LTEmobile

LTE

Long Term Evolution

Neue Dimension mobiler Breitbandnutzung - Eine technische Einführung

Autor: Eike Gutt
Version: 1.1
Datum: 07.10.2010
http://www.ltemobile.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
Einleitung 3
LTE Frequenzen 5
    LTE 800 5
    LTE 2600 7
    Weitere Frequenzbereiche 9
Standardisierung 10
    3G oder 4G ? 11
LTE Technik 13
EUTRAN Die LTE Luftschnittstelle 13
    Modulationsverfahren 15
    MIMO Antennentechnik 15
    Endgeräte Kategorien 16
    OFDMA Technologie für den Downlink 18
    SC_FDMA Uplink Technologie 19
    TDD und FDD LTE 19
    Wie schnell ist LTE? 21
LTE Systemarchitektur 23
    Evolved Packet Core (EPC) Komponenten 24
    EPC und 2G/3G Netz 24
    Roaming 25
LTE Backhaul – Verbindung zwischen eNodeB und EPC 26
Sprachübertragung im LTE Netz 28
    IMS – IP Multimedia Subsystem 28
    CS Fallback 29
    VoLGA 29
Dienstgüte – QoS 31
    QoS im LTE Netz 32
LTE-Advanced 33
Meilensteine der LTE Entwicklung 35
Abbildungen 39
Tabellen 39
Abkürzungen 40

Einleitung

Die Breitbandentwicklung der letzten Jahre ist geprägt durch eine Vervielfachung der Datenrate und neuen Optionen bei der Zugangstechnologie. Die Diversifizierung resultiert aus der technologischen Weiterentwicklung die dazu beigetragen hat, dass neben DSL und TV-Kabel als kabelgebundene Zugangstechnologien auch der Mobilfunk für den Breitbandzugang genutzt wird.

In den letzten Jahren hat die Mobilfunktechnologie, die Bandbreite betreffend, kräftig aufgeholt. Mit der UMTS Ausbaustufe HSPA lassen sich DSL ähnliche Geschwindigkeiten erreichen und auch die Latenzzeiten sind in einen akzeptablen Bereich vorgedrungen. Einfach zu handhabende USB Surfsticks und kalkulierbare Tarife für den Verbraucher sind wesentliche Aspekte des Erfolgs. Sie kommen dem allgemeinen gesellschaftlichen Trend, hin zu mehr Mobilität, entgegen. Die Wachstumsraten von mobilen Breitbandanschlüssen steigen exponentiell und werden die der fest Installierten in den nächsten Jahren um ein Vielfaches übersteigen. Breitband über das Mobilfunknetz wird dabei weniger ein Ersatz für kabelgebundene Anschlüsse, vielmehr steht ihm eine ergänzende Rolle zu. Der Markt für mobile Breitbandzugänge ist ein vergleichsweise junger und extrem dynamischer. Die Wachstumsraten sind hoch, die Erwartungshaltung potentieller Kunden aber auch.

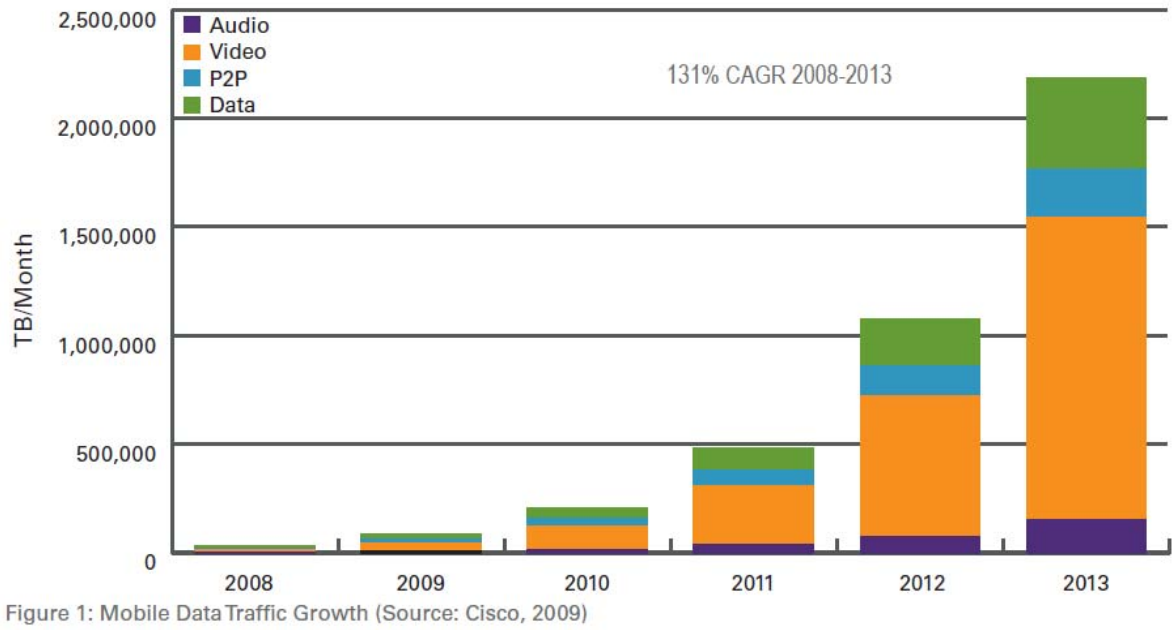

Abbildung 1: Entwicklung des Datenvolumens unterschiedlicher Anwendungen

Abbildung 1[1] zeigt die voraussichtliche Wachstumsrate des Datentransfers, der über mobile Verbindungen verursacht wird. Insbesondere die Übertragung von Videos ist für das starke Wachstum verantwortlich. Der Anteil der Sprachübertragung fällt bei diesen Szenarien kaum ins Gewicht. Die Kapazität der UMTS Netze lässt sich jedoch nicht beliebig nach oben skalieren, bei dem vorausgesagten Wachstumsszenario kommen die UMTS/HSPA Netze an ihre Grenzen. Das bedeutet, immer mehr Nutzer müssen sich die Bandbreite teilen, wodurch die Datenrate für den Einzelnen immer weiter sinkt. Dadurch sind auch der Einführung neuer Dienste, die höhere Bandbreiten benötigen, Grenzen gesetzt.

Für die Netzbetreiber sind eine Reduktion der Kosten pro übertragenem Bit und die Skalierbarkeit der Bandbreite in einem solchen Szenario von großer Bedeutung. Die Einführung der LTE Technologie und die damit einhergehende sukzessive Umstellung auf ein IP basiertes Mobilfunknetz bieten eine Lösung aus diesem Dilemma. Im Vergleich zu HSPA+, der höchsten UMTS Entwicklungsstufe, sind die Kosten pro übertragenem Bit mit LTE um ca. 50% niedriger[2]. Durch die deutlich höhere Bandbreite werden neue Dienste wie IPTV realisierbar.

Mit der Einführung der LTE (Long Term Evolution) Mobilfunk Technologie wird es erstmals möglich, den Nutzern eine mobile breitbandige Zugangstechnologie anzubieten, die das Potential besitzt, hinsichtlich der Bandbreite und der Latenzzeiten, eine echte Alternative zum festen DSL Anschluss zu werden. Auch, wenn LTE technologisch betrachtet noch der dritten Mobilfunk Generation zugeordnet wird, lässt sich im Sinne der neuen Möglichkeiten die LTE bietet, durchaus von einer neuen Dimension mobiler Breitbandnutzung sprechen. Durch den Einsatz in unterschiedlichen Frequenzspektren ist in einigen Jahren eine nahezu flächendeckende Verfügbarkeit durchaus realistisch.

Zurzeit ist LTE in Deutschland noch Zukunftsmusik. In Oslo und Stockholm wurden die ersten beiden kommerziellen LTE Netze Ende 2009 in Betrieb genommen. In Deutschland sind die ersten in den Live Betrieb gegangen, lediglich die passenden Endgeräte fehlen noch. Bis zur flächendeckenden Verfügbarkeit von LTE in Deutschland wird es jedoch noch einige Zeit dauern.

Die vorliegende Einführung bietet einen Einstieg in die Funktionsweise der LTE Mobilfunk Technologie und gibt einen Einblick in die Eigenschaften der neuen Mobilfunk Frequenzbereiche in denen LTE voraussichtlich genutzt wird.

---

[1] Vgl.:http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.pdf S.2

[2] Vgl.:http://www.morganstanley.com/institutional/techresearch/mobile_internet_report122009.html S.67

LTE Frequenzen

Frequenzen sind ein begrenztes Gut wodurch sie für die Netzbetreiber extrem wertvoll sind. Die Versteigerung der UMTS Frequenzen hat gezeigt, welch astronomische Summen die Unternehmen bereit waren zu zahlen. Der Erwerb von Frequenzen bildet für Mobilfunk Netzbetreiber quasi die Existenzgrundlage.

Auch für LTE werden, wie es bei UMTS schon der Fall war, neue Frequenzen benötigt. Zur Verwendung von LTE stehen im Wesentlichen zwei Frequenzbereiche zur Verfügung. Das ist zum einen der 800 MHz Bereich, von 791 bis 862 MHz, zum anderen der 2600 MHz Bereich, von 2500 – 2570 und 2620 – 2690 MHz. Beide Bereiche haben unterschiedliche physikalische Eigenschaften, wodurch sich ihre Einsatzgebiete unterscheiden. Für die Zukunft besteht inzwischen auch die Option, LTE im bisherigen GSM 900 und 1800 Bereich einzusetzen. Dieser Bereich wurde auch für die Nutzung anderer Mobilfunktechnologien freigegeben. In anderen Ländern gibt es noch weitere Frequenzbereiche, in denen LTE genutzt werden kann.

LTE 800

Der durch die Digitalisierung des Rundfunks frei gewordene Bereich bei 800 MHz wird auch als „Digitale Dividende“ bezeichnet. Diesem Frequenzspektrum kommt eine besondere Bedeutung zu, weil es ein Bestandteil der Breitbandstrategie der Bundesregierung[3] ist, in der das Ziel eine flächendeckende Versorgung der Bevölkerung mit mindestens 1 MBit/s zu gewährleisten, ausgegeben wurde. LTE im Bereich der Digitalen Dividende soll dazu beitragen, dieses Ziel zu erreichen.

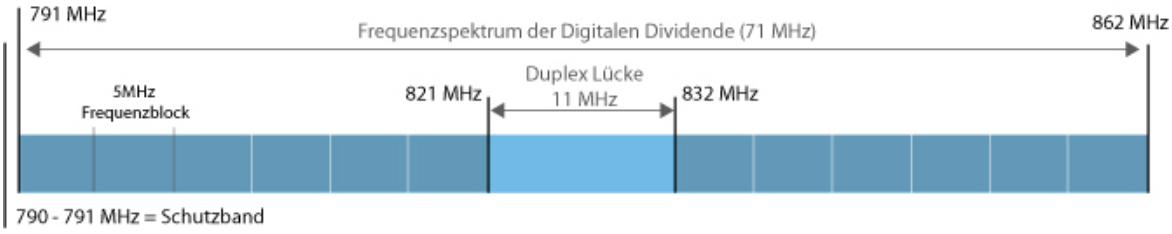

Abbildung 2: Aufteilung der 5MHz Frequenzblöcke im 800 MHz Spektrum

Ein wichtiger Aspekt der Digitalen Dividende ist, dass die frei gewordenen UHF-Frequenzen physikalisch betrachtet in einem besonders attraktiven Bereich des Frequenzspektrums liegen. In dem relativ niedrigen Frequenzbereich, der durch die Digitale Dividende frei geworden ist, sind die Ausbreitungseigenschaften der Funksignale

[3]Vgl.:http://www.bmwi.de/Dateien/BBA/PDF/breitbandstrategie-der-bundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

erheblich besser für einen flächendeckenden Ausbau zu nutzen als in den höheren Frequenzbereichen.

Der 800 MHz Bereich hat sehr gute Ausbreitungseigenschaften, wodurch mit einer Basisstation ein deutlich größeres Gebiet versorgt werden kann, als dies in höheren Frequenzbereichen möglich wäre. Im Idealfall wird durch eine LTE 800 Basisstation ein Senderadius von bis zu 10 km erreicht. Durch diesen Umstand werden in der Fläche weniger Basisstationen benötigt, was sich positiv auf die Investitions- und Betriebskosten für die Infrastruktur auswirkt. Auch die Gebäudedurchdringung ist im Frequenzbereich der Digitalen Dividende hervorragend.

Am Beispiel UMTS, das im 2100 MHz Bereich funkt, wird deutlich, dass es sich für die Betreiber nicht lohnt, eine flächendeckende Versorgung in höheren Frequenzbereichen anzubieten. Bis heute sind große Bereiche unversorgt und werden es wahrscheinlich auch in Zukunft bleiben. GSM im 900 MHz Bereich ist hingegen nahezu flächendeckend in Deutschland verfügbar.

Im Frequenzbereich der Digitalen Dividende stehen 60 MHz (30 MHz gepaart), aufgeteilt in 5MHz Blöcke, zur Verfügung. Bei der Frequenzversteigerung im Frühjahr 2010 konnten die Telekom, Vodafone und Telefonica O2 jeweils 10 MHz gepaart ersteigern, der Netzbetreiber E-Plus konnte keine Frequenzen in diesem Bereich erwerben.

