slechts enkel een insteekkaart voor de decryptie. Sinds kort heeft ook UPC aangekondigd om insteekkaarten te gaan verkopen zodat dit type TV's de televisiedienst van UPC kan ontvangen zonder tussenkomst van een settopbox.



Figuur B-24: Percentage ingebouwde tuners van verkochte TVs¹²⁰.

Belangrijke spelers

Grootste aanbieders van zenders of terminals in Nederland: Samsung (Digitenne decoder), Conax (Digitenne insteekkaarten), Funke (antenne) en Rohde and Schwarz of Harris Corporation (zenders).

Na de overname van Digitenne is KPN in Nederland de enige netwerkoperator van DVB-T. Andere belangrijke operators van betaalde DVB-T diensten in Europa zijn¹²¹:

Frankrijk: Canal Plus Group, TV Numeric en Vestavision

Italië: Mediaset en Dahlia TV

VK: Top Up TV

Spanje: La Sexta

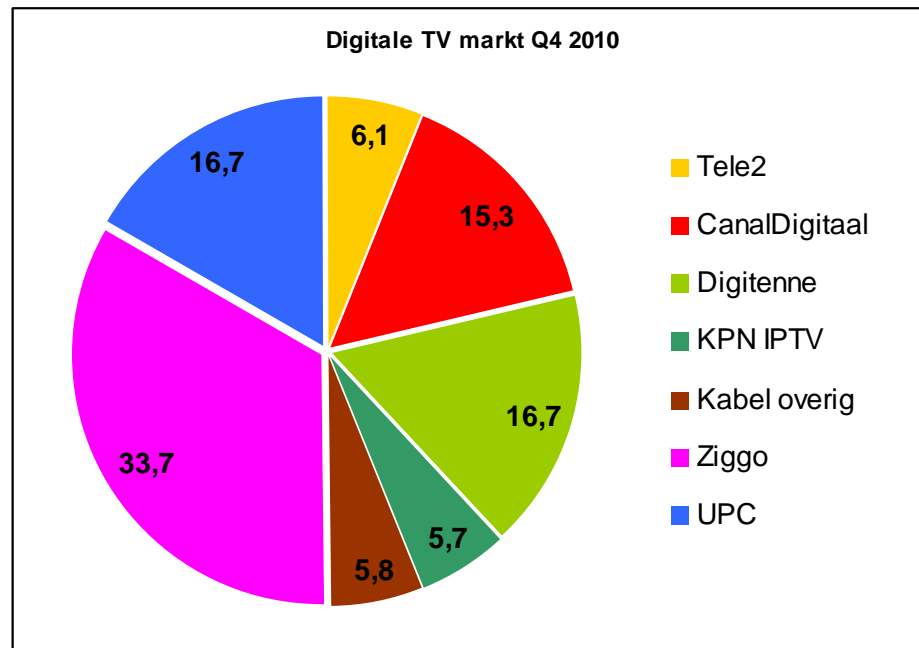
In het Verenigd Koninkrijk wordt DVB-T2 aangeboden als DTV services (commerciële naam is: Freeview) door een samenwerking van BBC, ITV, Channel 4, Sky en transmitter operator Arqiva.

Operators en hun marktaandeel

In Q4 2010 bedroeg het marktaandeel van Digitenne op de digitale TV markt in Nederland 16.7%, zie onderstaande figuur.

¹²⁰ bron:GfK.

¹²¹ <http://mavise.obs.coe.int>



Figuur B-25: Digitale TV markt in Nederland in Q4 2010¹²².

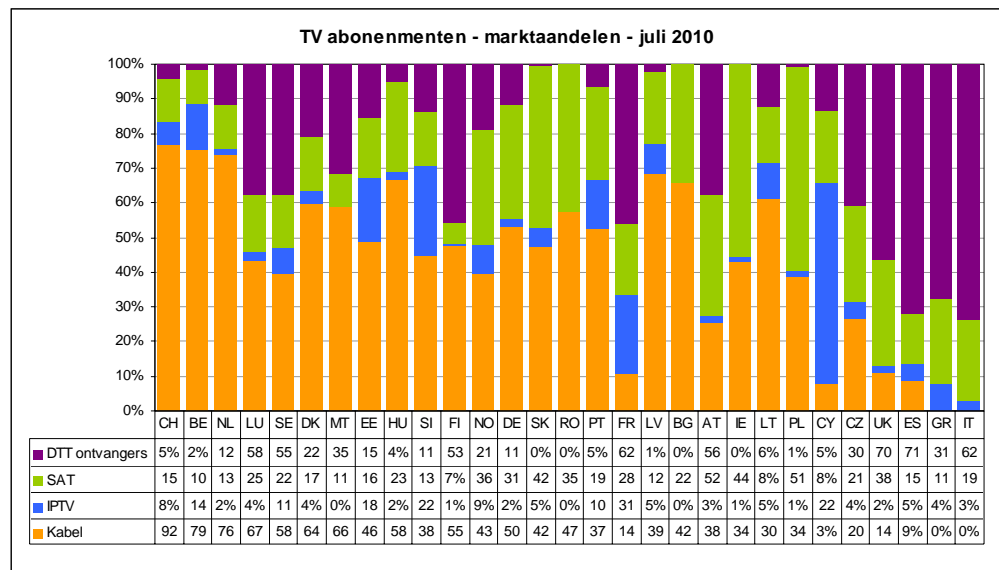
Het aantal abonnees laat na een sterke stijging de afgelopen jaren voor het eerst een afname zien in de Q4 2010 en Q1 2011. Het zal moeten blijken of deze trend zich doorzet, het aantal abonnees zich gaat stabiliseren of eventueel weer groeien. KPN voert de komende tijd een aantal wijzigingen door in het televisiepakket van Digitenne. Het aantal televisiekanalen wordt uitgebreid voor Digitenne. Doordat KPN stopt met DVB-H komt er landelijk één multiplex extra voor het zenderaanbod van Digitenne beschikbaar, die ruimte biedt aan 4-8 kanalen. KPN heeft aangegeven de televisiezenders 13Th Street en SLAM! TV toe te voegen aan Digitenne. Daarnaast vervangt KPN de erotische zender Private Spice door een andere erotische zender¹²³. Tenslotte heeft KPN in januari 2011 een distributieovereenkomst met BBC Worldwide Channels gesloten voor de doorgifte van landelijke televisie- en radiokanalen van de Britse publieke omroep BBC. Hierdoor komen de televisiekanalen BBC One en BBC Two evenals de eerste vier landelijke radiokanalen van de BBC bij Digitenne beschikbaar¹²⁴.

Om een indicatie te geven van de marktpenetratie in *Europa* zijn in onderstaande figuur de marktaandelen van de belangrijkste netwerken voor televisie weergegeven, i.e. kabel (analoog en digitaal), IPTV, satelliet en DVB-T.

¹²² TNO, op basis van KPN en GfK cijfers.

¹²³ <http://www.kpn.com>

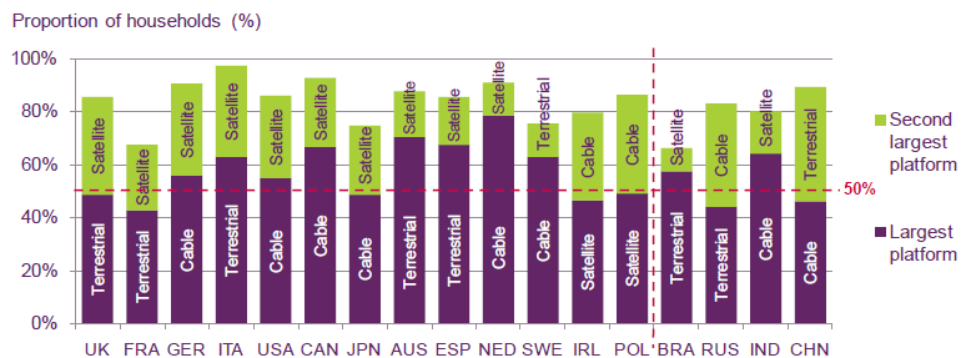
¹²⁴ <http://www.kpn.com>



Figuur B-26: Marktaandelen van technologieën voor TV ontvangst. Kabel omvat zowel analoge als digitale kabel. DTT heeft betrekking op DVB-T ontvanger. Huishoudens die gebruik maken van analoog terrestrisch zijn niet weergegeven in deze figuur. Deze cijfers zijn ook niet eenvoudig beschikbaar, omdat dit bijna altijd als FTA dienst wordt aangeboden, waarvoor geen registratie bij de aanbieder nodig is¹²⁵.

De markt voor betaalde televisie in Europa is uiterst divers en competitief. De profielen per land en regio zijn erg verschillend in Europa. Frankrijk, Italië en Spanje zijn typisch landen waarbij de penetratie van terrestrisch erg hoog is. In Nederland, België, Denemarken, Zweden en Zwitserland domineert kabel. In Midden- en Oost-Europa maken veel mensen gebruik van satelliet TV.

Ook *buiten Europa* is de markt zeer divers zoals in onderstaande figuur te zien is.



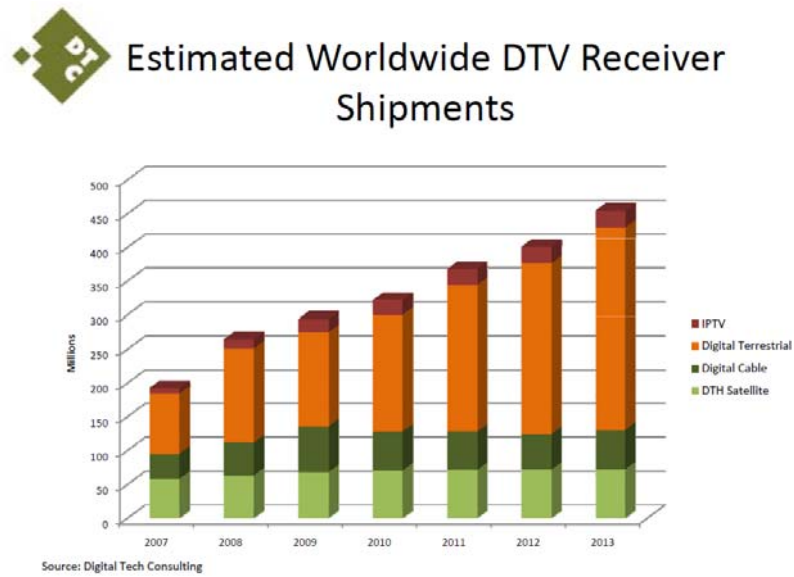
Source: IDATE / industry data / Ofcom

Figuur B-27: Overzicht van primaire en secundaire ontvangsttechniek voor de belangrijkste TV set in een huishouden.

Op dit moment hebben de kabeloperators het grootste aantal abonnees in Europa. Het marktaandeel van DVB-T zal naar verwachting in de komende jaren sterk toenemen door de landen in Azië en Afrika, die nog overschakelen van analoge

¹²⁵ bron: European Audiovisual Observatory, <http://www.obs.coe.int>

naar digitale terrestrische ontvangst. Onderstaande figuur toont de verwachte groei in het aantal DTT ontvangers (oranje balk).



Figuur B-28: Ontwikkeling DTT settopboxen verkoop, aantallen wereldwijd.

B.8 DVB-H

B.8.1 Algemeen

Technologietype

Terrestrisch omroepnetwerk voor mobiele multimedia toepassingen.

Achtergrond

Voor mobiele TV zijn er een aantal speciale dragerstandaarden gespecificeerd die rekening houden met zeer mobiele ontvangst en apparaten met beperkte processor kracht en schermresolutie, gevoed door een accu voor de stroomvoorziening. In Europa en Afrika ondersteunt men voornamelijk de DVB-H (Handheld) standaard. Omdat mobiele TV standaarden vaak zijn afgeleid van 'fixed' TV of audio standaarden wordt in iedere regio van de wereld een andere standaard ondersteund.

DVB-H¹²⁶ of Digital Video Broadcasting - Handheld is een standaard uit 2004 voor digitale televisie en multimedia, speciaal bedoeld voor draagbare apparaten zoals mobiele telefoons en PDA's. Het is een onderdeel van de DVB-standaard. DVB-H kan gezien worden als een doorontwikkeling op DVB-T. De twee technologieën lijken sterk op elkaar, maar DVB-H heeft enkele optimalisaties voor mobiel gebruik.

Het Digital Video Broadcasting (DVB) project is een industrie-gebaseerd consortium bestaand uit meer dan 250 broadcasters, fabrikanten, networkoperators, software developers, en anderen in meer dan 35 landen. Ze produceren ook standaarden voor kabel-, satelliettelevisie en IPTV. Daarnaast werkt het DVB-project aan opvolgers voor DVB-H, zoals DVB-SH (Satellite Handheld) en DVB-H2/DVB-NGH¹²⁷ (Next Generation Handheld).

Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van de technologie in Europa is sterk aflopend en zal waarschijnlijk in 2012 in geheel Europa gestaakt worden. DVB-H is in Europa vanaf 2005 getest met proefuitzendingen in Nederland, Vlaanderen, Finland, Duitsland¹²⁸. Buiten Europa zijn onder andere Rusland, de Filipijnen en Vietman de landen waar DVB-H is uitgerold. KPN Mobiel TV op basis van DVB-H is 4 juni 2008 officieel van start gegaan in Nederland. KPN heeft echter aangegeven per 1 juni 2011 met de dienst te zullen stoppen¹²⁹. De dienst bestaat uit 15 TV zenders¹³⁰. De meeste zenders gebruiken de zendantennes van de DVB-T zendstations. De dekking is minder groot dan DVB-T.

DVB-H zit in het "dal van desillusie" van de Gartner hype cycle (zie onderstaande figuur). Het is twijfelachtig of DVB-H het 'plateau of productivity' zal bereiken, omdat behalve in Nederland ook in andere landen DVB-H diensten¹³¹ voortijdig gestopt zijn. De opvolgers van DVB-H zitten nog in de beginfase van de 'Technology Trigger'.

