

**Von UMTS zu LTE und darüber hinaus:
Ein Ausblick auf die vierte Mobilfunk-Generation**



boosting wireless efficiency

Wir befinden uns zwar nicht in der epischen Geschichte „Der Herr der Ringe“, aber eine kleine Parallele gibt es doch. Das Tolkien-Buch endet mit dem endgültigen Rückzug der Elben aus Mittelerde in Richtung der Grauen Anfurten, wodurch auch das dritte Zeitalter endet; das Vierte wiederum beginnt. Ein grober Vergleich lässt sich auch in Richtung Mobilfunk schließen. So machen eben HSDPA und HSUPA unter dem allgemeinen Kürzel HSPA (High Speed Packet Access) von sich als 3,5te Generation Mobilfunk reden und schon spukt nebenbei in manchen Köpfen bereits die vierte Generation des Mobilfunks umher. Ein Zauberwort heißt dabei OFDM – keine neue Technologie, aber eine, die erst heutzutage ihren Nutzen voll entfalten kann.

Es ist nicht einfach zu sagen, welche der vielen existierenden Technologien und Kürzel bereits der vierten Generation (4G) des Mobilfunks zugeordnet werden können. Sicher ist nur, dass HSPA (High Speed Packet Access) mit den jeweiligen Sub-Standards für Down- und Uplink (HSDPA/HSUPA) eindeutig als „dreieinhalbte“ Generation (3,5G) bezeichnet werden kann. Dabei handelt es sich um eine Erweiterung des bestehenden UMTS-Standards (3G); HSPA nutzt die Basisfunktionen von UMTS. Der UMTS-Standard wurde vom zuständigen Standardisierungsgremium 3GPP (3rd Generation Partnership Project) in der als 3GPP Release 99 und 4 bezeichneten Spezifikation festgelegt. Die Erweiterung des Downlinks um HSDPA erfolgte in der Release 5, während der Uplink seine Aufwertung mit der Release 6 erfuhr. In Release 7 (HSPA+) wurden einige Neuerungen und Optimierungen eingeführt, so zum Beispiel MIMO, das heißt das Senden beziehungsweise Empfangen mittels mehrerer Antennen. Weiterhin flossen erste Vorbereitungen auf die kommenden Änderungen mit ein. Diese Änderungen werden endgültig mit der Release 8 eingeführt werden, die sich momentan aber immer noch in der Definitionsphase befindet, das heißt offiziell noch nicht verabschiedet ist. Allgemein beschäftigt man sich in der Release 8 bereits mit dem „endgültigen“ Nachfolger von UMTS, bekannt unter dem Kürzel 3GPP LTE (Long Term Evolution). Doch momentan arbeiten die Netzbetreiber vielerorts immer noch an der Integration oder Vervollkommnung von HSDPA und nur wenige haben bereits lokal und in kleinem Maßnahme die Release 6 und damit HSUPA in ihren Netzen implementiert. Ebenso verhält es sich auf der Endgeräteseite. Aufgrund von Beschränkungen seitens der Empfängerhardware sind heutige Geräte nicht in der Lage, die vollen Kapazitäten von HSDPA zu nutzen. Und auch für HSUPA gibt es nur einige wenige Geräte, vor allem Datenkarten, die jedoch noch

nicht über den Prototypen-Status hinausgekommen sind und noch nicht in Masse produziert werden. Somit ist auch noch nicht im Entferntesten an die Nutzung der Vorzüge von Release 7 oder der endgültigen Neuerungen in der Release 8 zu denken. Dieses Bild spiegelte sich auch auf den beiden größten Mobilfunkmessen der Welt, dem 3GSM World Congress in Barcelona (Spanien) und der CTIA Show in Orlando (USA) im Frühjahr 2007 wider. In aller Munde war ganz klar HSPA, wobei HSUPA aus messtechnischer Sicht die meiste Beachtung fand, während HSDPA ja bereits im letzten Jahr zum Topthema avancierte. Lediglich einige wenige Aussteller der Mobilfunkbranche, hauptsächlich die Hersteller von Basisstationen und Netzwerkelementen, aber auch die Marktführer im Bereich Messtechnik für R&D demonstrierten ihre Vorschläge und Lösungen für HSPA+ und 3GPP LTE. Doch durch den noch offenen Status der Release 8 war und ist es nicht weiter verwunderlich, dass dies noch von untergeordnetem Interesse war.

Warum aber dann dies alles? Warum dieser Fortschritt in der Theorie und Spezifikation, wenn die Praxis um Jahre „hinterherhinkt“? Die Beantwortung dieser beiden Fragen erfordert ein etwas tieferes Eintauchen in die technischen Gegebenheiten und Parameter, die die einzelnen in den Releases definierten Standards und Ergänzungen ausmachen.