Netzbetreiber	**Downlink Frequenz**	**Uplink Frequenz**
O2 Telefonica	791 - 801 MHz	832 - 842 MHz
Vodafone	801 - 811 MHz	842 - 852 MHz
Telekom	811 - 821 MHz	852 - 862 MHz

Tabelle 1: Frequenzbereiche der Netzbetreiber im 800 MHz Bereich

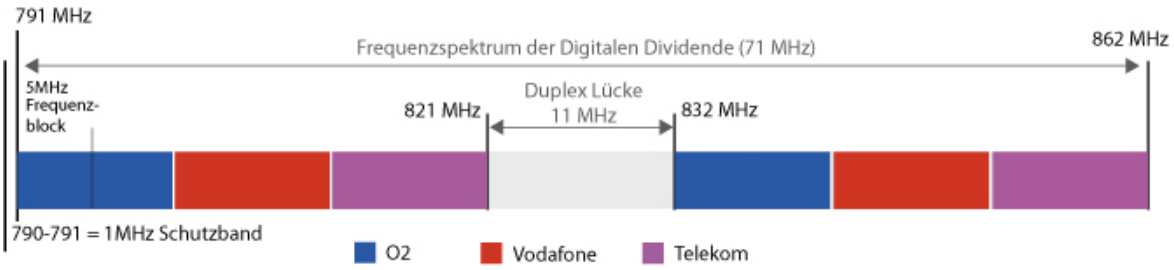

Abbildung 3: Zuweisung der Frequenzen im Bereich der Digitalen Dividende

LTE 2600

Im Bereich 2600 MHz (IMT Extension Band) gab es mehr Frequenzblöcke zu ersteigern, 14 gepaarte 5 MHz Blöcke und 10 Blöcke a 5 MHz ungepaart. Diese Aufteilung der Frequenzen entspricht einer der Vorgaben der ITU (International Telecommunication Union). Durch die ITU sind 3 unterschiedliche Nutzungspläne vorgesehen, wobei der oben genannte dem Nutzungsplan 1 entspricht. Der zweite Plan sieht vor, die zehn 5 MHz Blöcke in der Mitte als FDD (Frequency Division Duplex) Downlink Frequenzen zu verwenden, für den Uplink müsste dann ein anderer Frequenzbereich verwendet werden. Die dritte Option ist, die Frequenzen offen zu versteigern und es den Betreibern zu überlassen, ob sie die ersteigerten Frequenzen für gepaarte oder ungepaarte Nutzung verwenden wollen. Dieser Plan hat jedoch einige Nachteile, wie eine erhöhte Gefahr von Interferenzen und hätte auch Folgen für die Produktion von Endgeräten, die dadurch wesentlich komplexer werden würde. In Europa werden die Frequenzen entsprechend dem ersten Nutzungsplan versteigert, der wie in *Abbildung 4* dargestellt aufgebaut ist, einige europäische Länder weichen leicht davon ab, und vergrößern beispielsweise den Bereich für ungepaarte Frequenzen.

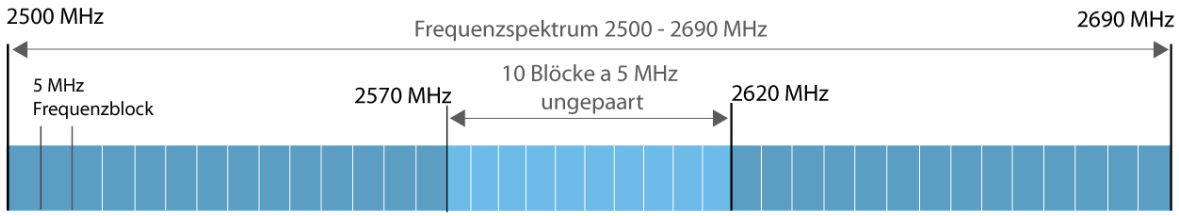

Abbildung 4: Frequenzblöcke im Bereich zwischen 2500 und 2690 MHz

Der Bereich 2600 MHz eignet sich insbesondere für Metropolregionen, mit hoher Einwohnerdichte und den Suburbanen Bereich. Der ungepaarte Bereich wird als weniger wertvoll für die Netzbetreiber eingeschätzt, die im Wesentlichen auf die gepaarten Frequenzen aus sind, um Rückwärtskompatibilität zu bestehenden FDD Netzen zu gewährleisten.

Je höher ein Frequenzbereich liegt, desto schlechter sind die Ausbreitungseigenschaften. Der 2600 MHz Bereich liegt vergleichsweise hoch, die Ausbreitungseigenschaften sind dadurch nicht optimal. Deshalb empfiehlt sich der Einsatz in Gebieten, wo die Basisstationen aufgrund der hohen Nachfrage sehr nahe beieinander stehen müssen.

Dies trifft im Wesentlichen auf Metropolregionen und Suburbane Gebiete zu. Eine effiziente Frequenzstrategie, die eine flächendeckende Verfügbarkeit zum Ziel hat, muss daher sowohl auf Frequenzen im höheren Bereich und im niedrigen Bereich setzen, um dünn und dicht besiedelte Regionen gleichermaßen versorgen zu können.

Es gibt keinen anderen Frequenzbereich, der derartig viel frei verfügbare und zusammenhängende Frequenzen bietet, die sich für den Mobilfunk bzw. mobile Breitbanddienste eignen. Das IMT Extension Band bietet die besondere Chance für Vodafone, Telekom und O2 LTE mit einer Kanalbandbreite von 20 MHz zu betreiben, wodurch besonders hohe Datenraten möglich sind. Das IMT Extension Band steht in sehr vielen Ländern für die LTE Nutzung zur Verfügung, sodass mit einer guten internationalen Kompatibilität der Endgräte gerechnet werden kann, davon profitieren sowohl Netzbetreiber als auch die Verbraucher.

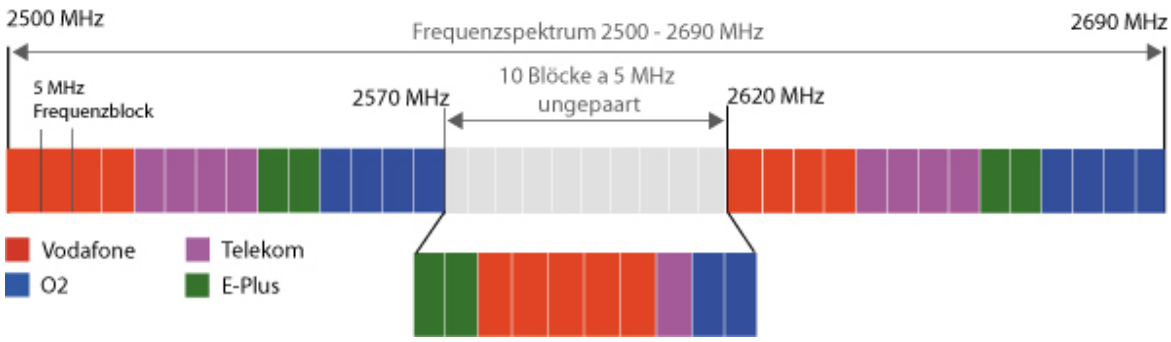

Abbildung 5: Frequenzzuweisung im Bereich 2600 MHz

Netzbetreiber	**Downlink FDD (gepaart)**	**Uplink FDD (gepaart)**	**Frequenz TDD (ungepaart)**
Telekom	2640 - 2660 MHz	2520 - 2540 MHz	2605 - 2610 MHz
Vodafone	2620 - 2640 MHz	2500 - 2520 MHz	2580 - 2605 MHz
O2	2670 - 2690 MHz	2550 - 2570 MHz	2610 - 2620 MHz
E-Plus	2660 - 2670 MHz	2540 - 2550 MHz	2570 - 2580 MHz

Tabelle 2: Ersteigerte Frequenzbereiche (2600MHz)

Weitere Frequenzbereiche

Die Bereiche 800 MHz und 2,6 GHz sind im europäischen Raum die wichtigsten Frequenzbereiche für LTE. Es gibt jedoch noch andere Frequenzen, auf denen LTE genutzt werden kann. In anderen Ländern bzw. Kontinenten unterscheiden sich die für LTE genutzten Frequenzbereiche zum Teil erheblich, z.B. in den USA.

In Europa bieten die bisher für GSM genutzten Frequenzbereiche bei 900 und 1800 MHz eine Alternative für LTE. Der Bereich 900 MHz ist dabei eine sehr langfristige Perspektive da der GSM Bereich noch lange genutzt werden wird. 1800 MHz bietet dagegen auch mittelfristig eine Alternative, hier steht Spektrum zur Verfügung, das bei der großen Frequenzversteigerung 2010 vergeben wurde. E-Plus hat 10 MHz gepaart ersteigert, die Telekom 15 MHz gepaart.

Netzbereiber	**Uplink FDD (gepaart)**	**Downlink FDD (gepaart)**
E-Plus	1730,1 -1735,1 & 1758,1-1763,1	1825,1-1830,1 &1853,1-1858,1
Telekom	1710-1725 MHz	1805-1820 MHz

Tabelle 3: In 2010 neu erworbene Frequenzen im Bereich 1800 MHz

Insbesondere für E-Plus bietet sich dieses Spektrum als Alternative für LTE Ausbau an, da das Unternehmen keine Frequenzen im Bereich der Digitalen Dividende ersteigern konnte. In Polen wird im Bereich 1800 MHz bereits ein LTE Netz von CenterNet und Mobyland aufgebaut, verwendet werden dafür bisher ungenutzte GSM Frequenzen[4].

[4] Vgl.: http://www.ltemobile.de/news/newsdetails/in-polen-geht-das-weltweit-erste-lte-netz-im-1800-mhz-bereich-in-betrieb/

Standardisierung

Die 1998 gegründete „3GPP“ Initiative ist für die Standardisierung von LTE und anderen Mobilfunktechnologien wie UMTS und HSPA zuständig. 3GPP steht als Abkürzung für „Third Generation Partnership Project“.

Ziel der Standardisierung ist die Erstellung von technischen Spezifikationen (TS), die alle technischen Details einer Mobilfunktechnologie detailliert beschreiben. Die Spezifikationen für LTE sind extrem umfangreich, der Detailgrad ist so hoch gewählt, damit die Mobilfunkgeräte unterschiedlicher Hersteller in allen Netzen problemlos funktionieren.

Die TS werden in sogenannte „Releases“ aufgeteilt, die ein bestimmtes Ziel bei der Entwicklung abbilden. Das derzeit letzte fertig gestellte Release ist das Release 8, das unter anderem LTE standardisiert.

Die technischen Spezifikationen sind kostenlos zugänglich und können auf den 3GPP Seiten als gezippte Word Dateien herunter geladen werden.

Die Standardisierung wird in verschiedenen Standardisierungsgruppen (TSGs) durchgeführt. Dabei wird zwischen den folgenden Gruppen unterschieden:

- TSG SA = **S**ervices and **A**rchitecture
- TSG CT = **C**ore Network and **T**erminals
- TSG GERAN = **G**SM **E**DGE **R**adio **A**ccess **N**etwork
- TSG RAN = UMTS **R**adio **A**ccess **N**etwork

Diese sind nochmals in so genannte Arbeitsgruppen (Working Groups/WGs) unterteilt, die sich mit Themenspezifischen Aufgaben befassen.

Das erste Release wurde noch nach einer Jahreszahl benannt, die nachfolgenden mit laufenden Nummern. Folgende Releases sind fertig gestellt oder befinden sich zurzeit im Bearbeitungsstatus:

- **Release 99**: Fertig gestellt im März 2000. Erste Einführung von UMTS und EDGE Erweiterungen

- **Release 4**: Fertig gestellt im März 2001. Multimedia Messaging Unterstützung. Erste Schritte in Richtung IP basiertes Kernnetz

- **Release 5**: Fertig gestellt im Juni 2002. HSDPA Spezifikation. Anfang von IMS. Erster Ansatz für IP basierte Datenübertragung im Kernnetz.

- **Release 6**: Fertig gestellt im März 2005. HSUPA wird standardisiert. IMS Verbesserungen und Option zur WLAN Integration

- **Release 7**: Fertig gestellt im Dezember 2007. Weiterentwicklung von EDGE. HSPA Weiterentwicklung (HSPA+) mit 64 QAM Modulation und MIMO wird spezifiziert. HSUPA mit 16 QAM Modulation.

- **Release 8**: Letztes fertig gestelltes Release vom Dezember 2008. Spezifiziert das OFDMA basierte 3GPP LTE. Beinhaltet HSPA Weiterentwicklungen wie gleichzeitige Nutzung von MIMO und 64 QAM. Femtozellen Spezifikation „Home NodeB's".

- **Release 9**: Befindet sich noch in der Entwicklung. Fertigstellung voraussichtlich 2010. HSPA und LTE Erweiterungen und Verbesserungen, neue SON Features

- **Release 10**: Befindet sich noch in der Entwicklung. Fertigstellung voraussichtlich 2011. Spezifiziert LTE-Advanced das den Anforderungen von ITU's IMT-Advanced entspricht.

3G oder 4G ?