¹²⁶ <http://www.dvb-h.org>

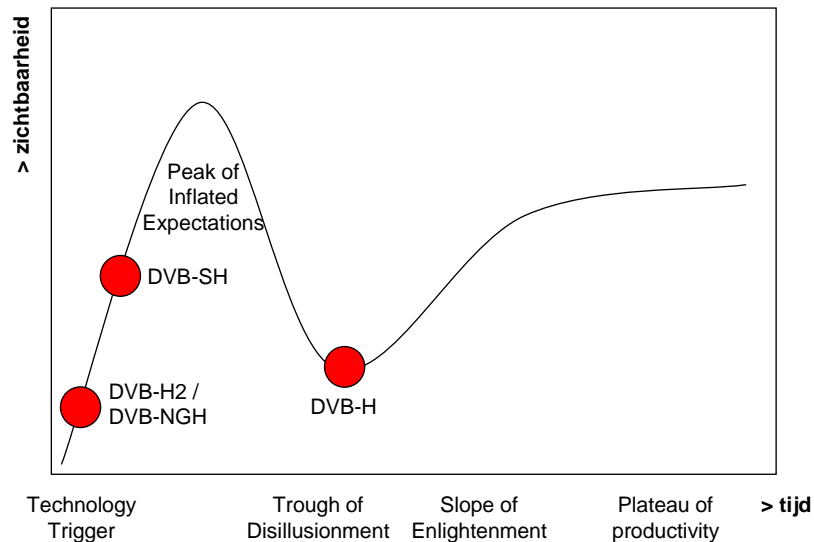
¹²⁷ <http://www.dvb.org>

¹²⁸ <http://www.dvb-h.org>

¹²⁹ <http://www.kpn.com>

¹³⁰ <http://www.radio-tv-nederland.nl>

¹³¹ <http://issard.wordpress.com>



Figuur B-29: DVB-H en opvolgers op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

DVB-H wordt gebruikt voor het uitzenden van digitale TV- en radioprogramma's en data op mobiele apparaten zoals telefoons. De technologie is geschikt voor deze diensten vanwege het broadcast karakter, waardoor een groot aantal mensen de programma's kan ontvangen met slechts een beperkt aantal strategisch geplaatste zendmasten. Daarnaast heeft de DVB-H dienst optimalisaties voor mobiele apparaten, die het stroomverbruik beperken en rekening houden met de beperkte schermgrootte. Tevens kan de technologie omgaan met mobiele terminals die zich met hoge snelheid verplaatsen.

Terminals

Fabrikanten LG (type KB620), Nokia (types N92, N96 en 5310¹³²) en Samsung (type P960¹³³) bieden mobiele telefoons met DVB-H ontvangers welke geschikt zijn voor de Nederlandse markt. Deze telefoons worden echter niet meer nieuw verkocht. Nokia heeft ook een losse dongle ontwikkeld waarmee DVB-H ontvangen wordt en via Bluetooth met een geschikt toestel TV kan laten zien.

Daarnaast zijn er verschillende fabrikanten die mobiele toestellen met DVB-H bieden die geschikt zijn voor de Aziatische markt. Gigabyte bijvoorbeeld levert een aantal terminals die geschikt zijn voor DVB-T, DVB-H, T-DMB en DAB ontvangst in Azië¹³⁴.

Relatie met andere technologieën

Met de introductie van UMTS, HSDPA en andere 3G Mobiel Internet technologieën is het mogelijk geworden om via het mobiele datanetwerk televisiebeelden te ontvangen. Moderne high-end toestellen beschikken over deze technologie. Omdat de 3G dekking in Nederland (en vele andere West Europese landen) vrijwel 100%

¹³² <http://tweakers.net>

¹³³ <http://www.allaboutphones.nl>

¹³⁴ <http://www.gigabytecm.com>

is, is ook de netwerkdekking van mobiele TV via 3G vrijwel 100%. Let wel, nog niet iedere operator biedt Mobile TV via 3G als commerciële dienst aan.

De concurrerende broadcast technologie T-DMB bestaat eigenlijk uit een collectie van losse standaarden, waar keuzes uit gemaakt kunnen worden die samen een dienst vormen. Dit vereist wel een end-to-end afspraak tussen de dienstleverancier en de toestelfabrikanten. Daarnaast is Qualcomm nog lange tijd actief geweest met FLO als alternatieve technologie in de VS. Maar ook deze dienst is gestaakt¹³⁵.

B.8.2 Techniek

Onderliggende techniek

DVB-H maakt gebruik van de DVB-T technologie, maar heeft daarnaast enkele belangrijke aanvullingen:

1. DVB-H maakt gebruik van time slicing, ofwel van data bursts in plaats van een constante datatransmissie waarbij elke burst maximaal twee Mbit aan gegevens bevat. Time-slicing kan tot een besparing van 90% op batterijverbruik leiden, omdat de aan/uit tijden van de ontvanger worden beperkt. De mobiele ontvanger ontvangt alleen gedurende een korte periode het signaal van de TV zender waarop het afgestemd is, waarna het weer uit gaat.
2. DVB-H biedt IP-gebaseerde diensten. De IP pakketten worden getimesliced en geëncapsuleerd in een MPEG-2 transportstream. Vervolgens worden ze in een DVB-T multiplex gestopt en uitgezonden.
3. Aanvullend op de DVB-T technologie heeft DVB-H MultiProtocol Encapsulation-Forward Error Correction (MPE-FEC) en 4k modulatieschema. Deze technologie zorgt ervoor dat signaalontvangst ook mogelijk is wanneer de mobiele terminal zich met hoge snelheid voortbeweegt.

Omdat DVB-H diensten IP-gebaseerd zijn, wordt ook het videosignaal in IP verzonden. H.264¹³⁶ is de standaard voor digitale compressie van videomateriaal.

Standaardisatie

De werkgroepen van het DVB-project hebben de technische specificaties van DVB-H opgesteld, welke daarna gepubliceerd is als European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Standard EN 302 304 in november 2004¹³⁷. Bovenop de DVB-H standaard zijn twee concurrerende dienststandaarden voor DRM en IP gebaseerd datatransport gespecificeerd: DVB-IPDC en OMA-BCAST¹³⁸.

Opvolger DVB-SH (Satellite Handheld) is in 2008 gespecificeerd door ETSI als TS 102 585 V1.1.2 (2008-04)¹³⁹. Deze technologie is gebaseerd op een hybride satelliet/terrestrial broadcast en bijvoorbeeld een GPRS retourkanaal. DVB-SH bevat een aantal verbeteringen ten opzichte van DVB-H, die zorgen voor betere ontvangst. In Frankrijk en Italië zijn DVH-SH proeven aan de gang. In Nederland zijn er nog geen proeven gepland.

¹³⁵ <http://www.mobilebusinessbriefing.com>

¹³⁶ <http://www.itu.int>

¹³⁷ <http://www.etsi.org>

¹³⁸ <http://www.openmobilealliance.org>

¹³⁹ <http://www.etsi.org>

In het DVB forum zijn de commerciële specificaties voor de volgende generatie handheld specificaties uitgegeven – DVB-NGH¹⁴⁰. De technische standaardisatie voor opvolger DVB-NGH stagneert, vanwege het tegenvallende commerciële succes van DVB-H. De plannen wijzen in de richting van een mobiel profiel van de DVB-T2 standaard, gericht op mobiele ontvangers met beperkte rekencapaciteit die gevoed worden door een accu, maar aan daadwerkelijke specificaties is men nog niet begonnen.

Frequentiebanden

DVB-H is ontworpen in de banden VHF-III (170-230 MHz), UHF-IV/V (470-862 MHz) en L (1.452-1.492 GHz). DVB-H kan niet alleen gebruikt worden in een TV-kanaal van 6, 7 of 8 MHz breed maar ook in een kanaal van 5 MHz breed. Dit opent de mogelijkheid om DVB-H in banden voor mobiele communicatie, zoals UMTS, onder te brengen.

DVB-H gebruikt in Nederland dezelfde frequentiebanden als DVB-T, ofwel frequenties tussen 470 MHz en 862 MHz.

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
DVB-H			x	x	

DVB-H maakt gebruik van de DVB-H technologie, waarmee de bruto datasnelheid varieert tussen de 4976 en 31668 Mbit/s per 8 MHz kanaal. Zo'n 8 MHz kanaal wordt multiplex genoemd. In Nederland wordt één van de 5 operationele Digitenne multiplexen gebruikt voor DVB-H diensten. De datasnelheid wordt mede bepaald door de gebruikte FEC (Forward Error Correction) en guard intervals.

De netto datasnelheid is maximaal 15 Mbit/s, omdat er een extra laag met foutcorrigerende code is toegevoegd.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
DVB-H				x	

Het ontvangstbereik van DVB-H is afhankelijk van de gebruikte apparatuur, met name de ontvangst antenne. Landelijk heeft KPN met DVB-H een dekking van 85% buitenshuis en 65% binnenshuis¹⁴¹.

DVB-H is ontworpen voor mobiliteit, en geschikt voor ontvangst bij hoge snelheden (boven de 300 kilometer per uur)¹⁴².

Quality of Service

DVB-H maakt net als DVB-T geen onderscheid in prioriteit en latency. DVB-H kent geen traditionele QoS klassen, maar de videokwaliteit (let op, dus niet de ontvangstkwaliteit) van een zender hangt af van de gebruikte bitsnelheid. Dit wordt per zender door de netwerkoperator vastgesteld en is – vanwege het omroepkarakter van de technologie – voor alle gebruikers gelijk.

¹⁴⁰ <http://www.dvb.org>

¹⁴¹ <http://www.typhone.nl>

¹⁴² <http://www2.rohde-schwarz.com>

De ontvangstkwaliteit wordt bepaald door de modulatietechniek, de gebruikte FEC en het guard interval. Dit wordt door de netwerkoperator vastgesteld. De ontvangstkwaliteit hangt af van de situatie bij de gebruiker en is dus voor iedere gebruiker verschillend.

Informatiebeveiliging

De beveiliging van DVB-H wordt op content niveau geregeld met behulp van een DRM (Digital Rights Management) Systeem waarvan er enkele op de markt zijn. Hiermee is het mogelijk om bepaalde TV zenders of programma's te blokkeren. KPN maakt gebruik van het OMA BCAST DRM profiel¹⁴³.

B.8.3 Markt

Marktpenetratie

KPN heeft in 2008 de Mobile TV dienst gelanceerd. Deze dienst biedt 13 TV kanalen aan die gebroadcast worden via het DVB-H netwerk en is beschikbaar op vier typen telefoontoestellen. In 2008 heeft KPN een voorlopemde rol gespeeld in de industrie en heeft als eerste operator in Europa de Mobiele TV dienst geïmplementeerd gebruikmakend van de OMA BCAST standaard. In november 2009 gaf KPN aan 40.000 aansluitingen te hebben bereikt¹⁴⁴. Echter KPN heeft aangegeven in juni 2011 de dienst te staken.

De uitrol van DVB-H in Europa is beperkt gebleven¹⁴⁵. Er zijn hoofdzakelijk vier belangrijke oorzaken voor het niet slagen van de mobiele TV dienst via DVB-H (of welke broadcast technologie dan ook):

1. Geen sluitende business case
2. Afwijkend consumentengedrag bij Mobiele TV ten opzichte van vaste TV
3. Gebrek aan terminals
4. Instapbarrières voor content partijen

Ad 1) Business case

In de drie belangrijke landen Frankrijk, Duitsland en Spanje is de dienst nooit van de grond gekomen vanwege problemen rondom de business case. Vooral in Frankrijk heeft deze discussie de partijen vier jaar lang bezig gehouden.

Ad 2) Mobiel consumentengedrag

Bij mobiele TV kun je niet exact het TV programma kiezen dat je wilt. Je valt vaak midden in de uitzending. Dit is onaantrekkelijk voor de mobiele gebruiker, die bij een kortstondige mogelijkheid om Mobiele TV te kijken veel meer behoefte heeft om even iets te kijken, maar wel vanaf het begin. Bij vaste TV zijn kijkmomenten in het consumentengedrag ingesloten, maar voor mobiele TV sluiten interactieve netwerken (zoals 3G) veel beter aan bij de behoefte. Alleen bij grote live evenementen zoals de Olympische Spelen of WK voetbal is de gebruiker bereid zijn mobiele gedrag (i.e. kijkmoment) aan te passen aan de TV-programmering. In de andere gevallen zal de gebruiker willen dat de TV-programmering zich aan zijn gedrag aanpast.

Ad 3) Terminals

¹⁴³ <http://www.dvb-h.org>

¹⁴⁴ <http://www.dvb.org>

¹⁴⁵ Mobile TV status overzicht Q4 2009, TNO

De levensduur van mobiele telefoons is relatief kort. Voor het welslagen van een dienst is daarom de continue beschikbaarheid van nieuwe telefoons die de dienst ondersteunen van cruciaal belang.

Ad 4) Content partijen

Om content via DVB-af te leveren, dient een contract gesloten te worden met en moet een uitzendstraat worden ingericht bij de aanbieder en uitbater van het netwerk. Dit is relatief bewerkelijk, ook omdat de capaciteit beperkt is. Voor contentpartijen is het eigenlijk eenvoudiger om een dienst aan te bieden via het Internet, die daarmee automatisch beschikbaar is voor iedere gebruiker met een Internet-enabled telefoon ongeacht de operator of locatie van de eindgebruiker. Dit heeft ervoor gezorgd dat de uitrol beperkt is gebleven.

In 2009 is een DVB-H trial gestart in Polen en Hongarije. De Finse DVB-H trial dienst is omgezet naar een commerciële dienst. In Rusland zijn Kentavr en Vimpelcom in december 2009 begonnen met een DVB-H trial rondom Moskou. Echter, in de belangrijkste Europese markten is de ontwikkeling minder ver doorontwikkeld dan gehoopt en in Frankrijk, Engeland en Spanje komt de dienst niet van de grond.