HSDPA bietet heute Datenraten bis zu 3,6 Mbit/s, später sollen in der Praxis bis zu 7,2 Mbit/s möglich sein. Dies ist allein abhängig von der Art des verwendeten Endgerätes, denn die heute verwendete Empfängerarchitektur (engl. Rake Receiver) bietet nur wenig Spielraum, um die Vorteile von HSDPA komplett auszuschöpfen. Mit HSUPA für den Uplink werden theoretische Datenraten von 5,76 Mbit/s angegeben, die ersten Endgeräte vermögen im Moment jedoch nicht mehr als 1,4 Mbit/s zu liefern. Immerhin ist die Datenrate, die mit HSPA angeboten wird, für beide Richtungen um den Faktor 10 höher als beim heute weitestgehend etablierten UMTS/WCDMA. Unter Ingenieuren gilt es als ein Technologiesprung, wenn sich ein signifikanter technischer Parameter eines Systems um den Faktor 10 verbessert.

Über sechs Jahre ist es nun her, seitdem WCDMA in Japan das erste Mal kommerziell „live“ geschaltet wurde. Dennoch waren es im Frühjahr 2007 lediglich rund 105 Millionen Teilnehmer, die weltweit auf ein 3G-fähiges Endgerät setzen. Eigentlich eine recht ernüchternde Bilanz für die teilweise horrenden Investitionen, die die Netzbetreiber, unter anderem als Lizenzgebühren, zu tätigen hatten. Die damaligen (und auch heute noch gültigen) Geschäftsmodelle zielten auf das Anbieten verschiedenster Streaming-Dienste – ob Audio

oder Video ist technisch gesehen relativ egal – ab. Diese Art von Diensten hat eine große Herausforderung zu bewältigen: nämlich die eines kontinuierlichen Datenstromes. Bekanntes Beispiel ist der Dienst Voice over IP (VoIP) und die verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten, unter anderem „VoIP over cellular“. Ein extremer Anwendungsfall ist es nun, VoIP mittels UMTS nutzen zu wollen und sich dabei zusätzlich mit einer relativ hohen Geschwindigkeit, zum Beispiel im Auto oder in der Bahn, zu bewegen. In diesem Fall kommt es zu unerträglich langen Verzögerungen, eine klare Kommunikation ist nicht mehr möglich. Dabei wäre WCDMA für die erforderlichen 100 kbit/s, die VoIP als Datenrate benötigt, durchaus ausreichend. Nein, hier fällt ein anderer Parameter ins Gewicht, die Latenzzeit, auch als Round Trip Time bezeichnet. Dieser Parameter gibt an, welche Zeit verstreicht, bis die Empfangsstation den erfolgreichen Empfang des Datenpaketes quittiert und der Sender, egal ob Endgerät oder Basisstation, dieses Paket verwerfen und den Übertragungsprozess als abgeschlossen ansehen kann. Tabelle 1 gibt Auskunft über die Latenzzeiten heute verfügbarer Mobilfunksysteme und deren zukünftigen Erweiterungen. Mit der Einführung von HSPA versprechen sich die Netzbetreiber eine deutliche Reduzierung der Latenz auf bis zu 60 ms. Dies wird einerseits erreicht, indem die Rahmenlänge deutlich reduziert wird. Bei HSDPA beträgt sie anstatt der 10 ms bei UMTS lediglich 2 ms, für HSUPA entweder standardmäßig 10 ms oder auch 2 ms. Zusätzlich werden verschiedene Prozesse eingeführt und unterstützt, zusammengefasst unter Hybrid Automatic Request (HARQ), mittels derer aus mehreren, nicht erfolgreichen Übertragungen ein Datenpaket zurückgewonnen werden kann. Außerdem wird die Ausführung dieser Funktionen vom Radio Network Controller (RNC) in die Basisstation (Node B) verlagert, um die kürzere Rahmenlänge und diese Prozesse zu unterstützen. UMTS wird also mittels HSPA auf das Übertragen von Datenpaketen hinsichtlich eines kontinuierlichen Datenstromes optimiert. Dies alles begünstigt neu diskutierte Echtzeit-Anwendungen wie zum Beispiel Online-Gaming (GoIP, Gaming over IP) als Bestandteil des IP Multimedia Subsystem (IMS). Mittels IMS spezifiziert 3GPP das endgültige Verschmelzen von Internet und zellulärer Welt. Das Angebot solcher Dienste wie eben das Online-Gaming wird sich jedoch erst durchsetzen können, wenn diese sich aus technischer Sicht auch mit den geforderten Qualitätsmerkmalen umsetzen lassen. Dabei sind kurze Latenzzeiten und kein Informationsverlust gefragt, wozu die heute implementierten Standards nicht fähig sind.