Allgemeine Verwirrung herrscht oftmals bei der Zuordnung der LTE Technik zu einer bestimmten Mobilfunk Generation. Immer wieder wird gestritten, ob LTE nun der 3. oder der 4. Generation zuzuordnen ist. 3G und 4G sind inzwischen nicht mehr nur rein technische Bezeichnungen, sie werden auch als Marketingbegriffe verwendet. Technisch gesehen beziehen sich die Mobilfunk Generationen auf die Standardisierung der ITU (International Telecommunication Union). Die ITU macht Vorgaben, die eine Mobilfunk Generation zu erfüllen hat. Die 3. Generation wurde durch IMT-2000[5] spezifiziert, die Anforderungen an die 4. Generation werden durch IMT-Advanced formuliert[6]. Das LTE Release 8 erfüllt nicht die Kriterien für IMT-Advanced, kann also nicht der 4. Mobilfunk Generation zugeordnet werden. Erst das Release 10, in dem LTE-Advanced eingeführt wird, ist ein Kandidat für 4G - dazu mehr im „LTE-Advanced" Kapitel. Die Performance Anforderungen für IMT-Advanced[7] sehen beispielsweise eine Kanalbandbreite von 40

[5] http://www.itu.int/home/imt.html
[6] http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=study-groups&rlink=rsg5-imt-advanced&lang=en
[7] Vgl.: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf

MHz vor, LTE im Release 8 kann mit maximal 20 MHz betrieben werden. Auch die geforderte Spektraleffizienz erreicht LTE nicht.

Den Marketing Strategen ist dieser Umstand relativ egal, 4G lässt sich besser vermarkten als 3G, da der Verbraucher damit schnellere Datenraten assoziiert. Die im Ursprung technische Zuordnung wird dadurch vermutlich im allgemeinen Sprachgebrauch zukünftig keine Relevanz mehr haben.

Mobilfunk Generation	Technische Anforderungen
1. Generation (1G)	Keine Anforderungen (analoge Technik)
2. Generation (2G)	Keine Anforderungen (erste digitale Technik) z.B. GSM
3. Generation (3G)	ITU's IMT-2000, 144 kbps bei mobiler Nutzung, 384 kbps bei geringen Geschwindigkeiten UMTS, HSPA, LTE und auch WiMAX
4. Generation (4G)	ITU's IMT-Advanced, hohe Spektraleffizienz, und 40 MHz Kanalbandbreite. Kandidaten sind LTE-Advanced und IEEE 802.16m

Tabelle 4: Anforderungen an unterschiedliche Mobilfunk Generationen

LTE Technik

LTE ist technisch gesehen der Nachfolger der HSPA Technologie. LTE ist aber nicht nur einfach eine neue Technologie, hinter LTE verbirgt sich eine ganze Reihe neuer Entwicklungen in unterschiedlichen Teilbereichen.

Grundsätzlich lässt sich LTE in zwei Bereiche unterscheiden. Im eigentlichen Sinne beschreibt LTE die Funkschnittstelle, also die Technologie zur Übertragung von Daten zwischen dem Endgerät (beispielsweise einem Handy) und der sogenannten Basisstation. Um Daten von einem Nutzer zum Anderen zu übertragen, muss die Basisstation an ein Kernnetz angeschlossen werden, dass die Daten zum anderen Nutzer weiterleitet. Dieses Kernnetz muss im Rahmen der LTE Entwicklung ebenfalls neu konzipiert werden, um eine IP basierte Übertragung zu ermöglichen.

Die Luftschnittstelle wird „EUTRAN“ genannt (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network). EUTRAN ist die Weiterentwicklung des UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN). Das zentrale Element ist die Basisstation, die im LTE Netz „eNodeB“ heißt. Das Kernnetz oder Core Network wird EPC – Evolved Packet Core genannt. Es besteht aus mehreren Netzwerkkomponenten, die unterschiedliche Funktionen erfüllen und ist über ein Backbone mit den Basisstationen verbunden. Auch das Backbone muss den neuen Erfordernissen angepasst werden. Die bisherigen Verbindungen sind in der Regel nur für die Übertragung weniger MBit/s ausgelegt, für LTE werden neue Leitungen mit deutlich größerer Kapazität benötigt.

Der Aufteilung zwischen LTE Luftschnittstelle und dem EPC Kernnetz wird auch in den folgenden Kapiteln entsprochen, zunächst wird die Funkschnittstelle beschrieben und die Technologien, die eingesetzt werden, danach wird das Kernnetz und die Funktionalität der Komponenten vorgestellt.

EUTRAN Die LTE Luftschnittstelle

EUTRAN ist die Bezeichnung für die LTE Luftschnittstelle, hier werden die Daten zwischen Endgerät und der Basisstation übertragen. Verschiedene Verfahren tragen dazu bei, dass zwischen dem Endgerät und der Basisstation, die als eNodeB bezeichnet wird, sehr hohe Datenraten möglich sind. Zu diesen Verfahren gehören eine hohe Modulation, eine komplexe Antennentechnologie und neue Verfahren zur Kodierung. Die Basisstationen haben sowohl eine Verbindung zur benachbarten Basisstation, als auch

eine Anbindung an das Kernnetz. Die Basisstationen sind mit der Schnittstelle X2 verbunden, die Kommunikation findet über das X2-AP Protokoll statt. Zentrale Aufgabe dieser Schnittstelle ist es, Paketverluste bei Zellwechsel zu minimieren. Daten, die sich noch im Zwischenspeicher der alten eNodeB befinden, können durch diese Schnittstelle weitergeleitet werden. *Abbildung 6* zeigt einen Vergleich zwischen UTRAN und EUTRAN, deutlich wird die verringerte Komplexität.

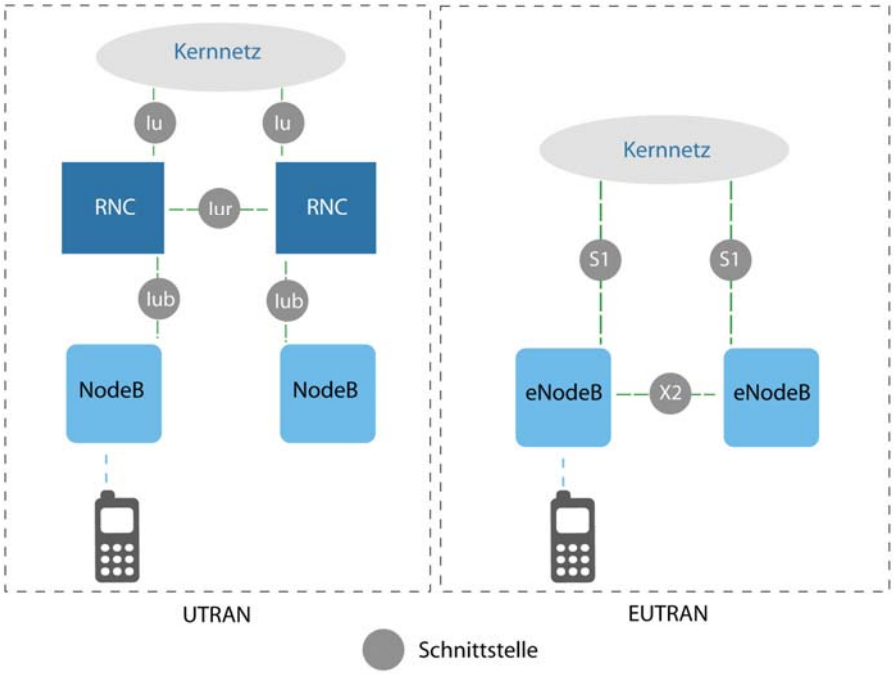

Abbildung 6: Vergleich UTRAN (UMTS) und EUTRAN (LTE)

Im UMTS Netz ist zwischen der Basisstation und dem Kernnetz der RNC zwischengeschaltet. Im Zuge der Vereinfachung der Struktur wurden die RNC Funktionen zum einen Teil in die eNodeB und zum anderen Teil in die MME, einer Kernnetz Komponente, verteilt. Die eNodeB ist dadurch direkt mit dem Kernnetz über die S1 Schnittstelle verbunden. Zum Kernnetz bestehen zwei Verbindungen, eine zur Signalisierung (S1-C) und eine zur Übertragung der Nutzdaten (S1-U).

Modulationsverfahren

Ein Verfahren zur Steigerung der Datenraten von LTE ist QAM (Quadraturamplitudenmodulation) ein Modulationsverfahren, bei dem mehrere Bits pro Signal übertragen werden können. Die Signale werden jeweils per Amplitudenmodulation auf einen Träger gleicher Frequenz, jedoch mit um 90° verschobener Phase, moduliert.

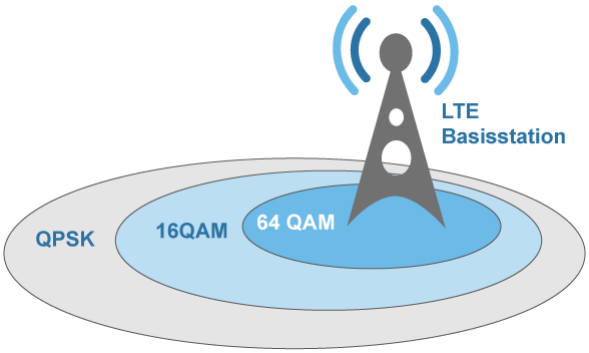

Abbildung 8: 64 QAM in der Nähe der eNodeB

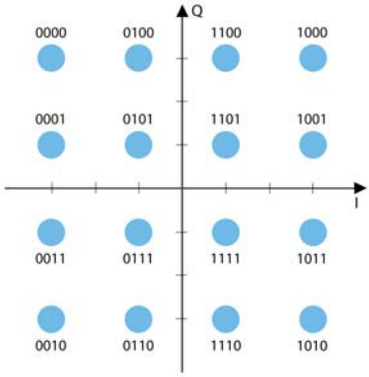

Abbildung 7: 16 QAM Konstellation

Komplexe Modulationsverfahren wie 64 QAM, die sehr hohe Datenraten ermöglichen, sind nur in der Nähe der Basisstation möglich (*Abbildung8*). Je weiter das Endgerät sich von der Basisstation entfernt, bzw. je schwächer die Verbindung ist, desto einfacher muss das Modulationsverfahren sein und entsprechend geringer ist die Spektraleffizienz. Hohe Modulation ist extrem störanfällig, deshalb wird in größerer Entfernung zur Basisstation QPSK verwendet, was QAM 4 entspricht. Die Abbildung links zeigt eine 16 QAM Konstellation, damit können 4 Bit pro Zeitintervall übertragen werden. QAM Modulation ist genau wie die MIMO Antennentechnik keine LTE spezifische Entwicklung. QAM wird auch bei kabelgebundenen Technologien verwendet, beispielsweise bei DSL. Auch für die UMTS Ausbaustufe HSPA+ sind 16 QAM und 64 QAM Modulation möglich.

MIMO Antennentechnik

Die zweite Neuerung bei LTE ist die MIMO Antennentechnologie. MIMO ist, die Verbesserung der spektralen Effizienz betreffend, eine Schlüsseltechnologie, die sich deutlich auf die erreichbaren Datenraten auswirkt. Verfügt ein System über mehrere Eingangs- und Ausgangsgrößen, spricht man von einem MIMO-System (Multiple Input/Multiple Output). MIMO ermöglicht das zeitgleiche Übertragen mehrerer Datenströme auf der gleichen Frequenz. Das bedeutet, dass mehrere Sende- und

Empfangsantennen zur drahtlosen Übertragung von Daten verwendet werden. Dadurch kann neben der zeitlichen auch die räumliche Dimension der Übertragung genutzt werden. Zusätzlich zur Steigerung der spektralen Effizienz wird auch die Übertragungsqualität verbessert. MIMO ist keine LTE spezifische Entwicklung, auch andere Funktechnologien, wie beispielsweise WiMAX und WLAN, nutzen MIMO zur Verbesserung der Spektraleffizienz.

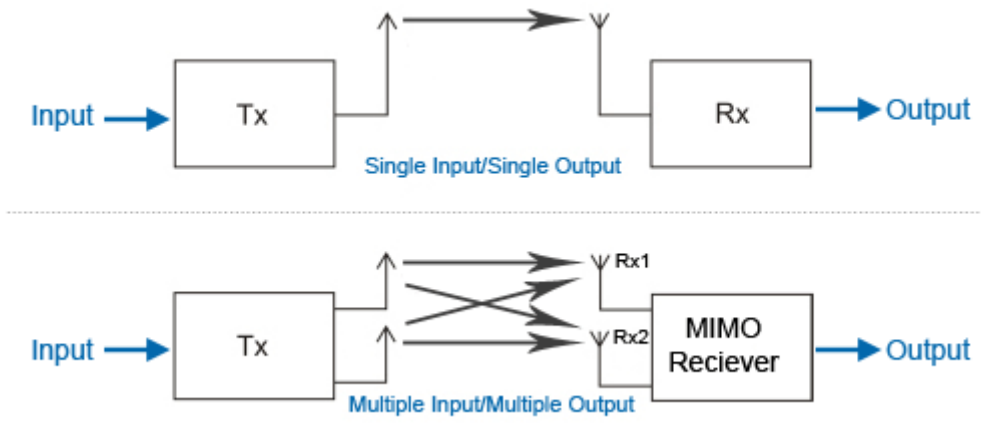

Abbildung 9: SISO (oben) und MIMO Vergleich

Es gibt mehrere mögliche MIMO Konstellationen, die für die LTE Luftschnittstelle verwendet werden können. Die Komplexeste, für das LTE Release 8 vorgesehene Konstellation, ist 4x4 MIMO, das bedeutet jeweils vier Antennen auf der Senderseite und vier beim Empfänger. Diese Konstellation ermöglicht die Übertragung von vier zeitgleichen Datenströmen. Grundsätzlich gilt, je höher die Anordnung, desto größer die Spektraleffizienz. Im Vergleich zur einfachen SISO Übertragung verdoppelt ein 2x2 MIMO System nahezu die Datenrate. Neben MIMO Systemen, die eine gleiche Anzahl an Sendern und Empfängern haben, gibt es auch MISO und SIMO Systeme, die auf Sender oder Empfängerseite von der Anzahl abweichen. MIMO ist keine LTE spezifische Entwicklung, auch andere (Mobil-)Funktechnologien nutzen MIMO zur Steigerung der Spektraleffizienz, beispielsweise HSPA+ und WLAN.