Nergens in *Europa* wordt nog in de dienst geïnvesteerd. De meeste trials zijn aflopend. **Finland** en **Italië** zijn de enige twee overgebleven landen met een DVB-H service (als KPN stopt in juni). Maar wegens een gebrek aan nieuwe toestellen zal de waarde van de dienst ook verdwijnen in die landen¹⁴⁶. In **Frankrijk** blijft het business model voor DVB-H een struikelblok, er is veel discussie wie de investeringen voor het broadcast netwerk moet dragen. De laatste tegenslag is dat Virgin (één van de MVNOs) het DVB-H plan laat vallen¹⁴⁷. **Spanje** beperkt zich nog tot plannen op papier omdat, evenals in het Verenigd Koninkrijk, de frequenties nog niet vrijgegeven zijn. In Spanje heeft de Spaanse overheid mobiele TV op basis van DVB-H 'on hold' gezet. Voornaamste redenen hiervoor zijn het ontbreken van een duidelijke markt vraag en een levensvatbaar businessmodel. Vodafone heeft in oktober een mobiele TV dienst in de markt gezet gebaseerd op streaming content.

Duitsland had eerder dit jaar een 'bezinningsperiode' ingelast over een herstart voor DVB-H, met als belangrijke voorwaarde een relevante interesse vanuit de markt. Het lijkt er echter op dat ook in Duitsland de dienst definitief wordt beëindigd¹⁴⁸. In **Engeland** was er nog geen spectrum voor mobiele omroep en gaat alle aandacht uit naar videodiensten via 3G en WiFi met de BBC iPlayer of Sky premium sport applicaties. Het is buitengewoon twijfelachtig of DVB-H nog wordt uitgerold als daar in 2012 spectrum beschikbaar komt,

In **Oostenrijk** wordt de dienst een flop genoemd, zo blijkt uit onderzoek van de Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH. De dienstverlening door TDF (10.000 abonnees) is eind december 2010 gestaakt. In **Zwitserland** is Swisscom gestopt met DVB-H en overgegaan op een mobiele tv dienst gebaseerd op HSPA/UMTS/EDGE, wegens een gebrek aan DVB-H devices. In **Nederland** zijn in 2010 geen ontwikkelingen geweest en in 2011 heeft KPN aangegeven te staken met de dienst in juni 2011.

In **Polen** en **Hongarije** is men in 2009 een DVB-H trial gestart. In **Rusland** zijn Kentavr en Vimpelcom in december 2009 begonnen met een DVB-H trial rondom

¹⁴⁶ <http://www.isuppli.com>

¹⁴⁷ <http://www.totaltele.com>

¹⁴⁸ <http://www.unthinkable.biz>

Moskou. Sindsdien zijn er geen plannen vernomen om de proef om te zetten in een commerciële dienst.

DVB-H heeft in 2009 en 2010 dus niet gebracht wat er eerder van gehoopt werd. In toenemende mate gaan geluiden op dat LTE belangrijk wordt voor mobiele TV.

Belangrijke spelers

In Nederland wordt DVB-H door KPN wholesale aangeboden aan mobiele operators. KPN vervult hiermee de rol van mobiele netwerkoperator. KPN gebruikt hiervoor één van de vier frequenties van de DVB-T licentie.

Operators in het buitenland zijn die in meerdere landen actief zijn: Smart Communications Inc. (Polen), Antenna Hungaria (Hongarije), Digita (Finland) en Sistema (Rusland)

De voornaamste fabrikanten van mobiele terminals die DVB-H op enkele toestellen hebben gezet zijn: Nokia, Samsung en LG. Nokia is de voornaamste aanjager van de DVB-H standaard geweest. De Koreaanse vendors investeren vooral in de technologie met een significante marktvraag. Echter, er worden er geen nieuwe toestellen meer aangekondigd die DVB-H ondersteunen.

De belangrijkste aanbieders van zenders zijn Rohde and Schwarz en Harris Corporation.

Operators en hun marktaandeel

Zoals beschreven is de beschikbaarheid van de technologie in Europa sterk aflopend en zal waarschijnlijk in 2012 in geheel Europa gestaakt worden. .

B.9 T-DMB

B.9.1 Algemeen

Technologietype

Terrestrisch omroepnetwerk voor mobiele TV en radio toepassingen.

Achtergrond

T-DMB (Terrestrial - Digital Multimedia Broadcasting) is een van DAB afgeleide techniek om multimedia (radio, TV and datacasting) naar mobiele apparaten, zoals mobiele telefoons te zenden. De techniek is in Zuid-Korea¹⁴⁹ ontwikkeld in het kader van een nationaal IT project om multimedia diensten voor mobiele apparaten te ontwikkelen, en oorspronkelijk bedoeld om FM radio te vervangen. De eerste officiële mobiele TV dienst op basis van T-DMB startte in mei 2005, maar testen werden al veel eerder uitgevoerd. Sindsdien is het onderliggende standaardisatieorgaan WorldDAB¹⁵⁰ bezig om de technologie ook buiten Zuid-Korea te promoten.

T-DMB vertoont gelijkenissen met DVB-H. T-DMB gebruikt – in tegenstelling tot S-DMB – uitzendingen via aardse zendmasten (en dus geen satellieten).

Beschikbaarheid

In Nederland zijn op 11 februari 2009 vergunningen verleend aan Mobiele TV Nederland en Callmax Global om T-DMB uit te zenden in respectievelijk band VHF band III en de UHF L-band. In Nederland zijn er nog geen T-DMB gebaseerde diensten, hoewel Mobiele TV Nederland eerder via de website heeft aangekondigd op dat ze eind 2010 een dienst met landelijke dekking in bedrijf wilden hebben¹⁵¹.

In Noorwegen is in 2009 de dienst MiniTV gelanceerd¹⁵². Mobiles Fernsehen Deutschland (MFD) is in 2008 gestopt met T-DMB uitzendingen. Canada en Maleisië doen sinds 2008 proeven. De T-DMB dienstverlening in Zuid Korea is het meest uitgebreid, en bestaat uit 7 TV kanalen, 12 radiokanalen en 8 datakanalen.

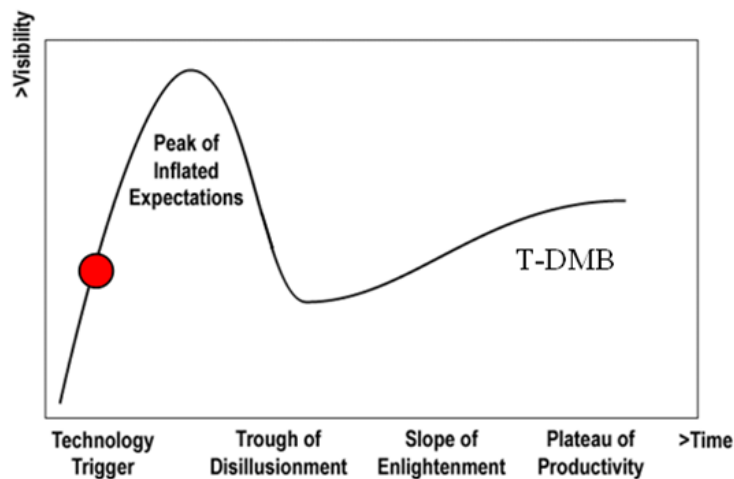
T-DMB zit in Nederland aan het begin van de 'technology trigger' op de Gartner hype cycle (zie onderstaande figuur). In Zuid Korea bijvoorbeeld zit het al op het "Plateau of Productivity". Het is onduidelijk of de technologie het "Plateau of Productivity" gaat bereiken in Nederland.

¹⁴⁹ <http://eng.t-dmb.org>

¹⁵⁰ <http://www.worlddab.org>

¹⁵¹ <http://www.mtvnl.nl>

¹⁵² <http://www.minitv.no>



Figuur B-30: T-DMB in Nederland op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

T-DMB wordt gebruikt voor het uitzenden van digitale TV en radio programma's en data op mobiele apparaten zoals telefoons. De technologie is geschikt voor deze diensten vanwege het omroepkarakter, waardoor een groot aantal mensen de programma's kan ontvangen met slechts een beperkt aantal strategisch geplaatste zendmasten. Daarnaast heeft de T-DMB dienst optimalisaties voor mobiele apparaten, die het stroomverbruik beperken en rekening houden met de beperkte schermgrootte. Tevens kan de technologie omgaan met mobiele terminals die zich met hoge snelheid verplaatsen.

Terminals

Bij de WorldDAB organisatie zijn ruim 20 ontvangers geregistreerd die T-DMB uitzendingen kunnen ontvangen¹⁵³. T-DMB-ontvangers zijn vrijwel altijd ook geschikt voor DAB ontvangst. Dit zijn voornamelijk mobiele mediaspelers en telefoons. De telefoons zijn echter niet geschikt voor 3G mobiele data communicatie in Europa (GSM, UMTS), en daardoor onbruikbaar in Europa.

In Zuid-Korea komen mobiele telefoons van onder andere fabrikant LG en Samsung op de markt die T-DMB ondersteunen. Deze toestellen zijn ongeschikt voor mobiele datacommunicatie in Europa, omdat ze de CDMA standaard ondersteunen in plaats van GSM.

De International DMB Advancement Group (IDAG) en tablet PC maker Enspert hebben een samenwerkingsverband opgericht en zullen in de zomer van 2011 Android tablets op de markt brengen met ingebouwde digitale radio en mobiele TV ontvangst op basis van DAB/DAB+ en T-DMB. De tablet PC zal vermarkt worden in alle vier de continenten.

Relatie met andere technologieën

T-DMB is afgeleid van DAB en is op gebied van audio dienstverlening concurrent hiervan.

¹⁵³ <http://www.worlddab.org>

Met de introductie van UMTS, HSDPA en andere 3G Mobiel Internet technologieën is het mogelijk geworden om via het mobiele datanetwerk televisiebeelden te ontvangen. Moderne high-end toestellen beschikken over deze technologie. Omdat de 3G dekking in Nederland (en vele andere West Europese landen) vrijwel 100% is, is ook de netwerkdekking van mobiele TV via 3G vrijwel 100%. Let wel, nog niet iedere operator biedt Mobile TV via 3G als commerciële dienst aan.

De concurrerende broadcast technologie is DVB-H. Daarnaast heeft T-DMB concurrentie op het gebied van audio diensten van DVB-T, en van de kabel, waarmee ook analoge FM en digitale radio te ontvangen is.

Het is onduidelijk of mobiele TV via terrestrische omroepnetwerken zoals DVB-H en T-DMB het gaat winnen van mobiele TV gebaseerd op 3G en 4G mobiele datanetwerken. Onder meer een gebrek aan toestellen die geschikt zijn voor DVB-H en T-DMB voor de Europese markt vormt een barrière.

B.9.2 Techniek

Onderliggende techniek

T-DMB is gebaseerd op COFDM, en maakt gebruik van DQPSK modulatie. Net als bij DVB-H wordt de audio en video getransporteerd in een MPEG transport stream (MPEG-TS) en wordt gebruik gemaakt van H.264 voor videocompressie en HE-AAC v2 voor audiocompressie. Ook wordt Forward Error Correction (FEC) op basis van Reed Solomon toegepast, voor robuustheid van het ontvangstsignaal. Tevens wordt time-slicing toegepast, d.w.z. datatransmissie vindt plaats in bursts en niet continu om het batterijverbruik van de ontvanger te beperken.

Standaardisatie

T-DMB is, naast DAB en DAB+, onderdeel van de Eureka-147 familie van standaarden, uitgegeven door het WorldDMB¹⁵⁴ forum. Dit forum is een internationale organisatie met als doel de promotie van Eureka 147 gebaseerd diensten in de wereld. De naam van de organisatie, WorldDMB, refereert naar 'Digital Multimedia Broadcasting', dat radio, mobiele TV en datadiensten omvat. Het forum representeert meer dan 80 bedrijven en organisaties uit alle hoeken van de broadcasting industrie, afkomstig uit 25 landen.

De courante standaard voor T-DMB is tevens gestandaardiseerd onder ETSI TS 102 428¹⁵⁵. De DAB/DMB standaard heeft een aantal multimedia en verkeersinformatie- en navigatie applicaties beschreven, i.e. Middleware / DAB Java, Digital Music Download (DMD), Voice Applications, Broadcast WebSite (BWS), SlideShow (SLS), TopNews, Dynamic Label, TPEG en TMC. Maar hoewel er veel dienstmodules *enabled* zijn is geen van de diensten volledig *end-to-end* gespecificeerd.

Frequentiebanden

T-DMB zendt uit in VHF band III (174-230 MHz), en in de UHF L band (1452-1479 MHz).

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
-------------	-------------	--------------	-------------	---------------	------------

¹⁵⁴ <http://www.worlddab.org>

¹⁵⁵ <http://www.etsi.org>

T-DMB		x	x		
-------	--	---	---	--	--

De bitsnelheid voor een enkele T-DMB multiplex (een frequentieband van 7 of 8 MHz) ligt tussen de 1,1 en 1,6 Mbit/s, en is afhankelijk van verschillende instellingen in het netwerk¹⁵⁶.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
T-DMB				x	

Het ontvangstbereik van T-DMB is afhankelijk van de gebruikte apparatuur, met name de ontvangstantenne. In Nederland heeft T-DMB nog geen dekking.

T-DMB is ontworpen voor mobiliteit, en geschikt voor ontvangst bij hoge snelheden (tot 200 kilometer per uur).

Quality of Service

T-DMB kent geen traditionele QoS klassen, maar de beeldkwaliteit (let op, dus niet de ontvangstkwaliteit) van een zender hangt af van de gebruikte bitsnelheid. Dit wordt per zender door de netwerkoperator vastgesteld en is – vanwege het broadcast karakter van de technologie – voor alle gebruikers gelijk.

DAB maakt geen onderscheid in prioriteit en latency. De ontvangstkwaliteit wordt bepaald door de modulatie-techniek, de gebruikte FEC en het guard interval.

Informatiebeveiliging

T-DMB bevat geen beveiligingsmechanisme. Eventuele bescherming zal op content niveau moeten gebeuren via een DRM systeem of Conditional Access. In de praktijk wordt hier geen gebruik van gemaakt.

B.9.3 Markt

Marktpenetratie

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
T-DMB	n/a	?	?