System	Latenz
GSM, (E)GRPS	bis zu 1000 ms
UMTS (Release 99/4)	~180 ... 200 ms
HSDPA (Release 5)	~ 80 ... 90 ms
HSUPA (Release 6)	~ 60 ... 70 ms (erwartet)
HSPA+ (Release 7)	~ 40 ms (erwartet)
3GPP Long Term Evolution (LTE) (Release 8)	~ 20 ms (erwartet)

Tabelle 1: Latenzzeiten in heutigen Mobilfunksystemen

Doch diese schon beeindruckenden Werte, die mittels HSPA für die Latenz erzielt werden, sollen mit Hilfe von HSPA+, auch als „Super3G“ bezeichnet, nochmals um ein Beachtliches verringert werden. Der Einsatz von Multiple Input Multiple Output (MIMO) soll dies ermöglichen. Dabei wird auf mehrere Sende- und/oder Empfangsantennen (allgemein ein Antennenfeld) zurückgegriffen. Der aufgespannten Frequenz-, Zeit- und Codeebene (FDMA/TDMA/CDMA) wird eine weitere Ebene, die räumliche, hinzugefügt. Mittels mehrerer Empfangsantennen lässt sich das Empfangssignal verbessern, die Kanalkapazität abhängig von der Anzahl der eingesetzten Antennen steigern und dadurch die Übertragungsrate deutlich erhöhen (Spatial Multiplexing). Dies geht selbstverständlich einher mit der Reduzierung der Bitfehlerrate (Bit Error Rate). In Senderichtung lässt sich eine Richtcharakteristik (Beam forming) erzeugen, die den Empfang entsprechend verbessert oder mittels derer störende Signale ausgeblendet werden können (Spatial Diversity). Allgemein lässt sich mittels MIMO die spektrale Effizienz, das heißt wieviel Bit pro Sekunde pro Hz, also je zur Verfügung stehender Bandbreite übertragen werden können, deutlich erhöhen. Zur Verdeutlichung zeigt Tabelle 2 die Entwicklung der Systeme, beginnend bei der zweiten Generation des Mobilfunks (GSM) bis zur momentan vor der Veröffentlichung stehenden Release 8 (3GPP LTE).

System (nur DL)	Zugriffsverfahren	Spitzendatenrate (theoretischer Wert) [Mbit/s]	Genutzte Bandbreite [MHz]	Spektrale Effizienz [bit/s/Hz]
GSM	FDMA/TDMA	max. 0,0144	0,2	0,17
EDGE	FDMA/TDMA	max. 0,384	0,2	0,33
UMTS	WCDMA	max. 0,384	5	0,077
HSDPA	WCDMA	14,4	5	2,88
HSPA+	WCDMA (MIMO)	~28	5	5,6
3GPP LTE	OFDMA	~100	20	10,0

Tabelle 2: Spektrale Effizienz verschiedener Systeme

Neue, alte Technologien für Downlink und Uplink

Aus Tabelle 2 wird ein weiterer signifikanter Punkt ersichtlich: mit der Release 8 und der Einführung von 3GPP LTE ändert sich die Zugriffstechnologie! OFDMA heißt hier das Zauberwort. OFDMA steht für Orthogonal Frequency Division Multiple Access und basiert auf OFDM. Mit diesem Zugriffsverfahren wirkt man einem der einschränkendsten Faktoren entgegen, der allen Funktechnologien, nicht nur im Mobilfunk, entgegenwirkt: der Charakteristik des Übertragungskanals. Allgemein gesprochen unterliegt dieser der Mehrwegeausbreitung, das heißt es kann nicht vorausgesehen werden, bei welcher Frequenz auf dem Funkkanal große, lineare Verzerrungen auftreten. Zusätzlich ändern sich die Eigenschaften dieses Kanals zeitlich. Bedingt durch Reflexion, Absorption und Beugung, unter anderem hervorgerufen durch die Bebauung, treffen die übertragenen Symbole zu unterschiedlichen Zeiten am Empfänger ein. Dies führt im Empfänger unter anderem zu einer als Intersymbolinterferenz (engl. Intersymbol Interference, ISI) bezeichneten Störung. Diese tritt auf, wenn die Laufzeit der Echos das Zeitintervall zwischen zwei übertragenen Symbolen überschreitet. Bei WCDMA tritt dieser Effekt bereits im Rahmen der Chipdauer (260 ns) auf. Stark anfällig für Intersymbolinterferenz sind alle Einträgerverfahren, die in allen modernen Mobilkommunikationsverfahren zum Einsatz kommen. Bereits zu Beginn der 50er Jahre des vorherigen Jahrhunderts wurde mit OFDM ein Verfahren entwickelt und erprobt, das dieser Störung entgegenwirkt. Bei OFDM werden – anders als bei heutigen Mobilkommunikationssystemen – die Daten auf mehrere schmalbandige Träger verteilt, die dann einzeln moduliert, zusammengefasst und übertragen werden. Diese Träger sind zueinander orthogonal, soll heißen: voneinander unabhängig. Bei dem Maximum eines Unterträgers (Subchannel) haben alle anderen Unterträger einen Nulldurchgang.