Endgeräte Kategorien

Die unterschiedlichen Modulationsverfahren und Antennentechnologien, die durch LTE unterstützt werden, führen zu einer Unterscheidung in verschiedene Endgeräte Kategorien. Dadurch lassen sich Endgeräte mit unterschiedlicher Ausstattung produzieren. Generell ist das Verbauen mehrer Antennen, wie es für einige MIMO Anordnungen vorgesehen ist, in einem Endgerät nicht unproblematisch. Insbesondere in

kleinen Endgeräten wie Handys sind die Möglichkeiten begrenzt. In niedrigeren Frequenzbändern wird das Problem noch größer, da hier die Antennen größer sein müssen als in höheren Frequenzbereichen. Bei größeren Endgeräten wie Notebooks, ist es kein Problem, mehrere Antennen zu verbauen. Zudem ist es auch mit höheren Kosten verbunden, mehrere Antennen in ein Gerät zu implementieren. Aus diesem Grund gibt es unterschiedliche Kategorien für Endgeräte.

Das 3GPP hat die folgende Tabelle[8] veröffentlich, die darlegt, welche Kategorie welche Datenraten und Technologien unterstützt.

<table>
<tr><td colspan="2">Kategorie</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Höchste Datennrate (MBit/s)</td><td>DL</td><td>10</td><td>50</td><td>100</td><td>150</td><td>300</td></tr>
<tr><td>UL</td><td>5</td><td>25</td><td>50</td><td>50</td><td>75</td></tr>
<tr><td colspan="7">Unterstützte Funktionen</td></tr>
<tr><td>Bandbreite</td><td colspan="6">20 MHz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modulation</td><td>DL</td><td colspan="5">QPSK, 16QAM, 64 QAM</td></tr>
<tr><td>UL</td><td colspan="4">QPSK, 16 QAM</td><td>QPSK, 16QAM, 64QAM</td></tr>
<tr><td colspan="7">Antennentechnologie</td></tr>
<tr><td>2X2 MIMO</td><td>Nicht unterstützt</td><td colspan="5">Obligatorisch</td></tr>
<tr><td>4X4 MIMO</td><td colspan="5">Nicht unterstützt</td><td>Obligatorisch</td></tr>
</table>

Tabelle 5: LTE Endgeräte Kategorien (Quelle: 3GPP)

[8] Vgl.: http://www.3gpp.org/article/lte

OFDMA Technologie für den Downlink

Für die Übertragung der Daten auf der Luftschnittstelle werden die Signale kodiert. Die Kodierung findet im Sender statt, auf der Empfängerseite wird das Signal entsprechend wieder dekodiert. LTE nutzt relativ neue Verfahren zur Kodierung, OFDMA beim Downlink und SC-FDMA Technik für den Uplink. „OFDMA“ steht für „Orthogonal Frequency Division Multiple Access”. SC-FDMA ist eine OFDMA ähnliche Technik, die eingesetzt wird, um den Leistungsverbrauch von LTE Geräten zu verringern. Beide basieren auf OFDM und werden eingesetzt, um das vorhandene Spektrum in viele schmalbandige Träger, so genannte Subcarrier oder Unterträger, aufzuteilen. Im

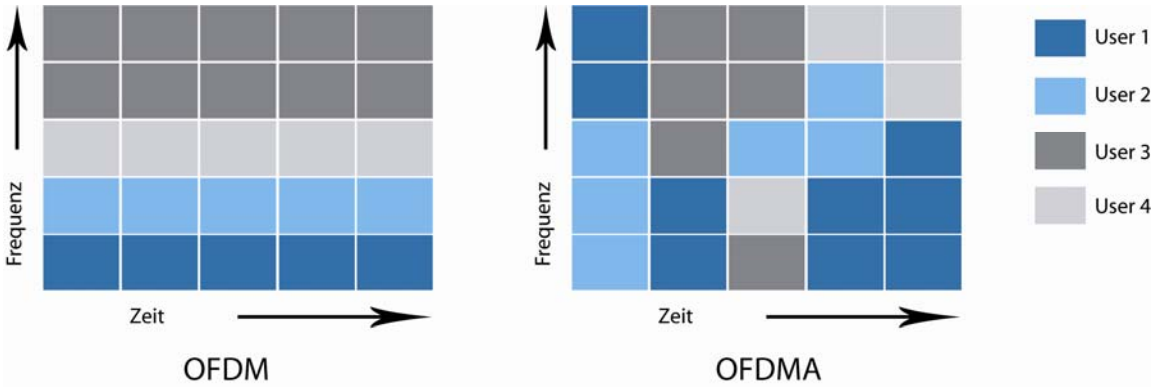

Abbildung 10: OFDMA und OFDM Vergleich: Zeit - Frequenz Nutzung

Gegensatz zu OFDM ist OFDMA für den Multiuser Betrieb entwickelt und kann den Nutzern ihren Anforderungen entsprechend Bandbreite zuordnen. Anhand *Abbildung 10* wird dies deutlich. Die dem Nutzer zur Verfügung stehende Bandbreite richtet sich nach dem aktuellen Bedarf, der stark schwanken kann. Durch diese Möglichkeit der flexiblen Zuordnung wird die Vorhandene Bandbreite unter den Nutzern optimal aufgeteilt, dadurch entsteht ein hohes Maß an Effizienz.

Das spezifische an **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** ist, dass die einzelnen Trägersignale orthogonal zueinander stehen. Dies bewirkt, dass sich die Trägersignale kaum gegenseitig beeinflussen können, wodurch Interferenzen vermieden werden. Durch die Orthogonalität entsteht eine Überlappung der Spektren benachbarter Träger durch die unterschiedlichen Spitzen der Amplituden sind sie aber gut zu unterscheiden. Im Vergleich zu breitbandiger Übertragung ist OFDM wesentlich resistenter gegenüber Störungen, da eine Störung auf einem Unterträger nicht das ganze Frequenzband beeinflusst. Der schmalbandige Träger kann wesentlich leichter wieder rekonstruiert werden, als ein breitbandiger, wie beispielsweise bei UMTS. Seine Vorteile

kann OFDMA insbesondere bei hohen Kanalbandbreiten Ausspielen, bei 10 oder gar 20 MHz ist die durch OFDMA erreichte Spektraleffizienz deutlich höher als bei geringeren Kanalbandbreiten.

Ein Nachteil von OFDMA ist, dass durch die vielen Unterträger der Aufwand für die Kodierung und die Dekodierung entsteht, was wiederum für einen erhöhten Stromverbrauch verantwortlich ist.

LTE wurde aufgrund der OFDMA Technologie auch als **HSOPA** (High Speed OFDM Packet Access) bezeichnet. OFDMA ist auch Bestandteil von WiMAX. Das ist ein Grund, warum beide Technologien oft mit einander verglichen werden.

SC_FDMA Uplink Technologie

Für den Uplink wurde beim 3GPP Release 8 eine andere Technologie als OFDMA gewählt. Im Gegensatz zu WiMAX, das OFDMA auch für den Uplink verwendet, wurde vom 3GPP SC-FDMA für LTE standardisiert. Hintergrund dieser Entscheidung ist es, eine Technik zu wählen, die eine weniger aufwendige Datenverarbeitung und eine Reduzierung des Leistungsverbrauchs mobiler Sendevorrichtungen also beispielsweise Handys und USB Sticks ermöglicht. SC-FDMA baut auf der OFDM Technologie auf, verwendet dabei aber Techniken zur Reduzierung des Energieverbrauchs. Dadurch ist SC-FDMA im Vergleich zu OFDMA das deutlich komplexere Verfahren.
Ein Nachteil von OFDMA ist der der hohe PAPR (Peak to average Power Ratio), der die Energieeffizienz des Senders verringert. Als "Peak to Average Ratio” (PAR) oder als "Peak to Average Power Ratio“ (PAPR) wird das Verhältnis der maximalen Sendeleistung zur mittleren Sendeleistung bezeichnet. Je nach Höhe der gewählten Modulation ist der PAPR mit SC-FDMA um einige dB niedriger als bei OFDMA, dabei gilt, je höher die Modulation, desto geringer der Effekt.

TDD und FDD LTE

TDD (Time Division Duplex) und FDD (Frequency Division Duplex) LTE sind zwei unterschiedliche LTE Varianten, die das vorhandene Spektrum auf unterschiedliche Art nutzen. Sie wurden entwickelt um LTE in gepaarten und ungepaarten Spektrum betreiben zu können. TDD LTE wurde konzipiert um LTE auf nur einer Trägerfrequenz also ungepaarten Spektrum einzusetzen, Up –und Downlink werden zeitlich voneinander getrennt übertragen. FDD LTE benötigt hingegen ein gepaartes Spektrum, eine Trägerfrequenz für den Uplink und eine für den Downlink. Up-und Downlink können gleichzeitig übertragen werden.

Durch diese Anpassungsfähigkeit wird LTE verschiedenen Gegebenheiten, was die Verfügbarkeit von Frequenzen betrifft, gerecht.

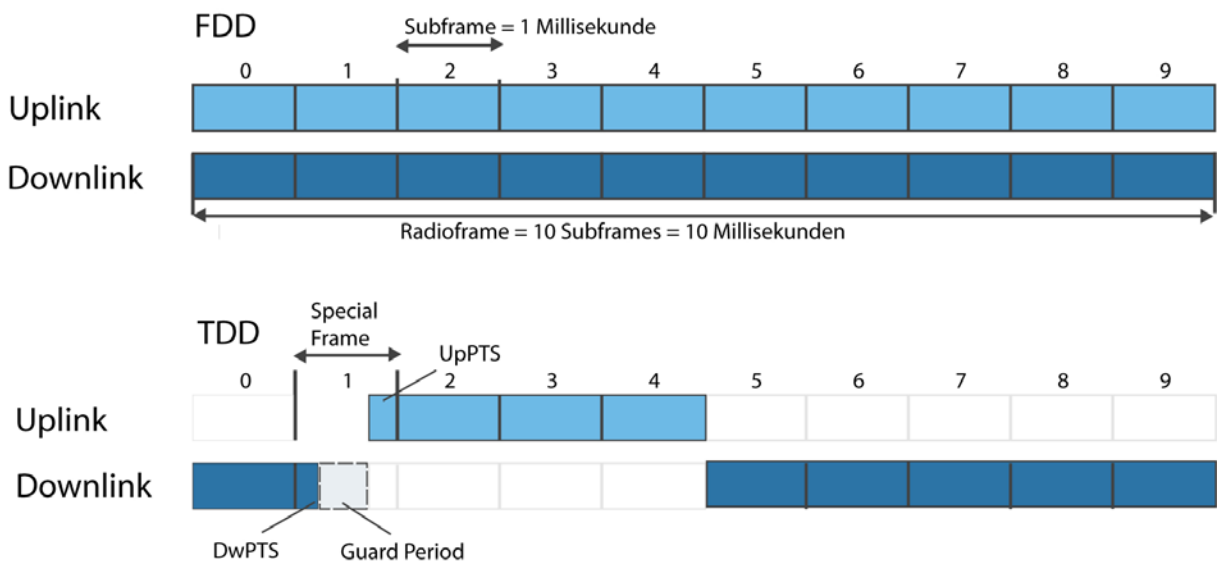

Abbildung 11: Gegenüberstellung der Datenübertragung mit FDD und TDD

Die übertragenen Signale werden in beiden LTE Versionen in sogenannte „Subframes“ aufgeteilt. Ein Subframe ist dabei eine zeitliche Einheit von einer Millisekunde (1 ms). TDD LTE unterteilt diese Subframes in Downlink und Uplink Subframes. Zwischen der Umschaltung von Downlink zu Uplink wird ein Subframe benötigt, der den DwPTS (Downlink Pilot Timeslot), die GP (Guard Period), und den UpPTS (Uplink Pilot Time Slot) beinhaltet. Die Guard Period verhindert, dass sich empfangene und gesendete Signale überlagern. Diese Dreiteilung des Subframes wird auch bei TD-SCDMA verwendet und wurde in TDD LTE übernommen.

Um verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden unterstützt TDD LTE sieben verschiedene Konfigurationen, die bestimmen, wie viel Zeit und damit auch Bandbreite für den Up- oder Downlink verwendet werden. Die meisten Konfigurationen sehen ein besseres Verhältnis zu Gunsten des Downstreams vor. Nur Konfiguration 0 bevorzugt in einem Verhältnis von 3:2 den Uplink, und Konfiguration 7 sieht eine ungefähre Gleichverteilung vor. Diese dynamische Anpassungsmöglichkeit der verfügbaren Bandbreite ist ein Vorteil von TDD gegenüber FDD. Die immer knapper werdende Ressource Frequenz führt dazu, dass TDD für die Netzbetreiber eine immer interessantere Option wird.

Ein Nachteil der TDD Technik besteht darin, dass die Basisstationen gleichgeschaltet werden müssen. Alle benachbarten Basisstationen müssen zur gleichen Zeit Senden und Empfangen, ansonsten kann es zu Störungen kommen. Dieser Umstand führt zu einer erhöhten Komplexität, womit steigende Kosten verbunden sind.

Wie schnell ist LTE?