In Nederland zijn op 11 februari 2009 vergunningen verleend aan Mobiele TV Nederland en Callmax Global om T-DMB te zenden in respectievelijk band III en de L-band¹⁵⁷. Beide partijen zijn bezig om (commerciële) diensten aan te bieden volgens de T-DMB standaard en hadden aangekondigd in de loop van 2010 het volledige netwerk uit te rollen. De uitrol van Callmax staat echter in de ijskast. De huidige status van het netwerk van Mobiele TV NL is niet bekend. Er zijn voor zover bekend nog geen commerciële diensten in Nederland beschikbaar op basis van T-DMB.

Ter vergelijking met andere landen hebben de volgende landen T-DMB diensten gelanceerd: Zuid-Korea, Noorwegen, Frankrijk, Italië, Polen, Maleisië, Ghana,

¹⁵⁶ <http://www.digitalradiotech.co.uk>

¹⁵⁷ <http://radio-tv-nederland.nl>

Egypte en China¹⁵⁸. Recent zijn hebben Tsjechië en de Dominicaanse Republiek ook besloten om diensten op basis van T-DMB te gaan uitrollen. De beperkte beschikbaarheid van informatie maakt het niet mogelijk om vergelijkende uitspraken te doen over de marktpenetratie van T-DMB. Een selectie van landen wordt hieronder toegelicht.

De meest succesvolle uitrol van T-DMB is in **Zuid Korea**¹⁵⁹ met een dekking van 75% bij een populatie van 59 miljoen. Medio 2009 zijn er een paar honderd T-DMB modellen beschikbaar op de Zuid-Koreaanse markt, waarvan het aantal richting de 20 miljoen gaat. Daarnaast laat het gebruik van mobiele TV een jaarlijkse groei zien, met een adoptie van 22 miljoen mobiele tv kijkers in 2009¹⁶⁰.

China¹⁶¹ is het tweede land in Azië met een T-DMB uitrol. Eind 2008 was er T-DMB dekking in de provincies Guangzhou, Beijing (dekking: 12 miljoen inwoners), Shanghai (dekking: 15 miljoen inwoners), Dalian (dekking: 5.4 miljoen inwoners), Henan, Hangzhou, Shengyang, Jiangsu, Shenzhen, Changsha and Kunming.

In *Europa*¹⁶² zijn sinds 2009 T-DMB diensten beschikbaar in **Noorwegen** met een dekkingsgebied rondom Oslo In **Frankrijk** is door de overheid besloten om T-DMB radio als standaard te gebruiken. Verdere ontwikkeling zal eind 2010 als eerste plaats vinden in Parijs, Nice en Marseille. Daarna zullen er plannen worden ontwikkeld voor de overige gebieden in Frankrijk. In **Polen** zijn er sinds 2009 trials op het gebied van DAB+ radio en T-DMB mobiele video diensten gestart in de omgeving van Warschau. In **Italië** worden de ontwikkelingen commerciëler na jaren van testen en trials. Er is nu een standaard die verplichte ondersteuning van ontvangers voorschrijft van FM RDS; DAB+ DMB band L & band III. Broadcasters kunnen kiezen om hun radiouitzendingen te verzorgen in DAB, DAB+ of T-DMB.

In *Afrika*¹⁶³ is **Ghana** het enige land met een commerciële T-DMB dienst. Deze is sinds 2008 actief en heeft een landelijke dekking. **Zuid-Afrika** voert testen uit met Mobile TV op basis van T-DMB in de provincie Gauteng.

Onderstaande figuur laat de wereldwijde adoptie van T-DMB zien.

¹⁵⁸ <http://www.theidag.org>

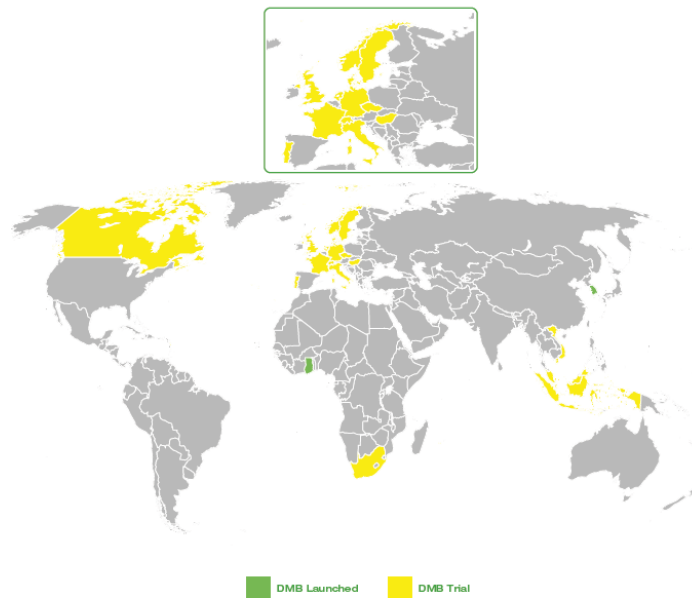
¹⁵⁹ <http://www.worlddab.org>

¹⁶⁰ <http://www.koreatimes.co.kr>

¹⁶¹ <http://www.worlddab.org>

¹⁶² <http://www.worlddab.org>; <http://www.broadbandtvnews.com>

¹⁶³ <http://www.worlddab.org>



Figuur B-31: Adoptie van T-DMB wereldwijd¹⁶⁴.

Belangrijke spelers

In Nederland zijn twee partijen licentiehouders van T-DMB: Mobile TV Nederland en Callmax Global. Beide partijen waren bezig met de uitrol in Nederland. Deze partijen kunnen ook de rol van service provider op zich nemen. Ook het aanbieden in Wholesale format behoort tot de mogelijkheden, bijvoorbeeld aan potentiële service providers zoals telecom operators (Vodafone, T-Mobile), kabelmaatschappijen (Ziggo) en andere commerciële partijen (o.a. Rabobank)¹⁶⁵.

In Zuid-Korea wordt broadcasting gereguleerd door The Ministry of Information and Communication en The Korean Broadcasting Commission.

In Noorwegen is de T-DMB dienst gelanceerd door het Norwegian Mobile TV Corporation (NMTV) in samenwerking met de drie grote broadcasters van Noorwegen: NRK (de publieke omroep), TV2 en Modern Times Group (MTG)¹⁶⁶.

De voornaamste aanbieders van mobiele terminals zijn Samsung en LG.

Operators en hun marktaandeel

In Nederland zijn er nog geen volwassen (commerciële) diensten op T-DMB. Er is geen informatie beschikbaar over operators en marktaandelen in Nederland.

¹⁶⁴ World DMB, Global Broadcasting Update DAB/DAB+/DMB, september 2010

¹⁶⁵ <http://www.mtvnl.nl>

¹⁶⁶ <http://www.broadbandtvnews.com>

B.10 DAB(+)

B.10.1 Algemeen

Technologietype

Terrestrisch omroepnetwerk voor audio toepassingen.

Achtergrond

Digital Audio Broadcasting (DAB) is een digitale radio technologie voor het uitzenden van radiostations, welke voornamelijk in Europa gebruikt wordt. Het is ontwikkeld als alternatief voor analoge FM radio, met als voordelen een storingsvrije ontvangst en minder benodigde bandbreedte per zender. DAB is ontwikkeld in de jaren '80 en technisch beschikbaar sinds 1993. Er zijn inmiddels meer dan 1000 stations wereldwijd die uitzenden in DAB. DAB+ is de opvolger van DAB, waarmee ook MPEG surround audio ontvangen kan worden. Verschillende landen doen proeven met DAB+.

Beschikbaarheid

DAB+ is als proef beschikbaar in Eindhoven via operator Callmax¹⁶⁷. DAB+ broadcasts zijn (als proef) beschikbaar in Zwitserland¹⁶⁸, Italië and Australië. Andere landen volgen. DAB (niet DAB+) uitzendingen worden verzorgd in Nederland door de publieke omroepen.

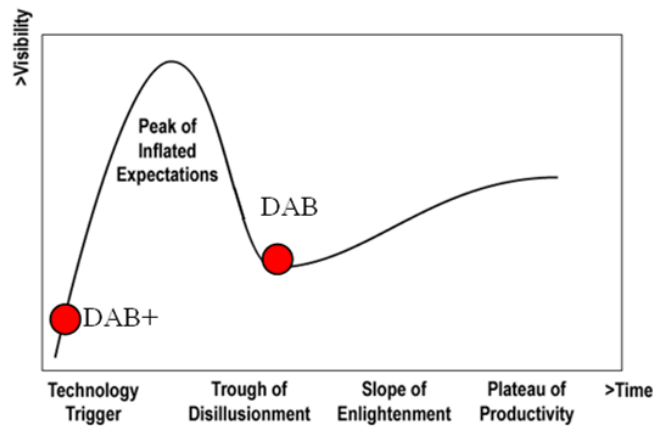
In april 2011 is het besluit gevallen dat de vergunningen van de landelijke en de niet-landelijke commerciële omroepen voor analoge uitzendingen verlengd worden tot 2017¹⁶⁹. Om digitalisering van frequenties mogelijk te maken, wordt aan de verlenging de voorwaarde gekoppeld dat per 1 september 2015 minstens 80 procent van de zenders via de zogeheten digitale radio DAB-standaard is te ontvangen.

DAB+ zit in het begin van de 'technology trigger' op de Gartner hype cycle, zie onderstaande figuur. DAB zit in het dal van desillusie vanwege de tegenvallende geluidskwaliteit en het feit dat DAB er niet in geslaagd is om FM te vervangen. Wellicht gaat het dankzij de door de Nederlandse overheid in 2009 voorgenomen digitaliseringsimpuls voor etherradio met DAB+ wel lukken. Al met al verloopt de adoptie van DAB(+) in Europa en Nederland in het bijzonder dus traag.

¹⁶⁷ <http://radio-tv-nederland.nl>

¹⁶⁸ <http://digitalradio.ch>

¹⁶⁹ <http://www.agentschaptelecom.nl>



Figuur B-32: Positie van DAB en DAB+ op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

DAB+ wordt gebruikt voor het uitzenden van digitale radio programma's. De technologie is geschikt voor deze diensten vanwege het omroepkarakter, waardoor een groot aantal mensen de programma's kan ontvangen met slechts een beperkt aantal strategisch geplaatste zendmasten.

Terminals

Bij de WorldDAB organisatie zijn inmiddels meer dan 40 ontvangers geregistreerd die DAB+ uitzendingen kunnen ontvangen¹⁷⁰. Dit zijn voornamelijk portable ontvangers voor thuisgebruik en een enkele high-end ontvanger. DAB is met meer dan 300 ontvangers veel wijder verspreid.

DAB+ ontvangers zijn vrijwel altijd ook geschikt voor DAB en FM radio ontvangst.

Relatie met andere technologieën

De grote concurrent van DAB(+) is nog steeds analoge FM radio. FM radio heeft in Nederland 100% dekking (met uitzondering van de regionale omroepen), en alle vaste, draagbare en autoradio apparatuur kan FM radio ontvangen. Ook in landen waar een overschakeling op DAB(+) is aangekondigd ondervindt men veel oppositie van partijen die van mening zijn dat FM in alle behoeftes van de consumenten voorziet. De overschakeling op DAB zou grote kosten en ongemakken met zich meebrengen, gezien de grote verspreiding van draagbare FM ontvangers en FM autoradio's.

Vervolgens is ook Internetradio een grote concurrent voor digitale ontvangst voor radio. Hoewel men kan twisten over de efficiëntie van radio via (mobiel) Internet, is de penetratie van Internet-enabled devices in kantooromgevingen en mobiel wel zeer groot.

Daarnaast zendt ook DVB-T radioprogramma's uit en is via de kabel ook analoge FM en digitale radio te ontvangen¹⁷¹. Tenslotte bestaat er nog een technologie

¹⁷⁰ <http://www.worlddab.org>

¹⁷¹ <http://www.ebu.ch>

genaamd Digital Radio Mondiale; een set van technologieën die gebruik maakt van de huidige AM radio band¹⁷².

B.10.2 Techniek

Onderliggende techniek

DAB+ is gebaseerd op COFDM (Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) en DQPSK modulatie. COFDM is een modulatie methode die een enkel radiosignaal verdeelt in 1000 of meer verschillende signaaldragers. Deze signalen worden orthogonaal (haaks op elkaar) verzonden zodat er geen interferentie (ongewenste wisselwerking) optreedt tussen de signaaldragers. COFDM kan zeer goed overweg met interferentie afkomstig van reflecties.

Audiocompressie is gebaseerd op AAC+, waarmee ook MPEG surround sound ontvangst mogelijk is. Daarnaast gebruikt DAB+ Reed–Solomon error correction, welke ook bij DVB-T wordt toegepast.

Ten opzichte van DAB heeft DAB+ een veel betere geluidskwaliteit door het gebruik van AAC+ en Reed–Solomon error correction.

Standaardisatie

DAB+ is, naast DAB en DMB, onderdeel van de Eureka-147 familie van standaarden, uitgegeven door WorldDAB¹⁷³. DAB+ is tevens gestandaardiseerd onder ETSI TS 102 563 v.1.1.1¹⁷⁴.

Frequentiebanden

In Europa zijn de TV-band III (174–240 MHz) (VHF) en de L-Band (1452–1492 MHz) (UHF) gedefinieerd voor DAB en DAB+. In Nederland en België wordt DAB momenteel alleen in band III uitgezonden, maar er zijn in Nederland tests geweest in de L-band.

Datasnelheid

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
DAB en DAB+			x		

De gebruikte bitsnelheid voor DAB is variabel in te stellen. Doorgaans is deze 128 kbit/s per audiostream, maar hogere bitsnelheden zijn mogelijk; incidenteel zijn er 160- en 192 kbit/s-uitzendingen. De in deze tabel aangegeven score geldt voor de capaciteit van een volledige multiplex.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
DAB en DAB+				x	

Het ontvangstbereik van DAB is afhankelijk van de gebruikte apparatuur, met name de ontvangstantenne. DAB (en dus ook DAB+) heeft nog geen landelijke dekking; voornamelijk de Randstad en het midden van het land worden bediend¹⁷⁵.

¹⁷² <http://www.drm.org>

¹⁷³ <http://www.worlddab.org>

¹⁷⁴ <http://www.etsi.org>

DAB is ontworpen voor mobiliteit, en geschikt voor ontvangst bij hoge snelheden (boven de 200 km/h).

