

SCHWERPUNKT LTE

Markus Riederer, Gregor Dürrenberger

LTE: FUNKTECHNIK, MESSTECHNIK, REGULATION

Bericht von einem Workshop der Schweizer Forschungsstiftung Mobilkommunikation

Am 17. Dezember 2010 fand an der ETH in Zürich der von der schweizerischen Forschungsstiftung Mobilkommunikation (FSM) organisierte halbtägige Workshop über die nächste Mobilfunkgeneration LTE (Long Term Evolution) statt. Der Workshop richtete sich an Personen aus der Informations- und Kommunikationsbranche, Behörden und der Wissenschaft. Bereits einen Tag nach der Terminankündigung war der Workshop ausgebucht. Die Mehrheit der knapp 40 Teilnehmenden waren Vertreter aus kantonalen oder kommunalen Behörden.

Programmübersicht

Markus Riederer vom Schweizer Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) präsentierte im ersten Teil des Workshops einen kurzen Überblick über die vier Mobilfunkgenerationen („1G“ bis „4G“) von den analogen Netzen bis hin zu LTE. Anschließend informierte Christian Grasser von der Swisscom über den aktuellen LTE-Pilotversuch in der Schweiz. Der zweite Teil der Veranstaltung widmete sich der Technik: Hansjürg Schlupe vom Telekomdienstleister ENKOM erklärte das LTE-Modulationsverfahren. Beat Mühlemann vom Bundesamt für Metrologie (METAS) und Peter Fritschi von der Swisscom fokussierten anschliessend auf die Messtechnik und präsentierten erste Messresultate des Swisscom-Pilotprojekts. Der abschließende dritte Teil des Workshops war der Regulation gewidmet. Jürg Baumann vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) informierte über den Stand der Diskussion zum Strahlenschutz, Markus Riederer vom BAKOM über Fragen zur Lizenzvergabe. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der einzelnen Beiträge kurz zusammengefasst.

4G?

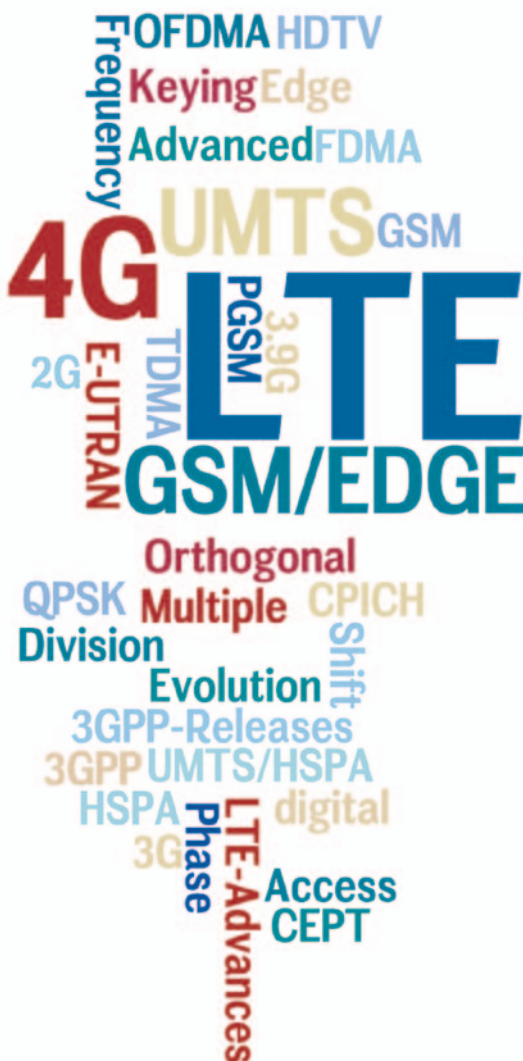
Markus Riederer ging auf oft missverständliche Aussagen zu 4G ein:

Was ist 4G?

LTE ist die vereinfachte Bezeichnung für E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network). Zusammen mit dem neuen Kernnetz SAE (System Architecture Evolution) bildet LTE eine Weiterentwicklung des 3G-Systems UMTS. LTE kann also als Teil eines 3.9G-Netzes bezeichnet werden. 4G wird momentan innerhalb der ITU (International Telecommunication Union) standardisiert. 4G-Systeme werden in Europa voraussichtlich mit LTE Advanced umgesetzt.

Wie kommt man zu 4G-Systemen und wo steht man jetzt?

Von den letzten analogen Netzen (Natel-C) ist man über GSM bei UMTS und dessen Weiterentwicklungen wie HSPA+ gelangt. LTE wurde kommerziell erstmals im Dezember 2009 in Stockholm eingesetzt, weitere Einzelnetze wurden Ende 2010 in Betrieb genommen. In der Schweiz sind erste Versuche mit LTE durchgeführt worden. Zwei weitere Normierungsschritte (3GPP-Releases 9 und 10) müssen noch umgesetzt werden bis in Europa LTE Advanced angeboten werden kann.