Die vielleicht interessanteste Frage, die eine neue Technologie zur Datenübertragung für den Nutzer aufwirft ist, wie schnell sie ist, also welche Datenraten übertragen werden können. Von festen Breitbandanschlüssen, wie bei DSL, ist es der Verbraucher gewohnt, dass die Datenübertragungsrate mit dem Tarif angegeben wird. Ist das bei festen Anschlüssen noch realisierbar, kommen bei funkbasierten Technologien Einflüsse hinzu, die eine genaue Angabe durch den Netzbetreiber unmöglich machen. Die schon aus DSL Angeboten bekannte Formulierung „Bis zu…MBit/s“ wäre bei LTE Tarifen noch wesentlich ungenauer.

Der Zuwachs an Datenrate, den LTE gegenüber den Vorgängertechnologien leistet, ist beeindruckend. Die schnellsten HSPA Netze ermöglichen zurzeit Datenraten von bis zu 14,4 MBit/s. In verschiedenen Tests wurden mit LTE Datenraten von über 150 MBit/s erreicht, was mehr als einer Verzehnfachung entspricht. Mit den beschriebenen Modulationsverfahren und moderner Antennentechnologie, sind theoretisch Datenraten jenseits von 300 MBit/s möglich. Diese Werte beziehen sich auf den Downlink. Im Uplink lassen sich theoretisch bis zu 86 MBit/s erreichen.

FDD Downlink Datenraten (64 QAM Modulation)			
Antennentechnik	SISO	2x2 MIMO	4x4 MIMO
Datenrate in MBit/s	100	172,8	326,4
FDD Uplink Datenraten			
Modulation	QPSK	16 QAM	64 QAM
Höchste Datenrate	50	57,6	86,4

Tabelle 6: Übersicht der Datenraten mit verschiedenen Technologien

Diese Werte beziehen sich jedoch immer auf den maximalen Wert, den eine Funkzelle realisieren kann. In der Praxis gibt es eine ganze Reihe von Faktoren, die diese Werte beeinflussen, so dass beim Nutzer am Ende deutlich geringere Datenraten erreicht werden. Vier Einflüsse, die maßgeblich die verfügbare Datenrate bestimmen:

1. Der wichtigste Aspekt ist, dass LTE ein „Shared Medium“ ist, die verfügbare Bandbreite müssen sich die Nutzer in einer Funkzelle teilen. Daraus resultiert, je mehr aktive Nutzer in einer Zelle, desto geringer die für den Einzelnen zur Verfügung stehende Bandbreite. Dabei ist natürlich die Art der Nutzung zu berücksichtigen, reines Webbrowsen oder Sprachübertragung verursacht eher geringere Last im Vergleich zu Daten Backups oder Filesharing.
2. Ein zweiter Punkt, der die Datenrate beeinflusst ist die Distanz des Empfängers zur Basisstation. Grundsätzlich gilt, je größer die Distanz, desto geringer die Datenrate. Die theoretisch höchsten Datenraten werden nur in direkter Nähe zur Basisstation erreicht.
3. Die dritte beeinflussende Komponente ist die Mobilität des Nutzers. Je schneller sich der Nutzer fortbewegt, beispielsweise mit dem Auto oder dem Zug, desto schlechter wird die Verbindung. Grundsätzlich ist LTE auch dafür konzipiert, bei hohen Geschwindigkeiten noch eine stabile Verbindung zu ermöglichen.
4. Auch die Abschirmung durch Wände oder Gebäude allgemein bestimmt die verfügbare Datenrate. Die Verbindung wird schwächer, je stärker der Nutzer durch Wände abgeschirmt ist. Optimal für hohe Datenraten ist folglich eine Sichtverbindung zur Basisstation.

Möglich wird die im Vergleich zu UMTS und HSPA gesteigerte Datenrate durch eine Verbesserung der spektralen Effizienz. Den Netzbetreibern steht nur eine begrenzte Kanalbandbreite zur Verfügung, wichtig ist es also, diese möglichst gut auszunutzen. Die spektrale Effizienz beschreibt, wie viele Daten in einem bestimmten Zeitraum und einer bestimmten Kanalbandbreite übertragen werden können. Als Maßeinheiten werden Bit, Sekunde und Herz angegeben, also beispielsweise 20bit/s/Hz.

LTE Systemarchitektur

Das große Ziel bei der LTE Entwicklung war es eine einheitliche Architektur zu implementieren, die eine Ende zu Ende Übertragung auf Basis des Internet Protocol (IP) ermöglicht. Die Integration von anderen IP basierten Technologien, wie mobile WiMAX oder WLAN ist Bestandteil dieser Entwicklung. Das LTE Kernnetz, das aus dieser Entwicklung hervorgeht, wird als „EPC“ (Evolved Packet Core) bezeichnet und wird genau wie LTE vom 3GPP standardisiert. Die Abkürzung EPS (Evolved Packet System) bezeichnet das Kernnetz und die Luftschnittstelle als Einheit. Leitungsvermittelnde Übertragung ist im EPS nicht mehr vorgesehen. Dennoch muss die Kompatibilität zu anderen Zugangstechniken, so auch leitungsgebundenen Technologien gewährleistet sein. Die vereinfachte Struktur dient dazu Kosten zu reduzieren und Pakete schneller vom Sender zum Empfänger zu schicken, also einer Reduzierung der Latenzzeiten. Der Evolved Packet Core ermöglicht auch die Anbindung von nicht durch das 3GPP standardisierten Systemen, wie WiFi oder WiMAX.

Der EPC besteht aus mehreren Komponenten, unter anderem zur Trennung von Nutzdaten und Signalisierungsinformationen. Die abgebildeten Schnittstellen sind alle IP basiert. Die Netzwerkelemente nutzen zur Datenübertragung unterschiedliche Protokolle. Auf der Transportschicht sind das im Wesentlichen SCTP und UDP.

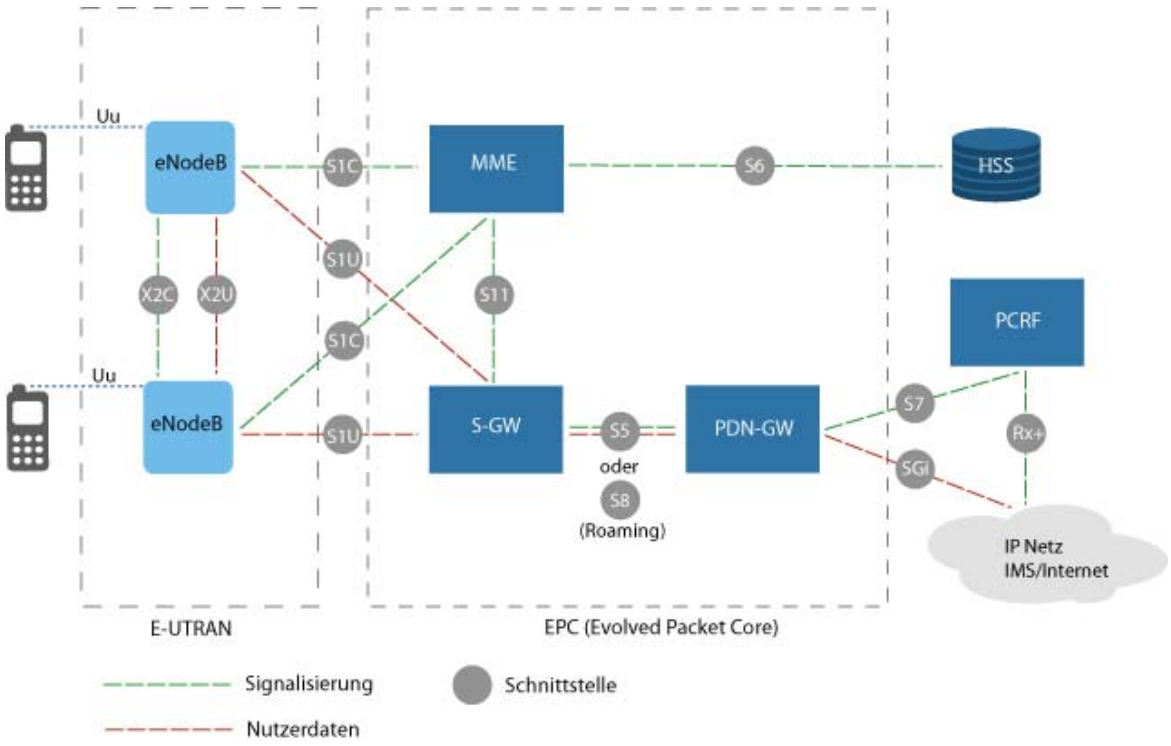

Abbildung 12: Darstellung des EPC (Evolved Packet Core)

Evolved Packet Core (EPC) Komponenten

Für die Signalisierung ist die MME (Mobility Management Entity) zuständig. Signalisierungsdaten und Nutzerdaten laufen im LTE Netz getrennt voneinander, bei UMTS war das noch anders. Die Signalisierungsaufgaben im LTE Netz laufen über die MME ab. Dazu gehört beispielsweise die Anmeldung des Mobilfunk Teilnehmers am Netz, aber auch die Authentifizierung und Lokalisierung. Das Endgerät meldet sich an der MME an, sobald es eingeschaltet wird, die MME verbindet sich daraufhin, mit dem HSS (Home Subscriber Server), der die Teilnehmerdatenbank beinhaltet und weist dem Endgerät einen Serving Gateway (S-GW) zu. Der HSS ist keine EPC spezifische Neuentwicklung, er ersetzt das in GSM und UMTS Netzen verwendete HLR (Home Location Register). Das Serving Gateway wird zusammen mit dem PDN Gateway auch als SAE Gateway bezeichnet, beide werden oft in einer Einheit zusammengefasst. Jedes Endgerät, das am Netz angemeldet ist, ist zurzeit nur mit einem S-GW verbunden. Der S-GW übernimmt das Routen der Nutzdaten zwischen der Basisstation und dem PDN-GW. Der PDN-GW stellt die Schnittstelle zum externen IP Netzwerk dar und hat die Aufgabe dem Nutzer eine IP Adresse zuzuweisen.

Das PCRF (Policy and Charging Rules Function) hat die Aufgabe, die Verrechnung und Regeln für den Datenverkehr festzulegen. Die Regelungen betreffen den PDN-GW, da der PCRF Datenflüsse zulassen oder ablehnen kann. Das PCRF hat die Aufgabe, verschiedene Datenströme zu identifizieren und entsprechende Verrechnungsrichtlinien, die der Netzbetreiber vorher festgelegt hat, anzuwenden. Verschiedene Dienste können so unterschiedlich abgerechnet werden.

EPC und 2G/3G Netz

Abbildung 13 zeigt die Anbindung eines 2G/3G Netzes an den EPC. Die abgebildeten Komponenten spielen eine Rolle, wenn beispielsweise das Endgerät einen mit LTE versorgten Bereich verlässt und sich in ein nur mit 2G/3G versorgtes Gebiet bewegt. Um diese Verbindung zu ermöglichen, werden zwei neue Schnittstellen benötigt, S4, die den S-GW mit dem SGSN verbindet und S3, um den SGSN an die MME anzubinden.

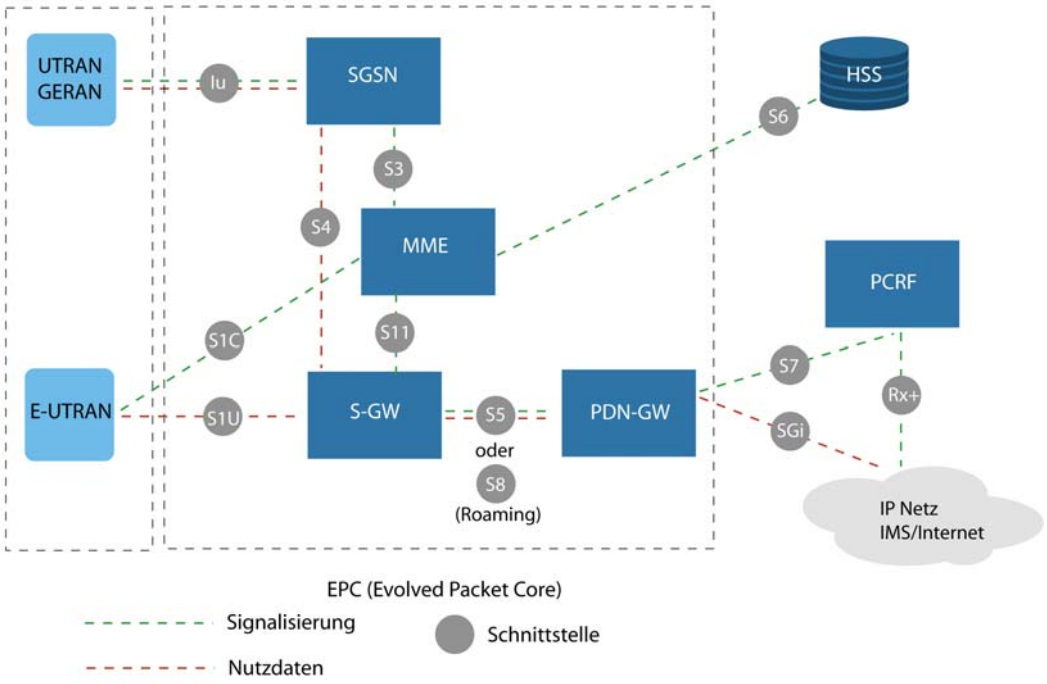

Abbildung 13: Anbindung zwischen EPC und 2G/3G Netz

Roaming

Abbildung 14 zeigt eine Roaming Situation, in der zwischen zwei Mobilfunknetzen Daten übertragen werden müssen. Ein Nutzer aus Netzwerk B meldet sich am Netz A an. Dies kann aus unterschiedlichen Gründen notwendig sein, beispielsweise bei einem Aufenthalt im Ausland oder bei einem nationalen Roaming Abkommen zwischen zwei Netzbetreibern.