Quality of service

DAB kent geen traditionele QoS-klassen, maar de audiokwaliteit (let op, dus niet de ontvangstkwaliteit) van een zender hangt af van de gebruikte bitsnelheid. Dit wordt per zender door de netwerkoperator vastgesteld en is – vanwege het omoepkarakter van de technologie – voor alle gebruikers gelijk.

DAB maakt geen onderscheid in prioriteit en latency. De ontvangstkwaliteit wordt bepaald door de modulatie-techniek, de gebruikte FEC en het guard interval.

Informatiebeveiliging

DAB bevat geen beveiligingsmechanisme.

B.10.3 Markt

Marktpenetratie

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
DAB	70% dekking	?	?

In Nederland is momenteel alleen de publieke omroep als DAB te beluisteren. Ook in België zenden alleen de openbare omroepen VRT, RTBF en BRF uit. De DAB dekking in Nederland is 70% bij een populatie van 16 miljoen personen. Voor zover bekend is DAB+ in Nederland nog niet uitgerold en is er dus nog geen sprake van marktpenetratie. Duidelijk is wel dat Nederland internationaal gezien achterloopt met de ontwikkeling van DAB¹⁷⁵. In het Verenigd Koninkrijk is er al enige tijd een DAB netwerk actief. Het voornemen van de Nederlandse overheid uit 2009 om de verlenging van commerciële FM en AM licenties te koppelen aan een verplichte uitrol van een digitale infrastructuur voor radio-omroep is een direct gevolg van deze achterstandspositie. Een overzicht van landen met DAB en desbetreffende landelijke dekking wordt aangegeven in onderstaande tabellen¹⁷⁷.

Landen buiten Europa	Populatie (x mln)	DAB dekking
Australië	20.6	15%
Canada	33.2	30%
China	1320	8%
Singapore	4.5	99%
Taiwan	24	90%
Zuid Korea	59	75%

Landen binnen Europa	Populatie (x mln)	DAB dekking
België	10.5	100%
Tsjechie	10.3	20%
Denemarken	5.5	90%
Frankrijk	63	20%
Duitsland	83	70%
Ierland	4	44%

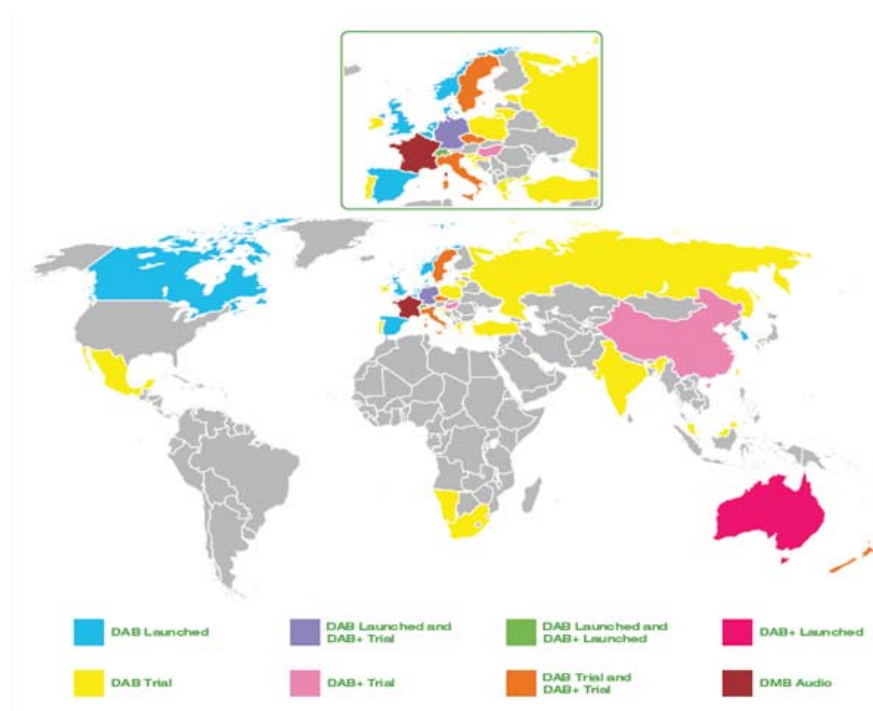
¹⁷⁵ <http://www.frequentieland.nl>

¹⁷⁶ <http://www.radio.nl>; <http://www.digi-radio.nl>

¹⁷⁷ Global Broadcasting Update – DAB/DAB+/DMB, 2010

Italie	59	75%
Malta	0.4	100%
Nederland	16	70%
Noorwegen	4.8	80%
Polen	38.5	5%
Spanje	45	52%
Verenigd Koninkrijk	60.6	90%
Zwitserland	7.5	90%

Onderstaande figuur geeft de situatie weer ten aanzien van de uitrol van DAB en DAB+ netwerken wereldwijd (trials of operationeel).



Figuur B-33: Status van beschikbaarheid van DAB/DAB+ wereldwijd¹⁷⁸

Een andere graadmeter om inzicht te geven in de adoptie van DAB, is door te kijken naar het aantal verkochte DAB radiotoestellen per 100 huishoudens in een desbetreffend land. Onderstaande tabel geeft een overzicht¹⁷⁹ van Nederland ten opzichte van een geselecteerd aantal Europese landen.

¹⁷⁸ World DMB, Global Broadcasting Update DAB/DAB+/DMB, september 2010

¹⁷⁹ De impact van de digitalisering van de etherradio voor de luisteraar- Dialogic (2009)

Land	Jaar start pilot	Jaar DAB intro	Aantal verkochte DAB-ontvangers per 100 huishoudens		
			2007-Q1	2008-Q4	2009-Q3
Belgie	1997	2000	1.2	onbekend	onbekend
Denemarken	1995	2001	13.6	45.5	onbekend
Duitsland	onbekend	1999	1.1	1.6	onbekend
Frankrijk	1998	nvt	onbekend	onbekend	onbekend
Ierland	2006	nvt	onbekend	onbekend	onbekend
Nederland	2004	nvt	0.1	onbekend	onbekend
Verenigd Koninkrijk	onbekend	1995	14.4	26.8	38.6

Overigens is er geen directe relatie tussen het zenderaanbod en de mate van adoptie. In Duitsland ligt het aantal unieke zenders hoog, maar blijft de adoptie achter. Het tegenovergestelde is te constateren in Denemarken, waar een relatief hoge adoptie is terwijl het aantal unieke zenders beperkt is. Over het algemeen blijft de adoptie achter bij de verwachtingen. Toch zijn er een paar relevante ontwikkelingen geweest in Duitsland en Noorwegen met betrekking tot DAB(+).

Duitsland heeft eind 2010 aangekondigd om een aantal radiostations landelijk aan te bieden via DAB+. Er is een overeenkomst gesloten tussen een aantal commerciële radiozenders en Media Broadcast GmbH die de taak van netwerkoperaator op zich neemt. Het betreft de volgende commerciële zenders¹⁸⁰:

- Die Neue Welle Rundfunk-Verwaltungsgesellschaft mbH & Co. KG
- Entspannungsradio GmbH i.G.
- ERF Medien e.V.
- Radio 97,1 MHz Hamburg GmbH (ENERGY)
- REGIOCAST DIGITAL GmbH

In **Noorwegen** heeft men aangekondigd om FM af te schakelen in januari 2017. De afschakeling vindt pas plaats nadat aan een aantal stringente voorwaarden is voldaan¹⁸¹. Noorwegen volgt daarmee voorgenomen besluiten om digitale radio te stimuleren van het **Verenigd Koninkrijk** en **Frankrijk**. In het Verenigd Koninkrijk zijn er ook – heftig bekritiseerde¹⁸¹ - voornemens om in 2015 FM radio af te schakelen. In Frankrijk is in 2009 een wet aangenomen omtrent de integratie van digitale ontvangers in radio's¹⁸².

Belangrijke spelers

Lokale overheden spelen een belangrijke rol in het succes van DAB. Daarnaast blijkt uit verschillende landen cases dat DAB goed van de grond komt bij een succesvolle samenwerking tussen lokale overheden, broadcast partners en commerciële omroepen¹⁸². Daarnaast spelen ook autofabrikanten een belangrijke rol bij de adoptie van DAB devices.

Operators en hun marktaandeel

Er is geen informatie beschikbaar over operators en hun marktaandelen. In Nederland wordt op dit moment vooral uitgezonden door publieke omroepen op basis van free-to-air, daarmee is sprake van een gelijkmatige verdeling van het marktaandeel.

¹⁸⁰ <http://www.garfors.com>

¹⁸¹ <http://grantgoddardradioblog.blogspot.com>

¹⁸² <http://www.worlddab.org>

B.11 TETRA

B.11.1 Algemene beschrijving

Technologietype

TETRA is een open standaard voor gesloten cellulaire digitale mobiele radionetwerken ten behoeve van professionele gebruikers van *command and control* verbindingen, waarbij spraak de meest essentiële dienst is. TETRA wordt met name gebruikt in de OOV (Openbare Orde en Veiligheid) sector, zoals door politie, brandweer en ambulancediensten, voor defensie, in de transportsector en bij nutsbedrijven.

Achtergrond

TETRA is in 1990 als *Trans European Trunked Radio Access* begonnen als een Europees initiatief, ingegeven door het Schengen-akkoord waardoor landsgrenzen binnen Europa wegvielen. Hierdoor werd gebrek aan grensoverschrijdende OOV-communicatie onacceptabel.

De TETRA MoU (Memorandum of Understanding) Association, meestal kortweg aangeduid als TETRA Association, werd opgericht in december 1994 als forum dat optreedt namens alle belanghebbende partijen (gebruikers, fabrikanten, aanbieders van applicaties, exploitanten, etc.) om innovaties aan te dragen ter standaardisering door ETSI (European Telecommunication Standardisation Institute)¹⁸³. Ook werd collectieve ondersteuning beoogd voor het verkrijgen van het benodigde spectrum. Rond 1995 werd het potentieel duidelijk voor een mondiale markt en veranderde de benaming voor TETRA in Terrestrial Trunked Radio (met het beschikbaar komen van toepassingen voor vliegende platformen is eigenlijk ook deze benaming discutabel). Na een initiële standaardisatie van de air interface eind 1995 werden eerste contracten gesloten en werd midden 1997 het eerste TETRA-systeem operationeel.

Wereldwijd telt de TETRA Association ca. 150 leden. TETRA wordt toegepast in diverse sectoren: naast OOV vindt TETRA zelfs een ongeveer even grote toepassing in de transportsector. Daarnaast is er toepassing voor Defensie en voor een diversiteit aan gebieden zoals nutsbedrijven, stedelijke overheden (stadstoezichten), penitentiaire inrichtingen, casino's, boorplatformen, bedrijfsterreinen (procesindustrie, overslagsector), hotels, dierentuinen, Ferrari Formule-1, bloemenveilingen, en zelfs t.b.v. de ruimtevaart (Rusland).

Voor datacommunicatie waren de mogelijkheden aanvankelijk beperkt door de geringe kanaalbreedte en kwam uit een aantal opties ten slotte TEDS (TETRA Enhanced Data Services) als meest veelbelovend naar voren. Om nog meer geavanceerde datacommunicatiediensten met goede beschikbaarheid mogelijk te maken werd al in september 2000 een TETRA Release 2 Enhancement Programme voorgesteld aan ETSI, die deze ook zou goedkeuren. Pas in 2007 zou TETRA Release 2 zijn gestandaardiseerd maar komt het daadwerkelijk gebruik van geavanceerde datacommunicatiediensten moeizaam op gang.

Beschikbaarheid

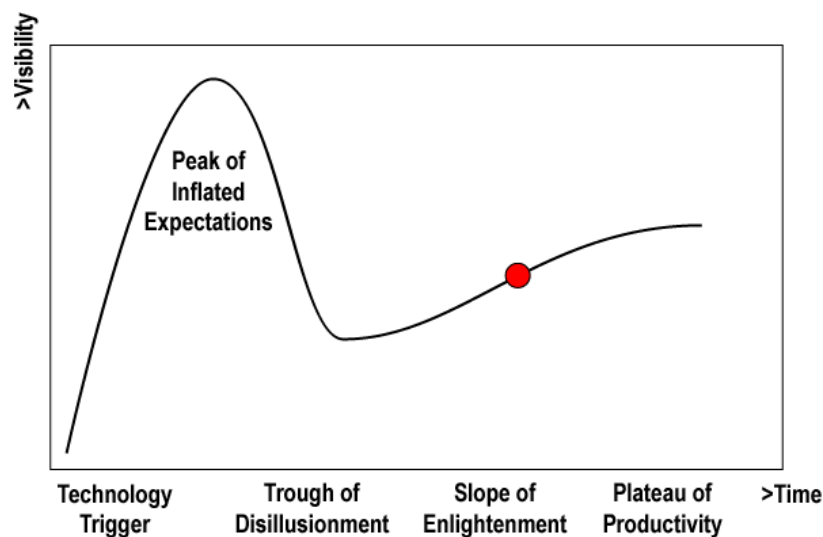
¹⁸³ Doug Gray (chairman ETSI Project TETRA): *An overview of TETRA*, presentatie 2003.

TETRA Release 1 is mondiaal in ca. 110 landen in gebruik en is voor wat betreft de standaard uitontwikkeld. Verbetering op het gebied van Release 1 randapparatuur vindt plaats op radiofrequent-gebied en uitvoeringsvorm.

TETRA Release 2 netwerk- en terminalproducten zijn inmiddels op de markt verschenen. De specificatie voor interoperabiliteit van Release 2 netwerken is echter nog in ontwikkeling. Er zijn wel diverse projecten waar ook TEDS onderdeel is van het contract. Ook krijgen bestaande TETRA-netwerken een upgrade naar TEDS (bijvoorbeeld het Virve netwerk in Finland).

Duitsland bouwt momenteel het grootste TETRA-netwerk (500.000 gebruikers). Het Russische systeem voor de Olympische Winterspelen is voorbereid op TEDS en moet in 2012 klaar zijn.

Onderstaande figuur toont de positie van TETRA op de Gartner hype cycle.