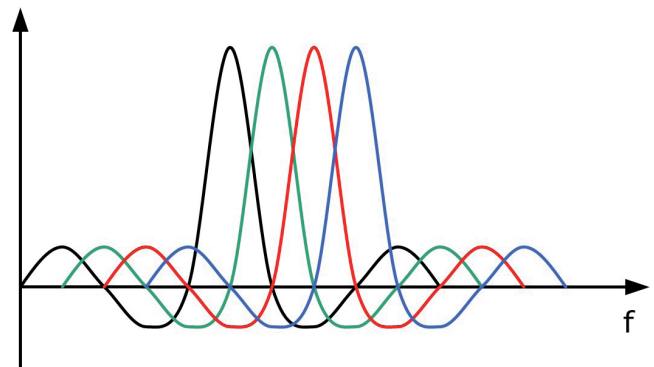


Abbildung 1: OFDM-Spektrum

Mittels OFDM lässt sich die ISI auf ein Minimum reduzieren und nebenbei ein hoher Datendurchsatz erreichen. Mit der Release 8 wird OFDM nun auch Einzug in den Mobilfunk halten, dabei wird es bereits beim WLAN und bei den Mobile-TV-Standards T-DMB und DVB-H eingesetzt. Die Vor- und Nachteile von OFDM bei der Anwendung in Funksystemen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe spektrale Effizienz • Bei ausreichender Dimensionierung kein Auftreten von ISI (einfache Kanalentzerrung im Empfänger) • Große Robustheit gegenüber dem Dopplereffekt 	<ul style="list-style-type: none"> • Genaue Zeit- und Frequenz-Synchronisation für korrekten Betrieb unabdingbar • Hoher Crestfaktor (höchste Anforderungen an Leistungsverstärker)

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von OFDM

Was ist nun das besondere an OFDMA? OFDMA bietet, wie das klassische OFDM, eine skalierbare Anzahl an Unterträgern, die von 128, 512, 1024 bis 2048 reicht und dabei aber nicht einem, sondern mehreren Teilnehmern zugeordnet werden können. Dabei haben die einem Nutzer zugewiesenen Unterträger keine feste Position im Frequenzband (Bandbreite), sondern die Position ändert sich mit jedem Symbol. Dieses „Frequency Hopping“ macht die gesamte Übertragung stabiler in Bezug auf Mehrwegeausbreitung und andere Störungen. In der Literatur wird bei 3GPP LTE auch oftmals von HSOPA gesprochen, wobei das O für OFDMA als verwendete Zugriffstechnologie steht. Warum diese Unterscheidung? Bei 3GPP LTE wird im Uplink auf eine andere Zugriffstechnologie zurückgegriffen. Auch wenn die Spezifikation kurz vor der Vollendung steht, so schätzen Analysten, dass frühestens im Jahr 2011 mit einem Einsatz der Technologie gerechnet werden kann. Beim Uplink für LTE soll Single Carrier FDMA (SC-FDMA) zum Einsatz kommen, das von der Technik her mit OFDMA vergleichbar ist. Während es aber im Downlink lediglich ein Signal gibt, mit dem alle Teilnehmer versorgt werden, so sind im Uplink viele einzelne Signale vorhanden. Dies führt zu einem Anstieg des Rauschens im Empfänger. Wie in Tabelle 3 aufgezeigt, ist ein Nachteil bei der Verwendung von OFDM(A) der hohe Crest-Faktor, das heißt die Peak-to-Average Ratio (PAR, siehe Abbildung 2).

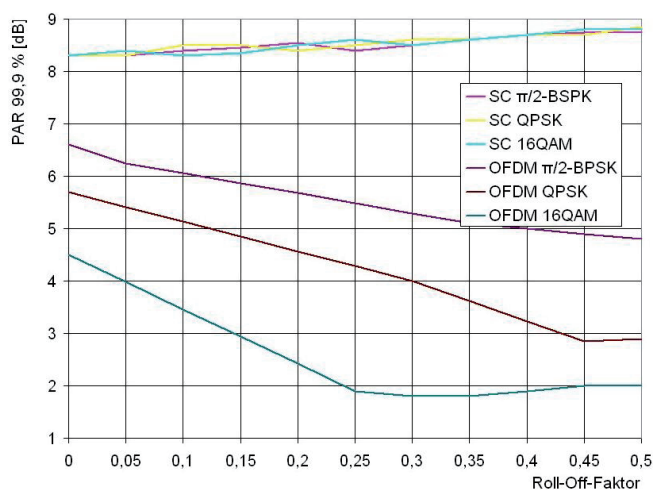


Abbildung 2: Peak-to-Average Ratio (Crest-Faktor) für OFDM und SC-FDMA bei Verwendung verschiedener Roll-Off-Faktoren (Filter)