Zur Authentifizierung des Nutzers muss die MME Zugriff auf die Daten des HSS aus dem fremden Netz haben, um den Nutzer zu authentifizieren. Zur Übertragung der Nutzdaten baut der S-GW aus dem fremden Netz eine Verbindung PDN-GW des Netzes auf, in dem der Nutzer registriert ist. Zwischen dem S-GW und dem PDN-GW ist netzintern die S5 Schnittstelle vorgesehen, hier im Roaming Fall wird die S8 Schnittstelle verwendet.

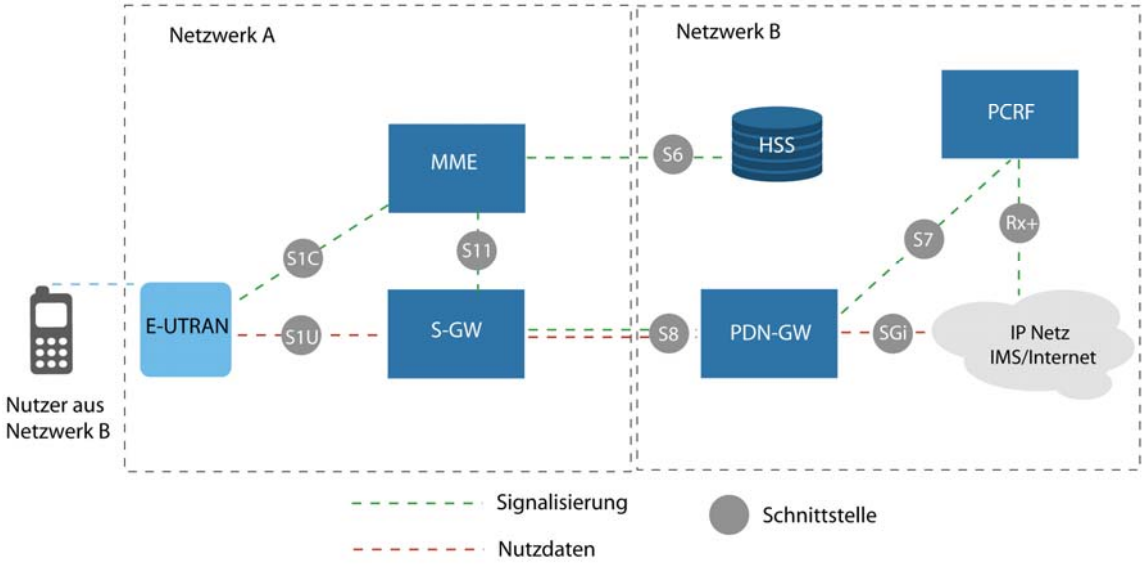

Abbildung 14: Roaming Situation

LTE Backhaul – Verbindung zwischen eNodeB und EPC

Zwischen der Basisstation (eNodeB) und dem Kernnetz (EPC) müssen die Daten transportiert werden, die die Nutzer von ihren (mobilen) Geräten senden bzw. empfangen das geschieht über das so genannte Backhaul. Ein Backhaul dient dazu unterschiedliche Netzknoten miteinander zu verbinden und einen Datenaustausch zu ermöglichen. Das Backhaul ist nicht zu verwechseln mit dem Backbone. Das Backhaul ist eine Zuleitung zum Backbone also dem Kernnetz eines Netzbetreibers, und steht in der Hierarchie weiter unten.

Der Begriff Backhaul gibt zunächst keine Auskunft darüber, welche Technologie verwendet wird. Ein Backhaul kann über die Luftschnittstelle als Richtfunkverbindung oder kabelgebunden realisiert werden. Bei den etablierten Mobilfunk Technologien werden hauptsächlich E1 Leitungen verwendet, die die GSM oder UMTS Basisstation mit dem RNC verbinden, aber auch Richtfunk kommt zum Einsatz. Eine E1 Leitung ist eine Primärmultiplex Verbindung, die eine Datenrate von ca. 2MBit/s ermöglicht. Eine E1 Leitung hat 32 Kanäle mit je 64 kbit/s, wovon 30 Nutzkanäle zur Daten- oder Sprachübertragung sind, ein Synchronisierungskanal und ein Signalisierungskanal.

Für GSM oder UMTS reicht der Datendurchsatz einer E1 Leitung aus, da die Luftschnittstelle nicht schneller ist, aber schon bei HSPA wird es eng und erst recht bei LTE. Die E1 Leitung ist nicht in der Lage die großen Datenmengen weiterzuleiten und

wird somit zum Flaschenhals im Netzwerk. Auch das Aufrüsten mit mehreren E1 Leitungen stößt schnell an Grenzen und ist unwirtschaftlich.
Nachdem die Netzbetreiber jahrelang mit den auf Kupfer basierenden E1 Anbindungen gut gefahren sind müssen sie mit dem Aufkommen größerer Datenmengen umdenken und neue, breitbandige Technologien einsetzen.
Dazu eignet sich insbesondere Ethernet auf Lichtwellenleiter (LWL) Basis. Über Ethernet können größere Bandbreiten deutlich kostengünstiger realisiert werden als über E1.

Bei der Migration von E1 zu Ethernet bieten sich zwei Optionen an. Die erste Option ist der parallele Betrieb von E1 und Ethernet. Hier haben die Netzbetreiber die Möglichkeit, die Sprachübertragung weiterhin über die E1 zu leiten und können das Datenaufkommen über das breitbandige Ethernet transportieren. Die zweite Option ist eine komplette Migration zu einer auf Ethernet basierten Lösung. Diese Lösung ist anspruchsvoller, da die auf ATM/TDM basierenden E1 Leitungen und die entsprechenden Dienste nun über IP/Ethernet transportiert werden. ATM Leitungen unterstützen zudem von sich aus eine Ende zu Ende Takt-Synchronisierung. Die Synchronisierung der Taktfrequenz ist wichtig beim Roaming, also dem Wechsel der Mobilfunkzelle. Ist die Taktfrequenz nicht synchron kann dies zu Verbindungsabbrüchen oder erheblich reduzierter Dienstgüte führen. Daher wurden verschiedene Technologien entwickelt, um dennoch eine Synchronisierung zu realisieren, ein Beispiel dafür ist „Synchronous Ethernet“ (SyncE). Auch die ITU hat dafür Empfehlungen formuliert.[9]

Damit sind grob die technischen Herausforderungen beschrieben. Die Herausforderungen bei der Migration von Backhaul Netzen der Netzbetreiber sind jedoch auch finanzieller Natur. Im Gegensatz zum städtischen Bereich sind die Backhaul Strecken im ländlichen Raum deutlich länger, damit verbunden sind höhere Kosten bei der Migration. Kostenintensiv sind insbesondere Grabungsarbeiten um neue Kabel zu verlegen.

[9] ITU-T Rec. G.8261, Timing and Synchronization Aspects in Packet Networks, Feb. 2008

ITU-T Rec. G.8262, Timing Characteristics of Synchronous Ethernet Equipment Slave Clock (EEC), Aug. 2007

ITU-T Rec. G.8264, Distribution of Timing Through Packet Networks, Feb. 2008

Sprachübertragung im LTE Netz

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln besprochen, wird mit LTE die Strategie verfolgt, ein vollständig auf IP basierendes Netz aufzubauen. Problematisch werden Dienste, die in den aktuellen GSM und UMTS Netzen nicht IP basiert funktionieren. Dazu gehört die Sprachübertragung, der zentralen Funktionalität in einem Mobilfunknetz. Sprache wird in GSM und UMTS Netzen leitungsgebunden übertragen. Mit der Einführung von LTE, ist die leitungsgebundene Sprachübertragung in der bekannten Form nicht mehr möglich, es muss umgedacht werden, was alles andere als trivial ist.

Das Fehlen der leitungsgebundenen Sprachübermittlung ist ein sehr reales Problem für die Netzbetreiber. Sprachübertragung und SMS sind die wichtigsten Dienste der Netzbetreiber aus monetärer Sicht. Daraus resultiert, dass solange dieses Problem nicht gelöst ist, viele Provider nur zögerlich auf LTE umsteigen werden. Die weltweit ersten kommerziellen LTE Netze in Oslo und Stockholm sind beide zunächst ohne Unterstützung für Sprachübertragung in Betrieb genommen worden. Derzeit gibt es mehrere technische Optionen für die Bereitstellung von Spracheübertragung in LTE Netzen, drei der am häufigsten diskutierten werden im Folgenden vorgestellt.

IMS – IP Multimedia Subsystem

Einer dieser Ansätze ist, Sprachübertragung über das IMS (IP Multimedia Subsystem) zu ermöglichen. IMS wurde beim 3GPP im Rahmen der UMTS Standardisierung entwickelt, um einen standardisierten Zugriff auf Dienste aus unterschiedlichen Netzen zu ermöglichen. Die Grundlagen des IMS werden in der 3GPP Spezifikation TS 23.228[10] beschrieben. SIP, das von VoIP bekannte Protokoll, ist das Basisprotokoll von IMS und dient dazu über ein IP-Netz Verbindungen zwischen den Teilnehmern aufzubauen.

Viele Betreiber und Experten sind der Ansicht, dass IMS langfristig die richtige Plattform für die Bereitstellung von Diensten, wie SMS und Sprache ist. Der Ansatz über IMS stellt die vermutlich zukunftssicherste, jedoch zugleich auch die technisch aufwändigste Lösung dar. IMS wäre jedoch auch in Hinblick auf die Entwicklung hin, zu einem vollständig IP basiertem Netz und somit auch Voice over IP, die richtige Lösung und entspricht auch den 3GPP Spezifikationen. Eine "Fast Track VoLTE" genannte Lösung,

[10] http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23228.htm

die von Nokia Siemens Networks entwickelt wird, basiert auf dem IP Multimedia Subsystem.
Aufgrund der Komplexität sind jedoch auch Übergangslösungen, als eine Art Brückentechnologie hin zu einer echten VoIP Technik, erarbeitet worden.

CS Fallback

Die zweite Option ist eine dieser Zwischenlösungen und nennt sich Circuit Swiched (CS) Fallback, der vom 3GPP unter TS 23.272[11] spezifiziert wurde[12]. CS Fallback kann mit „Rückzug auf leitungsgebundene Übertragung“ umschrieben werden. Das Endgerät verwendet für die Sprachübertragung nicht die LTE Verbindung sondern nutz eine GSM oder UMTS Verbindung. Meldet sich das Endgerät im LTE Netz an, wird parallel auch eine Anmeldung im 2G/UMTS Netz durchgeführt. Bei einem eingehenden Anruf bekommt das Endgerät von der MME einen eingehenden Anruf aus einem 2G oder UMTS Netz signalisiert, woraufhin Gerät eine leitungsgebundene Verbindung aufbauen kann. Ein Nachteil dieser Option sind die langen Wartezeiten für den Verbindungsaufbau, die der Nutzer in Kauf nehmen muss. In dieser Hinsicht ist CS Fallback die wohl uneleganteste und nutzerunfreundlichste Option. Ein weiteres Problem wird vermutlich sein, dass bestehende Datenverbindungen, die über das LTE Netz aufgebaut sind bei einer 2G oder UMTS Verbindung nicht aufrecht erhalten werden können.

VoLGA

Die dritte Option nennt sich VoLGA. Die etwas sonderbare Abkürzung steht für Voice over LTE via GAN. VoLGA ist eine weitere Übergangsoption hin zu echtem VoIP.
Ein großer Vorteil von VoLGA ist, dass am EPC, also am Kernnetz keine Änderungen nötig sind, wodurch sich die VoLGA Technik leicht implementieren lässt. VoLGA basiert auf dem 3GPP GAN (Generic Access Network), das entwickelt wurde, um leitungsgebundene Dienste, darunter auch SMS, über ein IP Netz anbieten zu können. GAN ermöglicht es, sich mit dual mode Handys am GSM Netz über eine WIFI Verbindung zu registrieren und die Dienste zu nutzen. Diese Entwicklung ist auch als UMA bekannt. VoLGA hat die Funktionalität so umgestaltet, dass anstelle der WIFI Verbindung LTE genutzt wird. Es handelt sich somit nicht um eine vollständige Neuentwicklung, sondern VoLGA nutzt bestehende Technologie und entwickelt sie weiter. Hinter der Entwicklung stehen eine Reihe von Firmen, darunter auch T-Mobile, die sich im VoLGA Forum zusammengeschlossen haben.

[11] http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23272.htm
[12] 3GPP TS 23.272 - http://www.3gpp.org/FTP/Specs/html-info/23272.htm

VoLGA hat gegenüber dem CS Fallback eine ganze Reihe von Vorteilen. Für das Endgerät ist die Sprachverbindung nur eine weitere IP Verbindung, die neben anderen hergestellt werden kann. Es muss weder auf ein 2G/UMTS Netz gewechselt werden, noch müssen Verbindungen abgebrochen werden. Ein weiterer Vorteil ist der Fallback auf UMTS und 2G Netze. Verlässt der Teilnehmer den durch LTE abgedeckten Bereich, ist ein Wechsel auf ein vorhandenes 2G/UMTS Netz möglich.