Figuur B-34: Gartner hype cycle voor TETRA Release 2

Diensten en toepassingen

TETRA Release 1 is primair ontworpen voor digitale spraak van goede kwaliteit, in principe in groepsgesprekken op basis van het "push-to-talk" principe waardoor nooit twee gebruikers tegelijkertijd kunnen praten. De standaard biedt ook de mogelijkheid voor full-duplex spraak. In trunking mode operation (TMO, zie onder Onderliggende Techniek) zijn spraak en data zwaar beveiligd door het specifieke TETRA Encryption Algorithm (TEA). Daarnaast beschrijft Release 1 als datadienst Packet Data Service (PDS) op basis van IP op gelijksoortige wijze als in GSM. Hiermee zijn datadiensten mogelijk tot zeer beperkte videokwaliteit (geen *streaming video*). Een dergelijke dienst kan theoretisch nog ondersteund worden door de zgn. Multi-slot Packet Data Service (MSPDS) maar dit wordt niet algemeen toegepast. Meer gangbaar is om via de in Release 1 beschreven SDS (Short Data Service, vergelijkbaar met SMS) tekstberichten uit te wisselen. Dit laatste is dan ook met alle TETRA Release 1 apparatuur mogelijk. Spraak- en datadiensten kunnen gelijktijdig afgeleverd worden bij de gebruiker.

TETRA Release 2 biedt mechanismen voor gebruik in helikopters en vliegtuigen maar bovenal high speed data in de vorm van TEDS (TETRA Enhanced Data Services). Er is nog geen duidelijke lijn onder de gebruikers ondanks TETRA

Association workshops naar gewenste functionaliteiten, terwijl de *TETRA Association* zich al in 2008 en 2009 erg actief heeft opgesteld voor spectrum voor breedbanddata. Voorzichtige voorspellingen gaan uit van grootschalig datagebruik in ca. 3 jaar. Wel is behoefte aan een camera (in de *remote speaker mike*) om daarmee personen en situaties te kunnen fotograferen. Voorbeelden van diverse bestaande data-applicaties zijn¹⁸⁴¹⁸⁵: data versturen naar de 'front line', bevestigingen politiedatabestanden (gerealiseerd met de WAP (Wireless Application Protocol) *user interface* via het TETRA datakanaal), GIS (Geografisch Informatie Systeem) applicaties (inclusief data-informatie zoals risico-aspecten toevoegen aan plattegronden en adressen, de adressen tonen op kaarten, AVL (Automatische Voertuig Localisatie), statusmeldingen, etc.) en operationele informatie vanuit het 'veld' naar de meldkamer.

Ingegeven door de beperkte transmissiecapaciteit als één van de onderkende oorzaken voor beperkte TETRA-connectiviteit tijdens recente rampen in Nederland, speelt nationaal de discussie of extra spectrumruimte niet eerder moet worden bedongen voor vergroting van de transmissiecapaciteit uitsluitend ten behoeve van spraak en de huidige C2000 datadiensten dan voor breedbandige datadiensten. Momenteel kent C2000 als enige datacommunicatiemogelijkheden SDS en noodoproepen.

Lokalisatie is thans in TETRA mobiele terminals geïmplementeerd in de vorm van GPS (Global Positioning Service). Verder ondersteunt TETRA Release 2 locatie-afhankelijke diensten door het LIP (Location Information Protocol). Voor noodoproepen hebben alle terminals een noodknop. Met het systeem kan dan aan een noodoproep de hoogste prioriteit worden gegeven, zij het dat alleen de centralist van een meldkamer na beoordeling van de noodoproep, in staat is gesprekken van mobiele gebruikers te onderbreken, bijvoorbeeld naar aanleiding van de acceptatie van een noodoproep. Omgekeerd kunnen vanuit een meldkamer of GMS (Gemeenschappelijk Meldkamer Systeem) alarmberichten verzonden worden, waarmee gelijktijdig gebruikersgroepen kunnen worden gealarmeerd.

Binnen TETRA systemen bestaat een divers aantal aanvullende diensten, zoals *late net entry*, *area selection* en de mogelijkheid tot *ambience listening*: het op afstand ongemerkt kunnen meeluisteren met een mobiele terminal.

Terminals

De meest basale typen TETRA terminals zijn een portofoon (*handheld*) en mobilfoon (voertuigmobiele terminal). Daarnaast bestaan *gateways* om van *direct mode operation* (DMO, zie Onderliggende techniek) naar TMO en vice versa te schakelen en *repeaters*. Beide zijn vaak uitgevoerd als onderdeel van portofoons en mobilfoons. Verder zijn van diverse merken mobiele data terminals verkrijgbaar waarmee status- en tekstberichten over TETRA verstuurd kunnen worden. Voor Release 2 zijn reeds meerdere terminals beschikbaar.

Relatie met andere technologieën

Voorals concurrerend met TETRA^{186 187} zijn:

¹⁸⁴ Hans Borgonjen: *TETRA World Congress 2009*, Verbinding 10 juni 2009

¹⁸⁵ Hans Borgonjen: *TETRA World Congress 2010*, Verbinding 8 juni 2010

¹⁸⁶ <http://www.app-tech.co.uk>

¹⁸⁷ Quick-scan onderzoek naar de technisch-functionele toekomstvastheid van C2000, TNO-rapport 33864, 15 maart 2006.

- TETRAPOL, het Franse systeem dat gebaseerd is op FDMA (Frequency Division Multiple Access) in plaats van TDMA (Time Division Multiple Access). Hierbij is het 25 kHz radiofrequent-kanaal in vier *sub-carriers* verdeeld.
- DMR (Digital Mobile Radio; ETSI TS 102-361). Dit is een aanmerkelijk goedkoper alternatief voor kleinschaliger gebruik dan TETRA beoogt (TDMA met 2 tijdsloten) en waarbij automatisch zowel analoge als digitale mobiele radio wordt ondersteund¹⁸⁸.
- NXDN is een *proprietary* Common Air Interface (CAI) protocol voor mobiele communicatie, ontwikkeld door *Icom Incorporated* en *Kenwood Corporation*.
- dPMR (Digital Private Mobile Radio; ETSI TS 102-490). Dit is een kosteneffectief *peer-to-peer* FDMA-radiosysteem voor digitale spraak van vergelijkbare kwaliteit als DMR biedt.

Aanvullend op TETRA zijn:

- De moderne publieke mobiele cellulaire netwerken zoals UMTS en LTE. Deze bieden minder beveiliging, een beduidend minder snelle verbindingsofbouw maar wel een op multimediale diensten ingestelde transmissiecapaciteit. Het relatief open karakter van publieke netwerken leent zich voor toegang tot internet. Naar verwachting zal LTE op termijn de standaardkeuze voor openbare operators zijn¹⁸⁹. LTE is al in Noord-Amerika de gekozen standaard voor breedband dataservices voor openbare veiligheidsdiensten zodat de verwachting voor de hand ligt dat LTE op termijn als meest aanvullend op TETRA zal functioneren voor niet-kritische breedband-diensten.
- Andere P(A)MR-netwerken, met name CDMA (Code Division Multiple Access)-PAMR¹⁹⁰. De transmissiecapaciteiten van CDMA-PAMR zijn hoger dan die van TETRA Release 2. De gevolgen ten aanzien van afstands bereik en aantal gelijktijdige gebruikers per cel zijn echter niet duidelijk. Eveneens belangrijk punt van onzekerheid vormt de maximale voertuig snelheid bij CDMA-PAMR. De diensten die via CDMA-PAMR kunnen worden ondersteund zijn vergelijkbaar met de diensten die via TETRA Release 2 mogelijk worden, maar zijn niet geoptimaliseerd voor OOV-toepassingen. Hierbij is CDMA-PAMR ontworpen op IP als convergentieprotocol van alle diensten. De verbindingsofbouwtijd met minimum richtwaarden van 1-2 s ruim ligt beduidend boven die van TETRA.

B.11.2 Technologische aspecten

Onderliggende techniek

TETRA randapparatuur kan werken in twee modi:

De trunking mode operation (TMO):

In deze modus vindt dynamische frequentietoewijzing plaats waarbij de radiofrequenties automatisch, geheel buiten de gebruiker om, door het TETRA-netwerk worden toegewezen volgens de behoeften 'van het ogenblik'. Met deze flexibele functie, kortweg trunking genoemd, kan de transmissiecapaciteit van een bepaalde frequentieband efficiënter worden benut. Daarnaast draagt de beperkte, zij het constante, kanaalbandbreedte van Release 1 (25 kHz) vanzelfsprekend ook bij aan het efficiënt gebruik van de totale transmissiecapaciteit.

¹⁸⁸ Radio Activity Solutions: *DMR vs TETRA comparison*, ENB26 v1.2, 9 juli 2009

¹⁸⁹ TETRA Association: *Mobiel breedband in een bedrijfskritische omgeving – gezien vanuit het TETRA-perspectief* (White paper), februari 2011

¹⁹⁰ Zie ook de beschrijving over CDMA2000 elders in deze monitor.

Het TETRA-netwerk heeft een hoofdfunctie die vergelijkbaar is met een conventioneel (2G) publiek cellulair netwerk zoals GSM, namelijk zorg dragen voor connectiviteit tussen gebruikers in verschillende dekkings- of verzorgingsgebieden. Essentiële verschillen met een publiek cellulair netwerk zijn een zeer snelle verbindingsofbouw, een sterke beveiliging, de primaire gerichtheid op groeps gesprekken (en dus gespreksgroepen) en de toepassing van *dispatchers* voor het doorschakelen van verkeer.

De toegang tot het radiospectrum is gebaseerd op een TDMA en t.b.v. full-duplex verkeer, FDD (Frequency Division Duplex). Gewoonlijk zijn 4 tijdkanalen (tijdsloten) verdeeld over een aantal radiofrequentiekanalen van elk 25 kHz. Per opstelpunt zijn doorgaans twee tot vijf radiofrequentiekanalen beschikbaar.

De *direct mode operation (DMO)*:

Deze modus is goed vergelijkbaar met *walkie-talkie* communicatie zoals gebruikelijk bij portofoniesystemen. In deze werkstand wordt rechtstreeks gecommuniceerd zonder gebruikmaking van het TETRA-netwerk. Hierbij dienen vaste DMO-radiofrequenties in de terminal te worden geprogrammeerd. Anders dan bij TMO het geval is, is de één-op-één relatie van radiofrequenties met gespreksgroepen hier wel aanwezig. Het bereik bij DMO-gebruik is evenwel beperkt. Radiogebruikers kunnen dan echter wel onderling buiten de radiodekking van het netwerk communiceren. Een beperkte koppeling van DMO met TMO is mogelijk om vergroting van het bereik te verkrijgen.

TETRA-systemen kunnen ook functioneren in *dual watch mode*. Dit houdt in dat wanneer twee terminals met elkaar communiceren in TMO een oproep van een andere terminal op het DMO-kanaal ontvangen kan worden. De opgeroepen terminal kan dan zijn verbinding beëindigen en direct met de oproeper communiceren over het DMO-kanaal. Omgekeerd kan dit ook over het TMO-kanaal als twee terminals in DMO met elkaar communiceren. Zo bestaat dus altijd de mogelijkheid tot *call queueing*.

TEDS is gebaseerd op het samenvoegen van 1-6 kanalen van 25 kHz. Door tegelijkertijd eventueel gebruik te maken van hogere orde, adaptieve modulatie (AMR: Adaptive Multiple Rate) zijn datasnelheden mogelijk van 30 - 400 kbit/s. Tevens is in TETRA Release 2 een efficiëntere *voice codec* (vocoder) gedefinieerd: de Mixed Excitation Liner Predictive, enhanced (MELPe) vocoder. Hierdoor kan het aantal spraakgebruikers binnen een cel toenemen.

Binnen TETRA zijn koppelingen beschreven met andere netwerken en zijn er mogelijkheden voor interoperabiliteit met het openbare telefonienetwerk. Voor koppeling naar andere specifieke gesloten netwerken is een gateway nodig. *Interworking* met publieke mobiele cellulaire netwerken is alleen mogelijk op netwerkniveau omdat de *air interfaces* niet interoperabel zijn.

Standaardisatie

ETSI is de enige instantie die voor de *TETRA Association* de TETRA-standaardisatie uitvoert (ETSI Standard EN 300-392). Release 1 (TETRA Voice plus Data- V+D) en Release 2 zijn afgerond. De specificatie voor interoperabiliteit van TETRA Release 2 netwerken is nog in ontwikkeling. Daarnaast speelt nog de discussie over de allocatie van meer spectrum voor Release 2. De TETRA-standaard beschrijft tevens Inter-System Interworking (ISI) en Peripheral Equipment Interfacing (PEI).

Frequentiebanden

TETRA maakt voor Openbare Orde en Veiligheid (OOV) in een aantal landen in Europa waaronder België, Nederland en Duitsland gebruik van frequenties in de banden 380-385 en 390-395 MHz (gekoppeld ten behoeve van FDD). De band van 410-430 MHz is bedoeld voor commerciële TETRA-netten. Daarnaast is ook de band van 870-876 en 915-921 MHz toegewezen aan TETRA. Deze band is bedoeld voor lokale, in principe civiele private netten.

Buiten Europa zijn andere radiofrequenties toegewezen. Zo zijn in China TETRA-netwerken op 350 en 800 MHz operationeel.

Datasnelheid

Technologie	<100 kbps	0.1-1 Mbps	1-10 Mbps	10-100 Mbps	>100Mbps
Release 1	X				
Release 2		X			

In Release 1 heeft elk verkeerskanaal een transmissiecapaciteit van 7,2 kbit/s. Deze capaciteit kan worden vergroot door meer verkeerskanalen op één frequentiekanaal te combineren tot een datasnelheid van maximaal 28,8 kbit/s. Door het samenvoegen van 1-6 kanalen van 25 kHz en tegelijkertijd eventueel gebruik te maken van hogere orde adaptieve modulatie zijn in Release 2 met TEDS datasnelheden mogelijk van 30 - 400 kbit/s.