Wie aus der Grafik ersichtlich, hat OFDM für jede Modulationsart und unabhängig vom verwendeten Filter einen hohen, recht konstanten Crest-Faktor von mehr als 8 dB (oberes Linienfeld). Bei SC-FDMA ist dieser abhängig von der Modulationsform und sinkt mit zunehmender Steilheit des Filters. Bei WCDMA beziehungsweise HSDPA wird ein Root-Raised-Cosine-Filter (RRC-Filter) mit einem Roll-Off-Faktor

von 0,22 verwendet. Die Verwendung von OFDM(A) würde also zur Folge haben, dass sich das Rauschen im Uplink nochmals erhöht, was natürlich nicht erwünscht ist. Um diesen Effekt zu minimieren, wären sehr lineare Leistungsverstärker notwendig, die sich jedoch negativ auf die Akkuleistung auswirken würden. SC-FDMA bringt also zusätzlich den Vorteil, dass weniger Leistung gebraucht wird (Batterieschonung). Die Verwendung von SC-FDMA im Uplink sowie der Einsatz von MIMO (zwei Antennen) ermöglicht eine theoretische Datenrate von 50 Mbit/s. Dazu wird auf die Modulationsarten QPSK und 16QAM zurückgegriffen.

Doch nicht 4G?

Zurück zu den eingangs erwähnten Bezeichnungen. Wir haben festgestellt, dass HSPA als 3,5G des Mobilfunk bezeichnet wird, für HSPA+ fällt die Bezeichnung „Super3G“, die auch vielerorts noch auf 3GPP LTE ausgedehnt wird. Dann kann man bei HSPA+ von 3,75G sprechen, sozusagen das „EDGE des UMTS“. Zieht man die Faustregel heran, dass Technologiesprünge auf der Verbesserung eines signifikanten Systemparameters um den Faktor 10 basieren, so trifft diese Einschätzung auf 3GPP LTE nicht zu, da weder die verwendete Bandbreite sich um den Faktor 10 ändert noch die Datenrate um diesen Faktor steigt. Bei vielen Experten wird 3GPP LTE daher als 3,9G eingeordnet, auch in Hinblick auf die folgenden Überlegungen. Denn was die Vordenker und Entwickler mit der vierten Generation des Mobilfunks versprechen, stellt auch die bereits für 3GPP LTE ermittelten Werte eindeutig in den Schatten: Die Datenraten im Downlink werden auf bis zu 1 Gbit/s ansteigen, im Uplink sind bis zu 60 Mbit/s im Gespräch.

Federführend an der Entwicklung von 4G beteiligt ist wieder einmal NTT DoCoMo, der führende japanische Netzbetreiber. Dieser hatte als weltweit allererster Operator ein kommerziell verfügbares WCDMA-Netz (FOMA) in den kommerziellen Betrieb genommen. Basierend auf 3GPP LTE wird auch 4G zwei unterschiedliche Technologien für Downlink und Uplink verwenden. Die DoCoMo-Entwicklungslabore favorisieren hier an 3GPP LTE angelehnte Technologien. Nichtsdestotrotz sind dafür aber noch höhere Bandbreiten erforderlich, als sie heute zur Verfügung stehen. Dies führt zwangsläufig zu der Forderung, einen neuen Frequenzbereich zu erschließen. Auch die für LTE erforderliche Bandbreite von 20 MHz erfordert eine neue Verteilung des Frequenzspektrums, so wie sie in Europa schon mit der Zuweisung des zusätzlichen Frequenzblocks zwischen 2,5 und 2,7 GHz für den Mobilfunk erfolgt ist. Für 4G werden daher – und nicht nur von NTT DoCoMo – Trägerfrequenzen zwischen 3 und 6 GHz favorisiert.

Bei der Technologie im Uplink handelt es sich um eine bereits bekannte, aber weiter entwickelte. Statt eines Einzelträgers (Single Carrier) setzt NTT DoCoMo auf MC/DS-CDMA (Multicarrier Direct Sequence CDMA). Dabei wird das Uplinksignal auf zwei Träger mit einer Bandbreite von jeweils 20 MHz verteilt. Die dafür vorgesehene Chiprate beträgt 16,384 Mcps pro Träger. Bei UMTS und den nachfolgenden Technologien sind es noch 3,84 Mcps. Dies entspricht nicht nur mehr als einer Vervierfachung der Chiprate je Träger, sondern auch einer Verachtfachung der momentan bei UMTS beziehungsweise bei HSPA verwendeten Bandbreite. Ebenso verkürzt sich die Länge eines Zeitrahmens. Während er bei WCDMA für Up- und Downlink 10 ms beträgt, beträgt die Rahmenlänge beim NTT-DoCoMo-Vorschlag für 4G lediglich 500 μ s. Zum Vergleich: ein einzelner GSM-Zeitschlitz belegt 577 μ s. Als Modulationsverfahren stehen ebenso wie bei LTE drei Alternativen zur Auswahl: das bereits bei WCDMA verwendete QPSK, die mit HSDPA eingeführte 16QAM und ganz neu 64QAM. Bei 64QAM werden pro Symbol 6 Bits übertragen. Dies macht natürlich die Entscheidungsräume enger, erfordert sensiblere Empfänger und optimale Bedingungen auf dem Funkkanal. Bei einer geforderten Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER) von zum Beispiel 10^{-3} bedingt der Einsatz von 64QAM bereits ein Signalrauschverhältnis (Signal-to-Noise Ratio, SNR) von mehr als 22 dB.