Zentrales Element für die VoLGA Technik ist der VANC (VoLGA Access Network Controller), er ist die einzige Hardware, die dem Mobilfunknetz hinzugefügt werden muss, um VoLGA zu implementieren. Es handelt sich dabei um einen modifizierten GAN Controller (GANC). Aus der Perspektive eines GSM MSC (Mobile Switching Centre) verhält sich der VANC wie ein GSM Base Station Controller (BSC), für ein UMTS MSC ist der VAN Controller ein UMTS Radio Network Controller (RNC). Aus Sicht des LTE Kernnetzes ist der VANC über den PDN Gateway angebunden und verhält sich wie ein externer IP Netzknoten.

Abbildung 15 zeigt die Anbindung des VANC an den PDN Gateway über die SGi Schnittstelle, die Anbindung an den HSS erfolgt über die D' Schnittstelle und zur Realisierung eines Handovers ist der VANC über die Sv Schnittstelle an die MME angebunden.

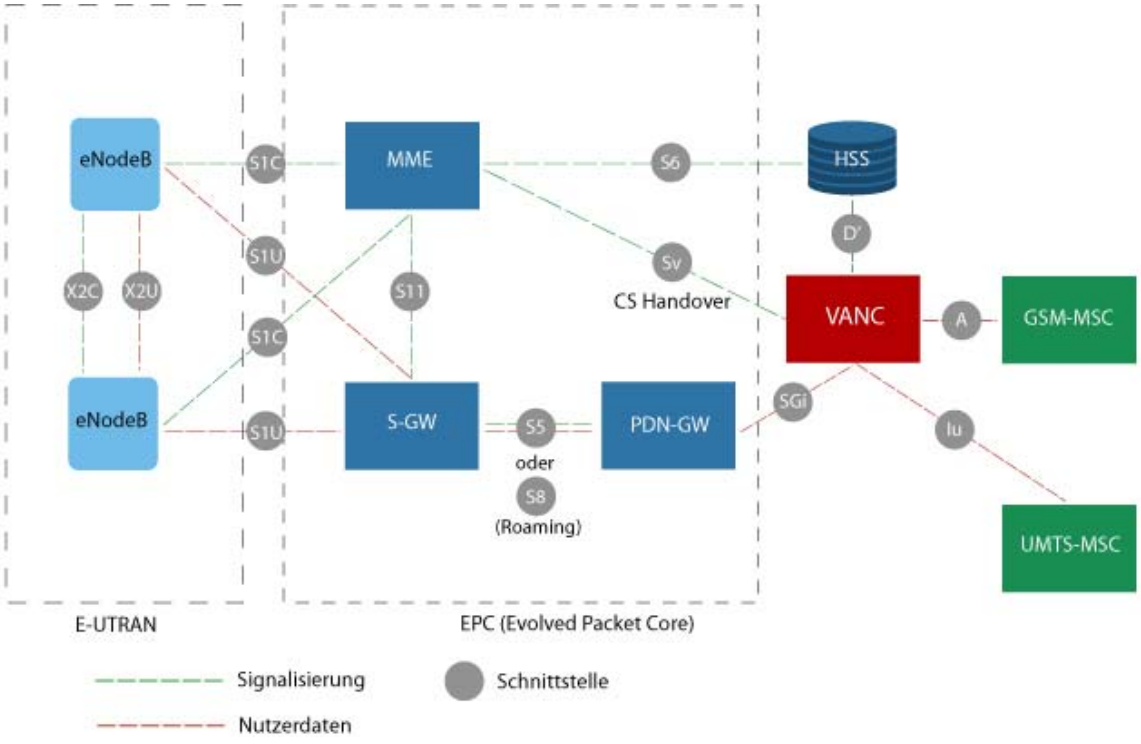

Abbildung 15: Die VANC Anbindung am EPC

Dienstgüte – QoS

Das zuvor beschriebene Kernnetz ist ein besonders wichtiger Bereich, wenn es darum geht, Regeln für die Dienstgüte festzulegen. QoS (Quality of Service) beschreibt die Möglichkeit eine Qualitätsstufe für den Datentransfer in einem Netzwerk festzulegen. Dazu gehören neben dem Datendurchsatz auch Parameter wie Verzögerungszeiten und Ausfallsicherheit. Verschiedene Arten von Datentransport haben unterschiedliche Anforderungen an die Übertragungsqualität. Eine Priorisierung ist daher wichtig, während beispielsweise Datenverkehr für das Netzwerk Management immanent und zeitkritisch ist, sind es Daten die durch Websurfen verursacht werden nicht. Durch gut eingestellte QoS Parameter kann der Datenverkehr in einem Netzwerk wesentlich effizienter ablaufen. Dies wiederum führt zu größeren Netzkapazitäten, verzögerungsfreier Übertragung bei zeitkritischen Anwendungen und hat positive Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit. Die unterschiedlichen Dienste, die ein Breitband Zugang bietet haben verschiedene Anforderungen an QoS. Die folgende Tabelle zeigt, welche Dienste in Bezug auf Latenzzeiten, Jitter (Varianz der Latenzzeiten) oder Bandbreite als kritisch bzw. weniger kritisch einzustufen sind:

Anwendung	**Verzögerung**	**Jitter**	**Packetverlust**	**Garantierte Bandbreite**
Websurfen	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	unkritisch
VoD	Wichtig	Wichtig	Kritisch	Kritisch
IPTV	Kritisch	Kritisch	Kritisch	Kritisch
VoIP	Sehr kritisch	Sehr kritisch	Sehr kritisch	Kritisch
Videokonferenz	Sehr kritisch	Sehr kritisch	Sehr kritisch	Sehr kritisch
Gaming	Sehr kritisch	Sehr kritisch	Sehr kritisch	Sehr kritisch

Tabelle 7: Bedeutung von QoS für verschiedene Dienste

Besonders kritische Dienste sind diejenigen, die gleichzeitig hohe Anforderungen an garantierter Bandbreite und Latenzzeit haben. Insbesondere Videokonferenzen benötigen eine garantierte hohe Datenrate und verhalten sich empfindlich, in Bezug auf die Verzögerungszeiten. Bei Video on Demand sind beide Faktoren deutlich weniger kritisch zu bewerten, hier ist ein Puffer aktiv, der Verzögerungen in einem bestimmten Rahmen abfangen kann. QoS steht im direkten Zusammenhang mit Quality of

Experience (QoE). QoE beschreibt die erfahrene Qualität eines Dienstes, also die Subjektive Zufriedenheit, die der Nutzer mit dem Dienst in Zusammenhang bringt. Eine hohe Dienstgüte bringt in der Regel auch eine tendenziell höhere Kundenzufriedenheit mit sich.

QoS im LTE Netz

QoS ist in bisherigen Mobilfunknetzen nur sehr rudimentär implementiert. Für LTE ist eine QoS Konzept spezifiziert im 3GPP TS 23.401. Um die Funktionsweise von QoS im LTE Netz nachvollziehen zu können, bedarf es einer Erläuterung des Bearer Konzepts, das es bereits bei UMTS gibt.

QoS basiert auf sogenannten Bearern. Ein Bearer ist ein Nutzdatenstrom, der im UMTS Netz PDP-Context hieß. Unterschieden wird zwischen EPS Default Bearer und dem Dedicated Bearer. Ein EPS Default Bearer wird immer hergestellt, wenn sich das Endgerät mit dem PDN-G verbindet und wird während der gesamten Verbindungsdauer aufrecht erhalten (always on connectivity). Dieser Bearer, der als erstes aufgebaut wird ist der Standard oder Default Bearer. Der EPS Standard Bearer ist immer ein NON GBR Bearer. GBR ist die Abkürzung für „Guarantied Bit Rate“, also garantierte Bitrate. Das bedeutet, dass Dienste die über diesen Bearer laufen, keine garantierte Datenrate zugewiesen werden kann. Um einen Dienst, der eine garantierte Bandbreite benötigt, zu nutzen, wird ein GBR-Bearer aufgebaut. Die Entscheidung einen neuen Bearer aufzubauen wird immer vom EPC getroffen, nicht vom Endgerät. Der Vorgang zum Aufbau eines Dedicated Bearer wird als "Dedicated EPS Bearer Activation" bezeichnet.

Ein Bearer bzw. Nutzdatenstrom ist nicht zwingend nur mit einem Dienst verbunden, so kann ein Dedicated Bearer z.B. gleichzeitig Daten unterschiedlicher Dienste (z.B. Email und http) beinhalten. Dazu wird anstelle eines neuen Bearers ein Update durch das Endgerät beim PDN angefragt. Alle Dienste, die dann über diesen Bearer laufen, haben die gleichen QoS Parameter.

Das QoS Profil eines EPS Bearer beinhaltet die folgenden Parameter: QCI, ARP, GBR und MBR. Allen EPS Bearern, auch den Non GBR Bearern werden die Parameter QCI (QoS Class Identifier) und ARP (Allocation and Retention Priority) zugeordnet. Allen GBR Bearer sind zusätzlich GBR (Guarantied Bit Rate) und MBR (Maximum Bit Rate) Parameter zugeordnet.

LTE-Advanced

In diesem Kapitel soll einen Ausblick in die Zukunft gewagt und erste Ansätze des LTE Nachfolgers LTE-Advanced vorgestellt werden. LTE-Advanced befindet sich zurzeit in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Die Technologie wird im 3GPP Release 10 standardisiert, das sich derzeit noch im Bearbeitungszustand befindet. LTE-Advanced wird technisch so umgesetzt, dass es die IMT-Advanced Anforderungen der ITU (International Telecommunication Union) erfüllt. Aufgrund der technischen Spezifikationen ist LTE-Advanced die erste Technologie, die als 4G bezeichnet werden kann. Die technischen Anforderungen, die an IMT-Advanced gestellt werden, lassen sich bei der ITU nachlesen[13].

LTE-Advanced wird unter der Maßgabe der Kompatibilität zum LTE Release 8 entwickelt. LTE Basisstationen können in einem LTE-Advanced Netzwerk und umgekehrt betrieben werden, Rückwärtskompatibilität ist gegeben.

Die durch IMT-Advanced definierten Anforderungen sind relativ vielschichtig und beinhalten im Vergleich zu LTE komplexere Antennentechnologie sowie größere Up- und Downloadraten. Bei der Antennentechnik beinhalten die Spezifikationen eine 8X8 MIMO Konstellation im Downlink und 2X4 MIMO im Uplink. Auch MU-MIMO (Multi User MIMO) wird erstmalig im Release 10 zur Erhöhung der Spektraleffizienz spezifiziert.

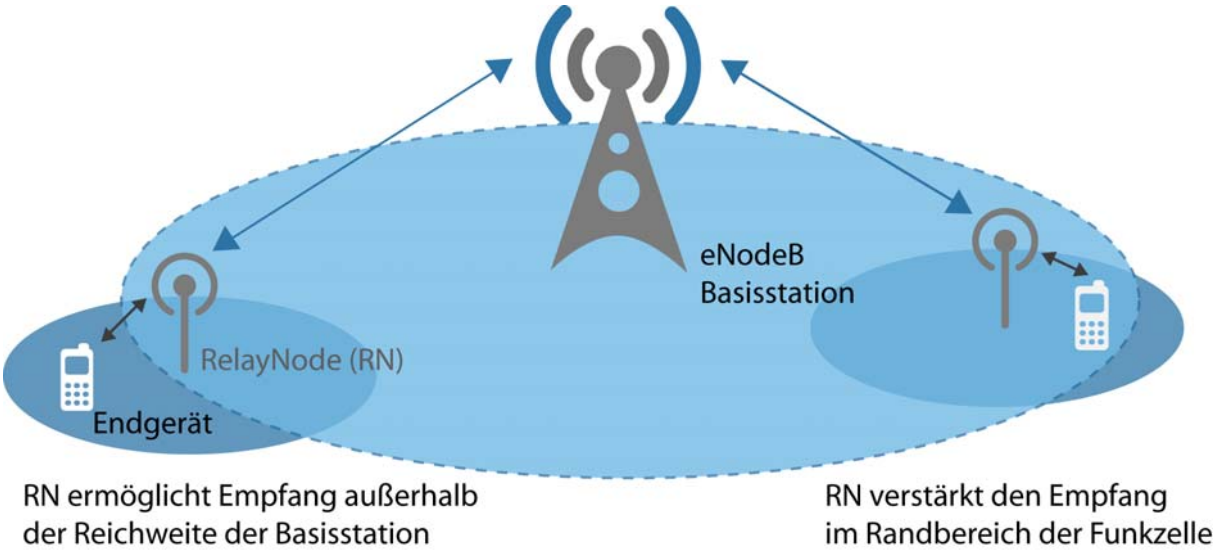

Abbildung 16: Signalverstärkung im Randbereich der Zelle durch Relay Nodes

[13] http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf.

Eine weitere wichtige Neuerung im Release 10 sind so genannte Relay Stationen, im englischen werden sie als "Relay Nodes" (RNs) bezeichnet. Sie sind dazu konzipiert, die Abdeckung einer Zelle zu verbessern und auch in den Randgebieten der Funkzelle eine gute und schnelle Verbindung zu ermöglichen. Die RNs müssen dazu nicht direkt an ein Backhaul angeschlossen werden, sie nutzen die Verbindung der Basisstation. Endgeräte erkennen RNs auch als Basisstationen. Die Kommunikation zwischen RN und Basisstation kann beispielsweise über optische Freiraumübertragung realisiert werden. Durch räumliche Nähe zwischen RN und Endgerät wird auch die Signalstärke in Gebäuden verbessert.