Bereik

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
TETRA	x	X	X	X	

Het bereik is het grootst voor TMO doch afhankelijk van een aantal factoren. De voor de gebruiker meest herkenbare factoren zijn omgeving (stedelijk-, landelijk- of heuvelachtig gebied) en de hoogte van het opstelpunt. In gunstige gebieden is een bereik realiseerbaar van circa 30 km, maar bedraagt het meestal rond de 20 km. Vergroting van het bereik door een TMO-DMO *gateway* is laag (ca. 1-2 km). Het bereik voor helikopters bedraagt volgens de *TETRA Association* 58 km¹⁹¹. Het indoor-bereik is variabel en zeer afhankelijk van de kenmerken van het individueel object (omvang, interne structuur, materialen, etc.).

Binnen TEDS zijn meerdere modulatievarianten voorhanden voor het verkrijgen van dekking en bereik in diverse omstandigheden maar het is niet te verwachten dat hierdoor zelfs in ideale condities de 100 km zal worden benaderd.

Quality of service

De specificatie van TETRA geeft aan dat de tijd om een oproep op te zetten (d.w.z. de tijd die de infrastructuur nodig heeft om een oproep door te schakelen) maximaal 300 milliseconde bedraagt. De TETRA-technologie biedt digitale spraak met als bijzonderheid dat het coderingsalgoritme storende achtergrondgeluiden filtert, zelfs als iemand spreekt nabij een helikopter, trein, autosnelweg, vliegtuig etc. Bovendien

¹⁹¹ <http://www.tetra-association.com>; <http://www.tetramou.com>

zijn er aanvullende diensten die van invloed zijn op de QoS waaronder diverse wijzen van voorrang en inbreken.

Alle datacommunicatie gaat op basis van *best effort*. Ook voor enigszins tijdkritische diensten waaronder *slow video* zijn geen expliciete QoS-eisen gevonden.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Vertrouwelijkheid			X	
Beschikbaarheid			X	
Integriteit			X	

In TETRA zijn protectie-aspecten¹⁹² goed afgedekt door gedegen authenticatie, Air Interface Encryption (AIE) en *end-to-end* encryptie. Deze maatregelen worden constant getoetst en uitgebreid door een sectie van de TETRA *Security and Fraud Prevention Group* (SFPG).

Authenticatie wordt gedaan vanuit de terminal en vanuit het netwerk. Voor wat betreft beschikbaarheid en vertrouwelijkheid biedt TETRA vier AIE algoritmes, de zgn. TETRA Encryption Algorithms (TEAs): TEA1 t/m TEA4. Verschillen worden bepaald door exportabiliteit en gebruik. Zo wordt TEA2 toegepast voor Europese OOV-gebruikers die gebonden zijn aan het Schengen-verdrag. De andere hebben bredere toepassing variërend van commercieel tot gebieden waar TEA2 niet wordt gebruikt. AIE beschermt tegen afluisteren en verkeersanalyse omdat ook de signalering wordt beschermd. AIE-mechanismen zijn in de TETRA-signalleringsverwerk.

Daarnaast wordt een variatie aan *end-to-end* encryptie algoritmes ondersteund. De SFPG definieert binnen de TETRA-standaard een algemeen kader voor *end-to-end* encryptie die oplossingen beschrijft voor de *International Data Encryption Algorithm* (IDEA) waarvan de IPR liggen bij Ascom en de IPR-vrije *Advanced Encryption Standard* (AES).

Ten slotte beschrijft de TETRA-standaard hoe het management van deze beveiligingsmechanismen in een netwerk kan plaatsvinden (zoals sleutelmanagement). Belangrijk uitgangspunt is dat de beveiligingsrisico's binnen TETRA-netwerken worden gereduceerd door verdeling over specifieke elementen waardoor *single-points-of-failure* worden voorkomen.

TETRA biedt geen bescherming tegen opzettelijke radiostoring (*jamming*).

B.11.3 Marktaspecten

Marktpenetratie

Verwacht wordt dat de markt voor TETRA netwerken en –terminals voor de komende vier jaar zal groeien met meer dan 15% per jaar, uitgaande van een zich doorzettende economische verbetering en -groei van China.

¹⁹² <http://www.docstoc.com/docs/22666870/TETRA-Security-Mechanisms>

Technologie	Nederland	Europa	Wereld
TETRA	ca. 0,2 miljoen	> ca. 4 miljoen	> ca. 10 miljoen

In bovenstaande tabel^{193 194 195} is ter indicatie een ruwe inschatting gegeven van het aantal TETRA-gebruikers in drie geografische regio's. In 2009 heeft TETRA zijn intrede in Amerika en Rusland gedaan. Ook in Azië (o.a. Maleisië, China) wordt TETRA steeds populairder en is dit werelddeel al goed voor 25% van de mondiale TETRA-markt. De Aziatische markt groeit sneller dan markten in andere werelddelen.

Belangrijke spelers

De terminals en accessoires worden geleverd door meerdere leveranciers waarvan de belangrijkste zijn: Motorola, Sepura en EADS. Hoofdleveranciers van netwerkelementen zijn o.m. Rohde & Schwarz (Bick Mobilfunk), Alcatel-Lucent, Siemens, Simoco, Damm Cellular, Rohill, Nokia en Motorola.

In Nederland zijn belangrijke leveranciers Koning & Hartman en Zenitel.

Operators en hun marktaandeel

Mission Critical Communication Networks (MCCN), een samenwerkingsverband tussen Zenitel en Vialis/Combonet, was in 2005 in Nederland verantwoordelijk voor de uitrol van een landelijk digitaal openbaar netwerk voor PAMR op basis van TETRA. MCCN is in oktober 2009 overgenomen door Entropia Digital.

TETRA Ned heeft het C2000-netwerk voor OOV uitgerold en thans is de C2000 Beheersorganisatie verantwoordelijk voor het beheer van C2000.

¹⁹³ Tuomas Järvinen: *Location System solution in TERrestrial Trunked RAdio (TETRA) Professional Mobile Radio networks* (Master's Thesis), 22 januari 2010

¹⁹⁴ Hans Borgonjen: TETRA World Congress 2009, Verbinding 10 juni 2009

¹⁹⁵ Hans Borgonjen: TETRA World Congress 2010, Verbinding 8 juni 2010

B.12 Bluetooth

B.12.1 Algemeen

Technologietype

Bluetooth is binnen de IEEE 802.15 standaarden gespecificeerd. De IEEE 802.15 standaarden specificeren WPAN (*Wireless Personal Area Network*) technologieën. Op grond hiervan vormt Bluetooth een WPAN technologie.

Achtergrond

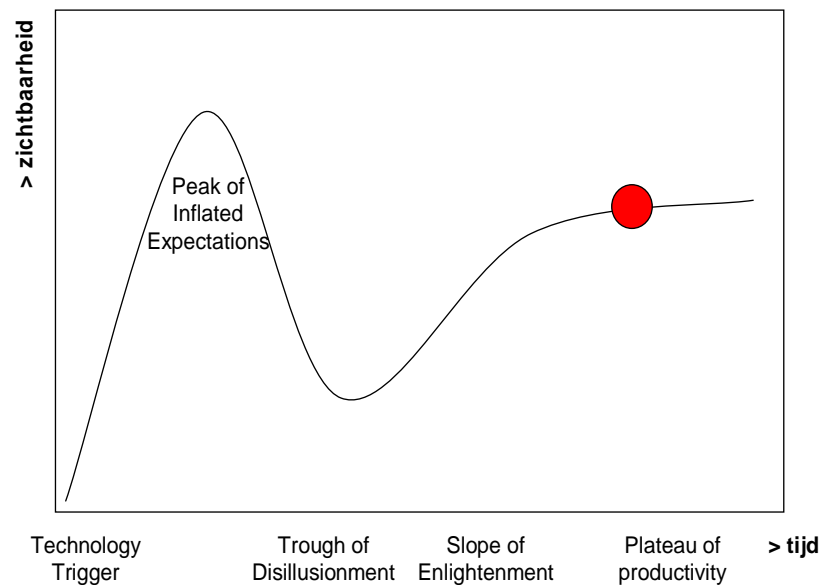
De ontwikkeling van Bluetooth start in 1994 bij Ericsson. De verantwoordelijkheid van de ontwikkeling van Bluetooth bij Ericsson lag bij de Nederlander Jaap Haartsen. Ericsson, fabrikant van o.a. mobiele telefoons, begint met de ontwikkeling van Bluetooth om een goedkope draadloze verbinding tussen mobiele telefoons, koptelefoons, desktops etc. te realiseren. De naam van Bluetooth verwijst naar de Vikingkoning Harald Blauwtand (Harald Blåtand). Bluetooth werd door de fabrikant gezien als een draadloos alternatief voor de korte seriële draadgebonden RS232 verbindingen, bijvoorbeeld een korte audioverbinding tussen mobiele telefoon en een *headset* of één korte dataverbinding met een computer. Naarmate de tijd vorderde zijn er ontwikkelingen waarbij het bereik wordt vergroot, datasnelheid wordt verhoogd en het toepassingsgebied wordt uitgebreid. Tegenwoordig richt de ontwikkelactiviteit zich sterk op het besparen van energie. Bluetooth wordt gebruikt in de ongelicenseerde ISM frequentieband, rond 2.4 GHz.

Om een grotere markt te ontwikkelen voor Bluetooth is in 1998 besloten tot het oprichten van de 'Bluetooth Special Interest Group' (SIG), waarbij zich grote elektronicabedrijven, softwareontwikkelaars en telecombedrijven aansloten. Enkele namen van bedrijven die zijn aangesloten zijn: Palm, IBM, Intel, Lucent Technologies, Apple, Microsoft, Motorola, Nokia, en Toshiba. De SIG heeft meer dan 13.000 leden.

Beschikbaarheid

Bluetooth wordt geïntegreerd in een breed scala aan apparatuur. Voorbeelden hiervan zijn smartphones, desktops, laptops, navigatie apparatuur, hands free autoradio kits, spelcomputers, toetsenborden, oortelefoons, HDTV televisie ontvangers etc. Daarnaast wordt Bluetooth technologie via USB dongles geleverd. Op het Internet worden producten tegen zeer lage prijzen aangeboden; het inzetgebied van Bluetooth is breed.

Bluetooth kan zowel in pandig als in de vrije omgeving worden toegepast en er is een breed scala van producten. Er zijn Bluetooth software (*stacks*) beschikbaar voor een groot aantal besturingssystemen, waaronder Android, Blackberry, MAC OS X, Windows (Mobile) en Linux. Op het moment van het schrijven zijn er nog steeds nieuwe ontwikkelingen op het gebied van standaardisatie van Bluetooth. Al met al mag Bluetooth tot een volwassen technologie gerekend worden. Onderstaande figuur toont de positie van Bluetooth op de Gartner hype cycle.



Figuur B-35: Positie van Bluetooth op de Gartner hype cycle.

Diensten en toepassingen

In eerste instantie was het de bedoeling om Bluetooth te ontwikkelen voor draadloze seriële verbinding tussen apparaten. Bij de ontwikkeling van Bluetooth werd hierbij primair gedacht aan de verbinding tussen mobiele telefoons en koptelefoons. Andere diensten die Bluetooth ondersteunt, zijn het draadloos verbinden van apparaten zoals computers en mobiele telefoons met randapparatuur zoals van printers voor het afdrucken van documenten of afbeeldingen, scanners voor het zenden van een afbeelding naar een computer, toetsenboorden voor de verbinding met een computer, enzovoort. Ook is het mogelijk om computers draadloos met mobiele telefoons te verbinden.

In latere versie van de 802.15 standaard ondersteunt Bluetooth onder andere het transport van IP datapakketten. Verschillende diensten binnen deze toepassing zijn email, telefonie, Web browser, downloaden en Tethering.

De hierboven genoemde ondersteunende diensten van Bluetooth zijn gedefinieerd in zgn. *profielen*. De SIG omschrijft een profiel als een definitie waarin het gedrag van Bluetooth wordt beschreven waardoor communicatie tussen apparatuur mogelijk wordt gemaakt. Om bijvoorbeeld een hoofdtelefoon met een mobiele telefoon te laten werken dienen zowel de mobiele telefoon als de hoofdtelefoon de beschikking te hebben over Bluetooth met het *headset* profiel. In de beschrijving van de profielen is onder andere terug te vinden:

- De relatie met andere profielen
- Aanbevolen gebruikers interface
- De delen van de Bluetooth protocol *stack* die gebruikt worden

In totaal zijn meer dan 20 profielen in Bluetooth gedefinieerd. De meeste Bluetooth toepassingen hebben een beperkte selectie van profielen ter beschikking, afhankelijk van de toepassing. Zo heeft een hoofdtelefoon de beschikking over de *headset* profiel maar hoeft het geen beschikking te hebben over het LAN profiel.

Verdere ontwikkeling van profielen vindt nog steeds plaats.

Terminals

Bluetooth is een ondersteunende technologie. Specifieke terminals zijn niet beschikbaar. Bij de introductie van Bluetooth waren Bluetooth USB *dongles* populair vanwege het ontbreken van de technologie in bestaande apparatuur en vanwege de kosten. Deze USB *dongles* zijn nog steeds verkrijgbaar, maar de Bluetooth technologie wordt tegenwoordig meestal integraal geleverd als onderdeel van bijvoorbeeld een telefoon of laptop. De lage kosten van Bluetooth technologie maken dergelijke integratie aantrekkelijk voor fabrikanten.

Relatie met andere technologieën

De 802.15 standaard is een WPAN standaard. Een WPAN is een draadloos netwerk van particuliere apparaten waarbij er een korte onderlinge afstand tussen de apparaten is. De 802.15 standaard vormt een onderdeel van de familie van 802 standaarden die door de IEEE zijn gedefinieerd. Een andere PAN standaard die door IEEE in dit segment is gedefinieerd is IEEE 802.15.4 (ZigBee). Andere bekende standaarden uit de familie van 802 standaarden zijn de WAN standaard Ethernet (802.3), WLAN standaard 802.11 (WiFi), en, WiMAX (802.16). Deze laatste standaard wordt zowel als een WLAN standaard als een MAN (*Metropolitan Area network*) standaard gezien.