Nach ersten Überlegungen lässt sich mit QPSK (2 Bits pro Symbol), zwei Trägern, einer Chiprate von 16,384 Mcps, der Rahmenlänge 0,5 ms und einer Kodierrate von 3:4 eine maximale Datenrate von 24,576 Mbps für den Uplink erreichen. Dazu werden beide Träger mit einem Faktor von 4 gespreizt. Tabelle 4 fasst die Parameter für den Uplink zusammen.

Parameter	Beschreibung
Zugriffsverfahren	MC/DS-CDMA
Trägerfrequenz	4,900 GHz
Bandbreite	40 MHz
Unterträger	2 (2 x 20 MHz, Roll-Off-Faktor = 0,22)
Chiprate je Träger	16,384 Mcps
Rahmenlänge	0,5 ms, 8192 Chips je Träger
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Kodierrate	1:3 – 5:6, 1:16
Spreizfaktor	4 – 16

Tabelle 4: Uplink-Parameter für 4G (NTT-DoCoMo-Vorschlag)

Für den Downlink werden diese Zahlen nochmals getoppt – hier soll die Bandbreite 101,5 MHz betragen. Wie auch bei 3GPP LTE soll hier OFDM – wenn auch etwas modifiziert – zum Einsatz kommen. Das Ganze steht unter dem Kürzel VSF-OFCDM – Variable Spreading Factor Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing.

Parameter	Beschreibung
Zugriffsverfahren	VSF-OFCDM
Trägerfrequenz	4,635 GHz
Bandbreite	101,5 MHz
Unterträger	768 (131,836 kHz Trägerabstand)
OFCDM-Symboldauer	9,259 μ s (inkl. 1,674 μ s Schutzabstand)
Rahmenlänge	54 OFCDM-Symbole (= 0,5 ms)
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Kodierrate	1:3 – 5:6
Spreizfaktor	Max. 128 (Zeitbereich: max. 16)

Tabelle 5: Downlink-Parameter für 4G (NTT-DoCoMo-Vorschlag)

Der „Einsatzort“ entscheidet dabei über die Kombination der in Tabelle 5 zusammengefassten Parameter. In den so genannten „Hotspot-Areas“ (isolated-cell environment) wird auf das Spreizen komplett verzichtet (SF = 1) und nur OFDM eingesetzt, sowie alle Unterträger einem Nutzer zugeordnet. Ein Mobilfunksystem ist jedoch als zelluläres System aufgebaut, abhängig vom System werden diese Zellen dabei auch noch in Clustern organisiert, so z.B. bei GSM. Hier dürfen die Trägerfrequenzen nur in bestimmten Abständen wiederverwendet werden. Dies ist notwendig, um Interferenzen zwischen den einzelnen Trägersignalen zu vermeiden. Da es sich bei dem 4G-Vorschlag aber um ein OFDM-System mit TDMA/CDMA-Zügen handelt, kann in jeder Zelle die gleiche Frequenz wiederverwendet werden. Wie funktioniert die Aufbereitung der Daten für den Downlink aber nun in der sogenannten „Mehrzellen-Umgebung“ und für den allgemeinen Anwendungsfall?