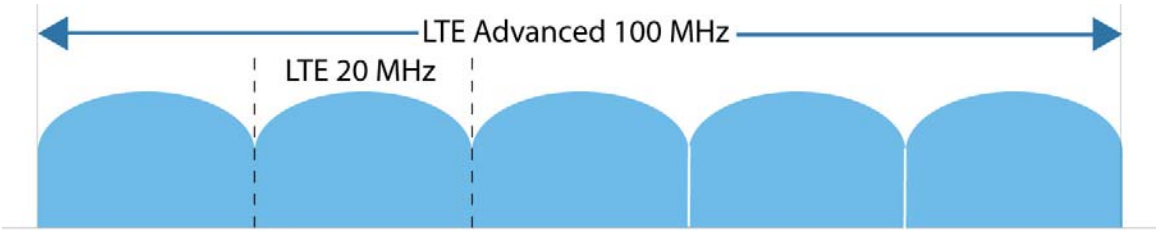

Abbildung 17: Max. Kanalbandbreiten von LTE und LTE Advanced

4G-Technologien müssen verschiedene Kanalbandbreiten von bis zu 100 MHz unterstützen, darunter auch 40 MHz. Für die FDD LTE-Advanced Version sind auch asymmetrische Frequenzzuweisungen eingeplant. Das bedeutet, dass für den Downlink eine vom Uplink abweichende Kanalbandbreite verwendet werden kann. Für das LTE Release 8 muss das gepaarte Spektrum hingegen symmetrisch sein. Durch die skalierbaren Bandbreiten kann LTE-Advanced, wie LTE, mit unterschiedlichen Kanalbandbreiten betrieben werden. Dem entsprechend werden unterschiedliche Datenraten, je nach Bandbreite erreicht. Die Spezifikationen sehen bei 100MHz Bandbreite Datenraten bis zu 1 Gbit/s vor. Die ITU hat folgende Spitzenwerte für die Spektraleffizienz von IMT-Advanced definiert:

- Spektraleffizienz für den Downlink: 15 bit/s/Hz
- Spektraleffizienz für den Uplink: 6.75 bit/s/Hz

Für LTE-Advanced sind noch höhere Werte eingeplant, für den Downlink wird der Spitzenwert von 30 bit/s/Hz und für den Uplink 15 bit/s/Hz anvisiert. Zum Vergleich, beim

LTE Release 8 liegen die Werte bei 15 bit/s/Hz für den Downlink und 3,75 bit/s/Hz für den Uplink.

Für LTE Advanced kürzlich auch Endgeräte Kategorien festgelegt, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind:

UE category	Data rate (DL / UL) (Mbps)	DL				UL		
		Max. num. of DL-SCH TBbits per TTI	Max. num. of DL-SCH bits per TB per TTI	Total num. of soft channel bits	Max. num. of spatial layers	Max. num. of UL-SCH TB bits per TTI	Max. num. of UL-SCH bits per TB per TTI	Support for 64QAM
Category 1	10 Mbps / 5 Mbps	10296	10296	250368	1	5160	5160	No
Category 2	50 Mbps / 25 Mbps	51024	51024	1237248	2	25456	25456	No
Category 3	100 Mbps / 50 Mbps	102048	75376	1237248	2	51024	51024	No
Category 4	150 Mbps / 50 Mbps	150752	75376	1827072	2	51024	51024	No
Category 5	300 Mbps / 75 Mbps	299552	149776	3667200	4	75376	75376	Yes
Category 6	300 Mbps / 50 Mbps	[299552]	[149776]	[3667200]	N.A	[51024]	[51024]	No
Category 7	300 Mbps / 150 (100) Mbps	[299552]	[149776]	[TBD]	N.A	[150752 (102048)]	[75376 (51024)]	Yes (No)
Category 8	[1200] Mbps / [600] Mbps	[1200000]	[300000]	[TBD]	N.A	[600000]	[149776]	Yes

Tabelle 8: LTE Advanced Endgeräte Kategorien (Quelle 3GPP)[14]

Zur Entwicklung echter 4G Technologie trägt auch das deutsche Easy-C[15] Projekt bei, an dem unter anderem Vodafone beteiligt ist und das vom Bildung und Forschungsministerium gefördert wird. 4G Testnetze des Easy-C Projekts befinden sich in Dresden und Berlin.

Meilensteine der LTE Entwicklung

Die Einführung einer neuen Mobilfunktechnologie ist mit vielen Entwicklungsschritten verbunden. Der kommerziellen Einführung gehen viele Jahre Standardisierung sowie Forschungs- und Entwicklungsarbeit voraus. Meilensteine definieren wichtige Entwicklungssprünge. Dieses Kapitel hält ein paar wichtige Momente der LTE Entwicklung chronologisch fest.

[14] Vgl.: Draft Report of 3GPP TSG RAN WG1 #62 v0.1.0
[15] Weitere Informationen unter: http://www.easy-c.de/

Dez. 2006

Die erste Vorstellung einer LTE Anwendung mit HDTV-Streaming (>30 Mbit/s), Video-Überwachung und mobile IP-basierte Übergabe zwischen den LTE Funkstationen wurde während der ITU-Messe in Hong Kong im Dezember 2006 von Siemens Communication Department vorgestellt.

Sept. 2007

NTT DoCoMo zeigt LTE Datenraten von 200 Mbit/s mit Stromverbrauch von weniger als 100 mW während der Prüfung.

Feb. 2008

Im Februar 2008 beim Mobile World Congress demonstriert Freescale Semiconductor HD-Video-Streaming mit Peak-Datenraten von 96 Mbit/s Downlink und 86 Mbit/s Uplink.

März 2008

Im März 2008 hat NTT DoCoMo mit LTE Datenraten von 250 MBit/s in einem Outdoor-Test erreicht. Im April 2008 haben LG und Nortel LTE Datenraten von 50 MBit/s während der Fahrt in einem Auto mit ca. 110 km/h übertragen.

Sept. 2008

Am 18. September 2008 haben der Mobilfunkbetreiber T-Mobile und Nortel Networks Datenraten von bis zu 170 MBit/s im Download und bis zu 50 MBit/s im Upload erreicht. Dabei wurden Daten in und aus einem Fahrzeug heraus übertragen, das sich zwischen der linksrheinischen Zentrale der Deutschen Telekom und der rechtsrheinischen Zentrale von T-Mobile in Bonn mit durchschnittlich 70 km/h bewegte.

Okt. 2008

Bei einem Test in Stockholm wurde das erste kommerzielle LTE Modem getestet. Damit ist ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung kommerzielle LTE Nutzung getan.

Dez. 2008

Das 3GPP Release 8 wird fertig gestellt. Es ist nun eine fertige technische Spezifikation vorhanden, auf Basis derer Endgeräte und Netzwerkkomponenten entwickelt werden können.

März.2009

Videokonferenzen in hoch aufgelösten Bildern, Entertain von T-Home in Top-Qualität, schnelle Online-Spiele - und das alles in und aus einem fahrenden Van: T-Mobile zeigt auf der CeBIT 2009 im Showcase das Leistungsvermögen der LTE-Technik.

14. Dez. 2009

Das weltweit erste kommerzielle LTE Netz ist in Betrieb gegangen. In Oslo und Stockholm wurden zeitgleich zwei Netze live geschaltet, die die Innenstädte der beiden Metropolen versorgen. Der Netzbetreiber Telia Sonera arbeitet mit den beiden Netzwerkausrüstern Ericsson und Huawei zusammen. Der Zugang erfolgt über einen LTE Internet Stick von Samsung.

24.03.2010

LTE Rekord: 1,2 GBit/s im Downlink: Der chinesische Netzausrüster Huawei hat auf der CTIA Wireless einen Geschwindigkeitsrekord mit der LTE Technologie aufgestellt. Im Downlink wurden 1,2 Gigabit/s erreicht.

20.05.2010

Frequenzauktion beendet: Nach über 4 Wochen Dauer ging die Auktion der LTE Frequenzen heute in der 224. Runde zu Ende. Knapp 4,4 Milliarden Euro kamen bei der Auktion zusammen, deutlich weniger, als von Experten erwartet. Im Frequenzbereich der Digitalen Dividende konnten sich Vodafone, T-mobile und O² je 10 MHz gepaart sichern.

31.5.2010

LTE Demonstration bei 430 km/h: Vertreter vom Netzwerkausrüster Huawei haben ihre LTE Technik in einer Magnetschwebebahn demonstriert. Der Zug, der zwischen Shanghai (Pudong) und dem Pudong International Airport pendelt, erreicht auf einer Strecke von 30 km Höchstgeschwindigkeiten bis zu 430 km/h.

29.07.2010

O2 baut erste (Pilot) LTE-Netze in München und Halle: O² startet in 2010 mit zwei städtischen LTE Netzen in München und Halle, auf Basis der 2,6 GHz-Frequenz. Zusätzlich nutzt das Unternehmen in den Vororten Ebersberg östlich von München sowie in Teutschenthal westlich von Halle Frequenzen der sogenannten Digitalen Dividende für zwei weitere LTE-Piloten.

30.08.2010

Telekom startet LTE in Kyritz/Brandenburg: In Kyritz die erste kommerziell nutzbare LTE Basisstation Deutschlands in Betrieb. Die Bewohner müssen sich allerdings noch etwas in Geduld üben, bis es die ersten Endgeräte gibt, dass wird voraussichtlich Ende 2010 sein.

02.09.2010

Erste LTE Tarife von Vodafone veröffentlicht: Auf der IFA hat Vodafone im Rahmen einer Pressekonferenz die ersten LTE Tarife vorgestellt. Die Tarife sind nach Zugangsgeschwindigkeit und Inklusivvolumen gestaffelt. Bei der Überschreitung des Inklusivvolumens wird es nicht teurer sondern die Geschwindigkeit wird auf DSL Light gedrosselt.

23.09.2010

Erster LTE Standort von Vodafone in Heiligendamm: Vodafone hat seinen ersten LTE Standort offiziell in Betrieb genommen. Der Seebadeort Heiligendamm an der Ostsee macht den Anfang von insgesamt über 1000 Gemeinden, die Vodafone noch in 2010 mit LTE versorgen will.

Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung des Datenvolumens unterschiedlicher Anwendungen 3
Abbildung 2: Aufteilung der 5MHz Frequenzblöcke im 800 MHz Spektrum 5
Abbildung 3: Zuweisung der Frequenzen im Bereich der Digitalen Dividende 6
Abbildung 4: Frequenzblöcke im Bereich zwischen 2500 und 2690 MHz 7
Abbildung 5: Frequenzzuweisung im Bereich 2600 MHz 8
Abbildung 6: Vergleich UTRAN (UMTS) und EUTRAN (LTE) 14
Abbildung 7: 16 QAM Konstellation 15
Abbildung 8: 64 QAM in der Nähe der eNodeB 15
Abbildung 9: SISO (oben) und MIMO Vergleich 16
Abbildung 10: OFDMA und OFDM Vergleich: Zeit - Frequenz Nutzung 18
Abbildung 11: Gegenüberstellung der Datenübertragung mit FDD und TDD 20
Abbildung 12: Darstellung des EPC (Evolved Packet Core) 23
Abbildung 13: Anbindung zwischen EPC und 2G/3G Netz 25
Abbildung 14: Roaming Situation 26
Abbildung 15: Die VANC Anbindung am EPC 30
Abbildung 16: Signalverstärkung im Randbereich der Zelle durch Relay Nodes 33
Abbildung 17: Max. Kanalbandbreiten von LTE und LTE Advanced 34

Tabellen

Tabelle 1: Frequenzbereiche der Netzbetreiber im 800 MHz Bereich 6
Tabelle 2: Ersteigerte Frequenzbereiche (2600MHz) 8
Tabelle 3: In 2010 neu erworbene Frequenzen im Bereich 1800 MHz 9
Tabelle 4: Anforderungen an unterschiedliche Mobilfunk Generationen 12
Tabelle 5: LTE Endgeräte Kategorien (Quelle: 3GPP) 17
Tabelle 6: Übersicht der Datenraten mit verschiedenen Technologien 21
Tabelle 7: Bedeutung von QoS für verschiedene Dienste 31
Tabelle 8: LTE Advanced Endgeräte Kategorien (Quelle 3GPP) 35

Abkürzungen

ANR	Automatic Neighbour Relation
ATM	Asynchronous Transfer Mode
3GPP	Third Generation Partnership Project
CS	Circuit Swiched
DwPTS	Downlink Pilot Timeslot
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
GAN	Generic Access Network
GANC	GAN Controller
GP	Guard Period
HSPA	High Speed Packet Access (HSDPA with HSUPA)
HSPA+	HSPA Evolution
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
Hz	Hertz
ICT	Information and Communication Technologies
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
IR	Incremental Redundancy
ISI	Intersymbol Interference
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
kbps	Kilobits Per Second
kHz	Kilohertz
km	Kilometer
LSTI	LTE/SAE Trial Initiative
LTE	Long Term Evolution
LWL	Lichtwellenleiter
Mbps	Megabits Per Second
MHz	Megahertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Management Entity

MU-MIMO	Multi-User MIMO
NGA	Next Generation Access
NGN	Next Generation Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PAR	Peak to Average Ratio
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PHY	Physical Layer
PDN	Packet Data Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAB	Radio Access Bearer
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SAE	System Architecture Evolution
SDMA	Space Division Multiple Access
S-GW	Serving Gateway
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SON	Self Organising / Optimising Network
SU-MIMO	Single User MIMO
SyncE	Synchronous Ethernet
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
TD-CDMA	Time Division Code Division Multiple Access
TTI	Transmission Time Interval
UMA	Unlicensed Mobile Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VDSL	Very High Speed DSL
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLGA	Voice over LTE Generic Access

VPN	Virtual Private Network
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband CDMA
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network