B.12.2 Techniek

Onderliggende techniek

De verbindingsofbouw bij Bluetooth gaat uit van een *master-slave* verbinding. De *master* kan maximaal met 7 *slaves* tegelijk verbinding onderhouden. Er kunnen synchrone ((E)SCO, (*Extended Synchronous Connection Oriented*) en asynchrone (ACL *Asynchronous Connection Less*) verbindingen tussen de *master* en *slave* worden opgebouwd. Voor de verbindingsofbouw is een beveiligd protocol aanwezig, zie hiervoor de paragraaf over informatie beveiliging.

Bluetooth is gebaseerd op *Time Division Multiple Access* (TDMA). TDMA is een *medium access control* (MAC) techniek waarbij de beschikbare verbindingcapaciteit in tijdsloten is verdeeld. Door de toepassing van *Time Domain Duplex* (TDD) ervaart de gebruiker de verbinding als een duplex verbinding. Bij TDD wordt één fysiek kanaal (frequentie) voor de verbinding tussen de apparaten gebruikt voor zowel het verzenden als ontvangen van informatie. De tijdsloten worden afwisselend door een gebruiker voor het verzenden en ontvangen van informatie gebruikt. Als de informatiesnelheid maar hoog genoeg is ervaart de gebruiker de verbinding als een volwaardige duplex verbinding.

Van origine had Bluetooth *Gaussian-shift keying* als modulatie techniek, een vorm van fasemodulatie. Bij deze vorm van fasemodulatie wordt de informatie gefilterd voordat het gemoduleerd wordt. Dit filter, een Gaussian filter, zorgt ervoor dat er een spectraal efficiënte golfvorm ontstaat. In latere versies zijn hogere modulatievormen toegepast. In de laatste versie van Bluetooth is 8DPSK modulatie gestandaardiseerd. Vanaf versie 1.2 gebruikt Bluetooth Frequentie Hopping (FH) of Adaptieve Frequentie Hopping (AFH). Het beschikbare spectrum in de ISM band wordt bij Bluetooth in kanalen van 1 MHz verdeeld.

Standaardisatie

De onderliggende techniek van Bluetooth is gespecificeerd in IEEE 802.15.1 Deze standaard beperkt zich tot het specificeren van de fysieke laag en de MAC laag.

Verdere ontwikkeling van Bluetooth vindt plaats binnen de SIG. De volgende versies van Bluetooth zijn ontwikkeld:

- Bluetooth versie 1
- Bluetooth versie 2 (*Enhanced Data Rate*, (EDR))
- Bluetooth versie 3 (*High Speed*, (HS))
- Bluetooth versie 4

Na de introductie van Bluetooth versie 1 heeft de ontwikkeling bij versie 2 zich gericht op het verhogen van de data snelheid. Dit is bij versie 3 ook het geval geweest maar daarnaast zijn bij deze versie ook WiFi netwerkfunctionaliteiten toegevoegd waardoor verbinding met het Internet verkregen kan worden. Bij de ontwikkeling van Bluetooth versie 4 heeft beperking van het energieverbruik een belangrijke rol gespeeld. Opgemerkt wordt nog dat er tussenliggende versies zijn¹⁹⁶.

Frequentiebanden

De radioverbinding van Bluetooth maakt gebruik van de licentievrij toegankelijke 2.4 GHz frequentie band. Deze band, ook wel aangeduid als de ISM band, is wereldwijd licentievrij. Echter binnen de ISM band kunnen per regio restricties bestaan voor de toegepaste frequentiebanden¹⁹⁷.

Datasnelheid

De datasnelheid is afhankelijk van de versie van Bluetooth. De datasnelheden voor de verschillende versies zijn:

Versie 1: De maximale bruto datasnelheid bedraagt 1 Mbit/s.

Versie 1.2: De datasnelheid is in deze versie verhoogd tot 1.2 Mbit/s. De *throughput* bedraagt 0.7 Mbit/s.

Versie 2 (EDR): De datasnelheid in de deze versie bedraagt 3 Mbit/s. De *throughput* is 2.1 Mbit/s.

Versie 3 (EDR +HS): Op 21 april 2009 werd een nieuwe versie van Bluetooth gepresenteerd. De nieuwe Bluetooth versie is weer een stuk sneller en betrouwbaarder en ondersteunt WiFi (802.11n). Als maximale datasnelheid wordt 24 Mbit/s opgegeven.

Versie 4: Op 7 juli 2010 werden de specificaties van deze standaard vastgelegd¹⁹⁸. Ten opzichte van versie 3 zijn er geen veranderingen in de datasnelheid. In onderstaande tabel zijn de datasnelheden voor Bluetooth samengevat.

Technologie	<100 kbit/s	0.1-1 Mbit/s	1-10 Mbit/s	10-100 Mbit/s	>100Mbit/s
Bluetooth versie 1		x			
Bluetooth versie 1.2			x		
Bluetooth versie 2			x		
Bluetooth			x	x	

¹⁹⁶ <http://www.bluetooth.org>

¹⁹⁷ <http://www.ee.ucla.edu>

¹⁹⁸ <http://nl.hardware.info>

versie 3					
Bluetooth versie 4			x	x	

Bereik

Het bereik van Bluetooth apparatuur is verdeeld in 3 verschillende klassen:

- Class 1: Ontworpen voor lange afstandsverbindingen (tot ~100m)
Maximale uitgangsvermogen 20 dBm
- Class 2: Voor normaal gebruik (tot ~10m)
Maximale uitgangsvermogen 4 dBm
- Class 3: Voor korte afstanden (10 cm - 1 m)
Maximale uitgangsvermogen 0 dBm

Onderstaande tabel geeft het overzicht van het bereik van Bluetooth.

Technologie	indoor	< 1 km	1-10 km	>10 km	>100km
Bluetooth	x	x			

Quality-of-Service

Bluetooth biedt een QoS mechanisme aan dat gestoeld is op RFC 1363. Deze RFC heeft alleen de mogelijkheid om de berichten te verzenden volgens *Best Effort* methodiek. Wel kunnen parameters via deze RFC ingesteld worden voor de maximum vertragsingsvariatie (jitter) en kwaliteitsgarantie. De parameter voor maximum vertragsingsvariatie is een belangrijk voor het ondersteunen van een goede audiokwaliteit. Het overdragen van audio was een de doelstelling bij de ontwikkeling van Bluetooth. De parameter voor de kwaliteitsgarantie is afhankelijk van de ondersteunende dienst.

Informatiebeveiliging

Aspect	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
Confidentialiteit			x	
Beschikbaarheid			x	
Integriteit			x	

Binnen Bluetooth zijn twee beveiligingsmechanismen aanwezig. Het eerste beveiligt de verbindingsofbouw, het tweede het uitwisselen van gegevens. Het mechanisme dat gebruikt wordt tijdens de verbindingsofbouw wordt aangeduid met "pairing". Pairing voorkomt dat er een verbinding tot stand wordt gebracht tussen apparaten die elkaar geen toestemming hebben gegeven om met elkaar te communiceren. Vanaf Bluetooth versie 2.1 verloopt de pairing via een beveiligd protocol. Dit protocol gebruikt het *public key cryptographic* algoritme voor de vercijfering. Vercijfering tijdens het uitwisselen van gegevens vindt plaats via E0 vercijfering¹⁹⁹.

¹⁹⁹ <http://www.mowile.com>

Hierdoor zijn er maatregelen getroffen tegen bijvoorbeeld spoofing. Op grond hiervan worden de confidentialiteit en integriteit als goed beoordeeld.

Op het gebied van transportbeveiliging past Bluetooth adaptief frequentiehopping toe. Daarnaast beschikt Bluetooth over FEC (Forward Error Correction) om transmissiefouten ontstaan door jamming te corrigeren. Ofschoon dit een goede beveiliging biedt tegen jamming blijven radio verbindingen altijd kwetsbaar. Omdat goede maatregelen zijn genomen om de beschikbaarheid te verhogen, zoals de hoge hopsnelheid, wordt de beschikbaarheid niettemin als goed gekwalificeerd.

B.12.3 Markt

Marktpenetratie

Bluetooth is een wijd verspreide technologie met vele gebruikers. Voor Bluetooth is een speciale groep (SIG) opgericht om de marktkansen voor Bluetooth te vergroten. Vele belangrijke fabrikanten op een groot aantal terreinen zijn in deze groep vertegenwoordigd. Enkele terreinen die sterk vertegenwoordigd zijn in de SIG zijn mobiele telefoons, computers, laptops en besturingssystemen; tegenwoordig zijn er ook fabrikanten van spelcomputers vertegenwoordigd in deze groep. De SIG heeft het respectabele aantal van 13.000 leden. Volgens SIG worden er elke week 18 miljoen Bluetooth apparaten verscheept.

Belangrijke spelers

Belangrijke grote commerciële partijen die achter Bluetooth staan zijn:

- Palm,
- IBM,
- Intel,
- Lucent Technologies,
- Apple,
- Microsoft,
- Motorola,
- Ericsson
- Nokia,
- Toshiba.

Operators en hun marktaandeel

Bluetooth is een WPAN technologie. Voor het toepassen van deze technologie is geen operator noodzakelijk. Informatie over het marktaandeel van operators ontbreekt daarom.

Lijst met afkortingen

Voor een verklaring van diverse gehanteerde begrippen in dit rapport wordt verwezen naar de site <http://www.telecomabc.nl>.

3GPP	Third-Generation Partnership Project
AAC	Advanced Audio Coding
ACL	Asynchronous ConnectionLess
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AFH	Adaptive Frequency Hopping
AIE	Air Interface Encryption
AKA	Authentication and Key Agreement
AMR	Adaptive Multi Rate
AP	Access Point
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ARP	Allocation and Retention Priority
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
AVL	Automatische Voertuig Lokalisatie
BSC	Base Station Controller
BSSID	Base Service Set Identifier
BWS	Broadcast Web Site
CA	Conditional Access
CAI	Common Air Interface
CCSA	China Communications Standards Association
CDG	CDMA Development Group
CDMA	Code Division Multiple Access
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CN	Core Network
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CoMP	Coordinated MultiPoint transmission and reception
CSD	Circuit-Switched Data
DAB(+)	Digital Audio Broadcasting(+)
DCF	Distributed Coordination Function
DC-HSPA	Dual Cell-High Speed Packet Access
DCS	Digital Communication System
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DMB	Digital Multimedia Broadcasting
DMD	Digital Music Download
DMO	Direct Mode Operation
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
dPMR	Digital Private Mobile Radio
DPSK	Differential Phase Shift Keying

DQPSK	Differential Quadrature Phase-Shift Keying
DRM	Digital Rights Management
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld
DVB-IPDC	Digital Video Broadcasting – Internet Protocol DataCasting
DVB-NGH	Digital Video Broadcasting – Next Generation Handheld
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-SH	Digital Video Broadcasting – Satellite Handheld
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EAP	Extensible Authentication Protocol
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EDR	Enhanced Data Rate
E-GSM	Extended-GSM
eSCO	Extended Synchronous Connection Oriented
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EV-DO	Evolution-Data Optimised
EV-DV	Evolution-Data and Voice
FBSS	Fast Base Station Switching
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FH	Frequency Hopping
FLO	Forward Link Only
FM	Frequency Modulation
GIS	Geografisch Informatie Systeem
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
GSA	Global mobile Suppliers Association
GSM	Global System for Mobile communications
GSM-R	GSM-Rail
GSMA	GSM Association
HDTV	High-Definition TeleVision
HE-AAC	High-Efficiency Advanced Audio Coding
HHO	Hard Handover
HS	High Speed
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
IDAG	International DMB Advancement Group
IDEA	International Data Encryption Algorithm
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP-based Multimedia Subsystem

IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
IPR	Intellectual Property Rights
IPTV	Internet Protocol TeleVision
ISI	Inter System Interworking
ISM	Industrial, Scientific and Medical (frequentieband)
ITU	International Telecommunication Union
ITS	Intelligent Transport System
LAN	Local Area Network
LIP	Location Information Protocol
LTE	Long-Term Evolution
LTE-A	Long-Term Evolution-Advanced
M2M	Machine to Machine
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
MDHO	Macro Diversity Handover
MFD	Mobiles Fernsehen Deutschland
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MPE	MultiProtocol Encapsulation
MPEG	Moving Picture Expert Group
MPEG-PS	Moving Picture Expert Group – Program Stream
MPEG-TS	Moving Picture Expert Group – Transport Stream
MSPDS	Multi-Slot Packet Data Service
NFC	Near-Field Communication
NPO	Nederlandse Publieke Omroep
NXDN	Next Generation Digital Narrowband
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
OMA-BCAST	Open Mobile Alliance – Mobile Broadcast Services Enabler Suite
OOV	Openbare Orde en Veiligheid
PAMR	Public Access Mobile Radio
PAN	Personal Area Network
PC	Personal Computer
PCF	Point Coordination Function
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PDS	Packet Data Service
PEI	Peripheral Equipment Interfacing
PMR	Private Mobile Radio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCI	QoS Class Identifier
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying

QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RDS	Radio Data System
RF	Radio Frequency
RFC	Request for Comment
RN	Relaying Node
RNC	Radio Network Controller
RSU	Road Side Unit
SA	Service Architecture
SCO	Synchronous Connection Oriented
S-DMB	Satellite – Digital Multimedia Broadcasting
SDS	Short Data Service
SIG	Special Interest Group
SIM	Subscriber Identity Module
SLS	Slide Show
SMS	Short Message Service
SSID	Service Set Identifier
TDD	Time Division Duplex
TD-LTE	Time Division – Long Term Evolution
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
T-DMB	Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting
TD-SCDMA	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
TEA	TETRA Encryption Algorithm
TEDS	TETRA Enhanced Data Services
TETRA	Terrestrial Trunked RAdio
TMC	Traffic Message Channel
TMO	Trunking Mode Operation
TPEG	Transport Protocol Experts Group
TS	Technical Specification
TSG	Technical Specification Group
TTA	Telecommunications Technology Association (South-Korea)
TTC	Telecommunication Technology Committee (Japan)
UE	User Equipment
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USB	Universal Serial Bus
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
VHF	Very High Frequency
WAP	Wireless Application Protocol
WEP	Wireless Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA(2)	Wi-Fi Protected Access(2)

WPAN Wireless Personal Area Network