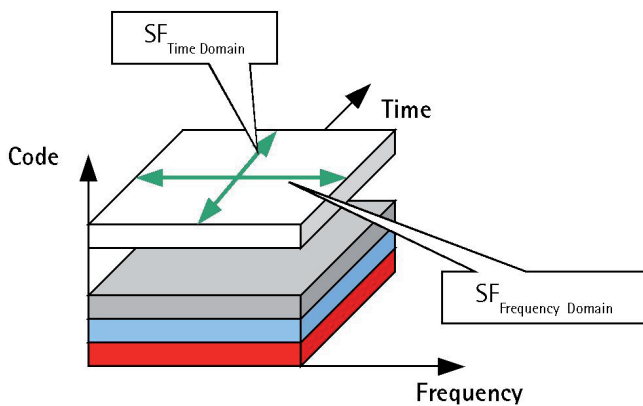


Abbildung 3: VSF-OFCDM-Prinzip

VSF-OFCDM setzt auf zweidimensionales Spreizen, das heißt in der Frequenz- und Zeitebene. Die digitalisierten und in Paketen organisierten Daten werden mit der Codiertrate R kanalcodiert, das heißt an die momentan vorherrschenden Ausbreitungsbedingungen des Übertragungskanals angepasst. Diese Symbole werden dann gespreizt und geschrumpelt. Als Spreizcodes werden wie bei den bekannten Mobilfunksystemen (z.B. CDMA2000, WCDMA) Walsh-Hadamard-Codes verwendet, die Scrambling Codes sind ebenfalls PN-Sequenzen, die aber speziell auf die Anzahl der Unterträger (768) abgestimmt sind. Mittels der Inversen Fouriertransformation (IFFT) werden nun die OFCDM-Symbole generiert, wonach der OFDM-Rahmen dann aus 48 Datensymbolen sowie 2+4 Pilotsymbolen besteht. Mit einer Symboldauer von $9,259 \mu\text{s}$ erreicht der Zeitrahmen dann die bereits erwähnte Länge von $0,5 \text{ ms}$ (siehe Abbildung 4). Nach wie vor wird es im Downlink also auch wieder dedizierte Codekanäle geben, die einem Endgerät in der Zelle zugeordnet sind.

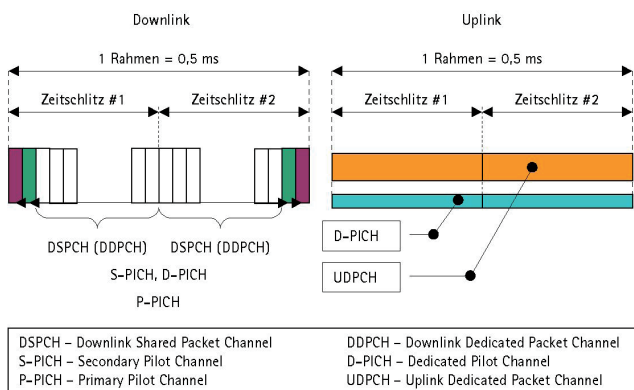


Abbildung 4: Rahmenstruktur für den Up- und Downlink

Auf der Empfängerseite wird mittels der Autokorrelationsfunktion die Symboldauer und die Dauer des Schutzabstands (guard interval) für jedes einzelne OFCDM-Symbol ermittelt und über 54 OFCDM-Symbole gemittelt. Synchronisation wird beim Maximum der Korrelation erreicht und der Schutzabstand

kann eliminiert werden. Danach werden die Symbole mittels schneller Fourier-Transformation (FFT) zurückgewandelt, entschrumpelt und entspreizt. Anschließend werden die Symbole parallel-seriell gewandelt und decodiert. Mittels Laborsimulationen und Tests in der Praxis (Pilotnetzwerk in Yokosuka im Süden von Tokio) wurde im Dezember 2005 eine Spitzendatenrate von 2 Gbit/s realisiert, wobei sich der Empfänger mit rund 20 km/h bewegte. Dazu setzten die Ingenieure ein Antennenfeld der Größe 6×6 ein und verwendeten 64QAM, um die Daten zu übertragen. Dadurch stieg die spektrale Effizienz auf 25 bit/s/Hz , was bei einer Bandbreite von rund 100 MHz $2,5 \text{ Gbit/s}$ ausmacht. In der Praxis sollen abhängig vom vorhandenen Signalrauschverhältnis und den daraus ermittelten Systemparametern im Schnitt Datenraten von mehr als 300 Mbit/s für den Downlink erreicht werden.

Auswirkungen auf die Messtechnik

Zunächst ist es erforderlich, den entsprechenden Frequenzbereich zu bedienen, sei es nun für den Basisstationstest oder den Test von Endgeräten. In dem NTT-DoCoMo-Vorschlag werden Frequenzen zwischen 4 und 5 GHz genannt; ganz allgemein wird von Trägerfrequenzen zwischen 3 und 6 GHz ausgegangen. Eine bedeutende Rolle wird die Bandbreite von mehr als 100 MHz für den Downlink und immerhin $2 \times 20 \text{ MHz}$ für den Uplink spielen. Leistungsmessungen an solch breitbandigen Signalen gestalten sich momentan noch als äußerst schwierig und aufwändig. Zusätzlich bleibt abzuwarten, ob dies als eigenständige Technologie beziehungsweise Standard operieren wird oder ob ein Fallback-Standard eingesetzt wird, wie GSM bei WCDMA. Momentan wird eher von einem Einsatz in Hotspot-Areas ausgegangen. Was passiert mit einer bestehenden Verbindung, wenn der Anwender diesen Bereich verlässt? All diese Fragen sind natürlich noch offen und bedürfen einer Klärung. Bei heutigen, mobilen Endgeräten der dritten Generation und auch bei HSDPA werden Messungen unter speziellen Bedingungen durchgeführt. Die Bezeichnungen Reference Measurement Channel oder Fixed Reference Channel sind den Experten ein Begriff. Diese Kanäle simulieren verschiedene Szenarien (z.B. Datenraten) und/oder charakterisieren gleichzeitig verschiedene Endgeräteklassen. Desweiteren schränken sie die variablen und flexiblen Systemparameter ein und liefern ein definiertes Messsignal, wie es zum Beispiel zur Beurteilung eines Endgerätes notwendig ist. Beim Test eines Endgerätes wird der Uplink vermessen. Das Messgerät sendet diese definierten Messkanäle auf dem Downlink aus, der Prüfling muss mit dem entsprechenden Uplink-Komplement zu antworten und die Differenz zwischen idealem und aufgezeichnetem Signal wird analysiert. Da es sich beim Uplink-Signal um ein ähnliches CDMA-Signal handelt wie bei heutigen 3G-

Systemen, liegt die Vermutung nahe, dass auch im zukünftigen System fixe Messkanäle zur Analyse des Verhaltens des mobilen Endgerätes herangezogen werden. Ebenso wird die Endgeräteklasse eine Rolle spielen. Für das Testen an Basisstationen werden die bekannten Messmethoden für OFDM-Signale (Leistungsmessung, EVM-Messungen etc.) sicher in modifizierter Form zur Anwendung kommen.

Zusammenfassung

4G wirft seine ersten Schatten bereits deutlich voraus, wenn auch davon auszugehen ist, dass die Technologie nicht vor 2011 Einzug in die Netze halten wird. Dazu bedarf es der exakten Definition und Spezifikation, wie sie momentan für 3GPP LTE abgeschlossen wird. Eine Integration in Endgeräte bleibt unter momentanen Gesichtspunkten vorerst nur solchen Geräten vorbehalten, die über eine genügend hohe Akkuleistung verfügen, wie zum Beispiel Notebooks. Sollte die Akkumulatortechnologie weiter Fortschritte machen wie in den letzten Jahren, dann könnte diese Technologie auch in mobile Endgeräte wie Telefone und PDAs Einzug halten. Nichtsdestotrotz ist das System nach Überlegungen von NTT DoCoMo in den Jahren 2010/2011 marktreif – ein ehrgeiziger Plan. Schaut man in die Geschichte und zieht 3G als Beispiel heran, ist es durchaus realistisch, auf diese Angaben ein bis zwei Jahre aufzuschlagen. Neben dem japanischen Netzbetreiber erforschen auch andere Unternehmen die Grundlagen für 4G. So hat zum Beispiel Motorola in Chicago ein Versuchsnetz aufgebaut und Tests damit durchgeführt. Signifikante Systemparameter wie Bandbreite beziehungsweise Trägerfrequenz lagen dabei bei 20 MHz und 3,6 GHz. Der eingeschlagene Trend in Richtung höherer Frequenzen und mehr Bandbreite bestätigt sich für 4G. Neben diesen Schwergewichten haben sich auch andere Unternehmen in Industriallianzen und Foren zusammengeschlossen, um ihre Interessen bezüglich 4G gemeinsam zu verfolgen.

Dennoch bleibt abzuwarten, ob die Vorzüge und ungeheuren Datenraten den Netzbetreibern den Aufwand einer Integration und Umstellung der vorhandenen Netzwerke wert sein werden. Für HSDPA ist „nur“ ein Eingriff in das Radio Access Network notwendig. Die vierte Generation wird auch vor dem Kernnetz nicht halt machen: 4G wird auf dem IPv6-Protokoll basieren!

will'tek

Willtek Communications GmbH
85737 Ismaning
Germany
Tel: +49 (0) 89 996 41-0
Fax: +49 (0) 89 996 41-440
info@willtek.com

Willtek Communications UK
Cheadle Hulme
United Kingdom
Tel: +44 (0) 161 486 3353
Fax: +44 (0) 161 486 3354
willtek.uk@willtek.com

Willtek Communications SARL
Roissy
France
Tel: +33 (0) 1 72 02 30 30
Fax: +33 (0) 1 49 38 01 06
willtek.fr@willtek.com

Willtek Communications Inc.
Parsippany
USA
Tel: +1 973 386 9696
Fax: +1 973 386 9191
willtek.cala@willtek.com
sales.us@willtek.com

Willtek Communications
Singapore
Asia Pacific
Tel: +65 6827 9670
Fax: +65 6827 9601
willtek.ap@willtek.com

Willtek Communications Ltd.
Shanghai
China
Tel: +86 21 5835 8039
Fax: +86 21 5835 5238
willtek.cn@willtek.com

© Copyright 2007
Willtek Communications GmbH.
Alle Rechte vorbehalten.
Willtek Communications,
Willtek und das Willtek-Logo
sind Warenzeichen von Willtek
Communications GmbH.
Alle anderen Warenzeichen und
eingetragene Warenzeichen sind
Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.