Was bietet LTE?

Nach Christian Grasser ist das exponentiell steigende Datenvolumen (Verdoppelung ca. alle 7 Monate) der wesentliche Treiber hin zu einer noch leistungsfähigeren Technologie als es die bisherigen Mobilfunknetze sind. Die Nachfragedynamik wird dabei vom mobilen Internet mit seinen Streaming-Möglichkeiten erzeugt. Für Swisscom ist LTE eine Technologie der Zukunft. Technisch bietet sie die nötigen Bandbreiten, sie ist international standardisiert, und Infrastruktur sowie erste Endgeräte sind verfügbar. LTE wird jedoch mittelfristig die heutigen Netze (GSM/EDGE und UMTS/HSPA) nicht einfach ersetzen, sondern sie – vor allem in städtischen Regionen – für Breitband-Anwendungen ergänzen. Vor diesem Hintergrund hat Swisscom 2010 einen Versuchsbetrieb mit drei Basisstationen und neun Zellen aufgebaut und ausführlich getestet. Der Versuch hat die Erwartungen bezüglich Geschwindigkeit, Verhalten zwischen Basisstation und Mobilteil sowie Kompatibilität mit den existierenden Technologien erfüllt. Mobiles HDTV (hochauflösendes Fernsehen), mobile Videokonferenzen und mobiles Spielen im Internet waren möglich.

Die Luftschnittstelle

Hansjürg Schlupe stellte die Funkübertragungstechnik zwischen Sendemast und Endgerät (die so genannte „Luftschnittstelle“) von LTE im Vergleich mit GSM und UMTS vor. Zunächst erläuterte er das Zugriffsverfahren:

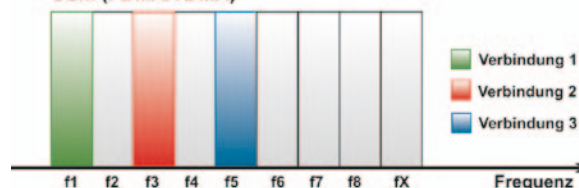
Bei GSM werden als Signalträger mehrere kleine Frequenzabschnitte (200 kHz plus Kanalabstand) der gesamten zur Verfügung stehenden Frequenzbandbreite definiert (FDMA – Frequency Division Multiple Access). Gleiche und angrenzende Frequenzen müssen wegen gegenseitiger Störung räumlich (geographisch) voneinander getrennt sein. Dank zeitlich gestaffelter Nutzung (TDMA – Time Division Multiple Access) können pro Träger bis zu 8 Verbindungen quasi synchron verarbeitet werden.

Bei UMTS wird als Signalträger ein großer Bandbreitenabschnitt (5 MHz) verwendet. Jeder Standort benutzt die gleiche Frequenz. Verbindungen werden gleichzeitig über den Träger geschaltet. Jede Verbindung ist kodiert (WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access), so dass bei Kenntnis des Codes das entsprechende Signal aus dem Gesamtsignal ausgefiltert (entschlüsselt) werden kann. Je mehr Verbindungen geschaltet sind, desto schwieriger ist allerdings die Entschlüsselung. Das so genannte Rauschen nimmt zu, und damit sinkt die Empfangsreichweite.

LTE ist zunächst ähnlich aufgebaut wie GSM: Verbindungen sind frequenzmässig parallel geschaltet. Allerdings werden wie beim digitalen Broadcasting (Radio, TV) und bei WLAN (IEEE 802.11) für eine Verbindung statt einer breitbandigen viele schmalbandige Frequenzen (15 kHz) eingesetzt (OFDMA – Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Das System ist deshalb flexibel: es kann (im Unterschied zu UMTS) mit unterschiedlichen Bandbreiten betrieben werden (bis zu 20 MHz, d.h. 1200 15 kHz-Unterträgern). Hinzu kommt, dass Sender und Empfänger mehrere Antennen gleichzeitig verwenden (MIMO – Multiple Input Multiple Output). Der Vorteil: bei einer Verdoppelung der Antennenzahl verdoppelt sich die Datenrate. Zunächst sollen LTE-Endgeräte sende- und empfangsseitig mit je zwei Antennen ausgerüstet werden, später sollen bis zu je 4 Antennen möglich sein.

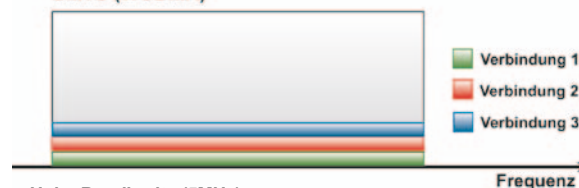
MODULATIONSVERFAHREN / LUFTSCHNITTSTELLE

GSM (FDMA/TDMA)



- Kleine Bandbreite (200kHz)
- Kanalabstand notwendig zwischen den einzelnen Trägern
- Umliegende Standorte benötigen andere Frequenzen

UMTS (WCDMA)



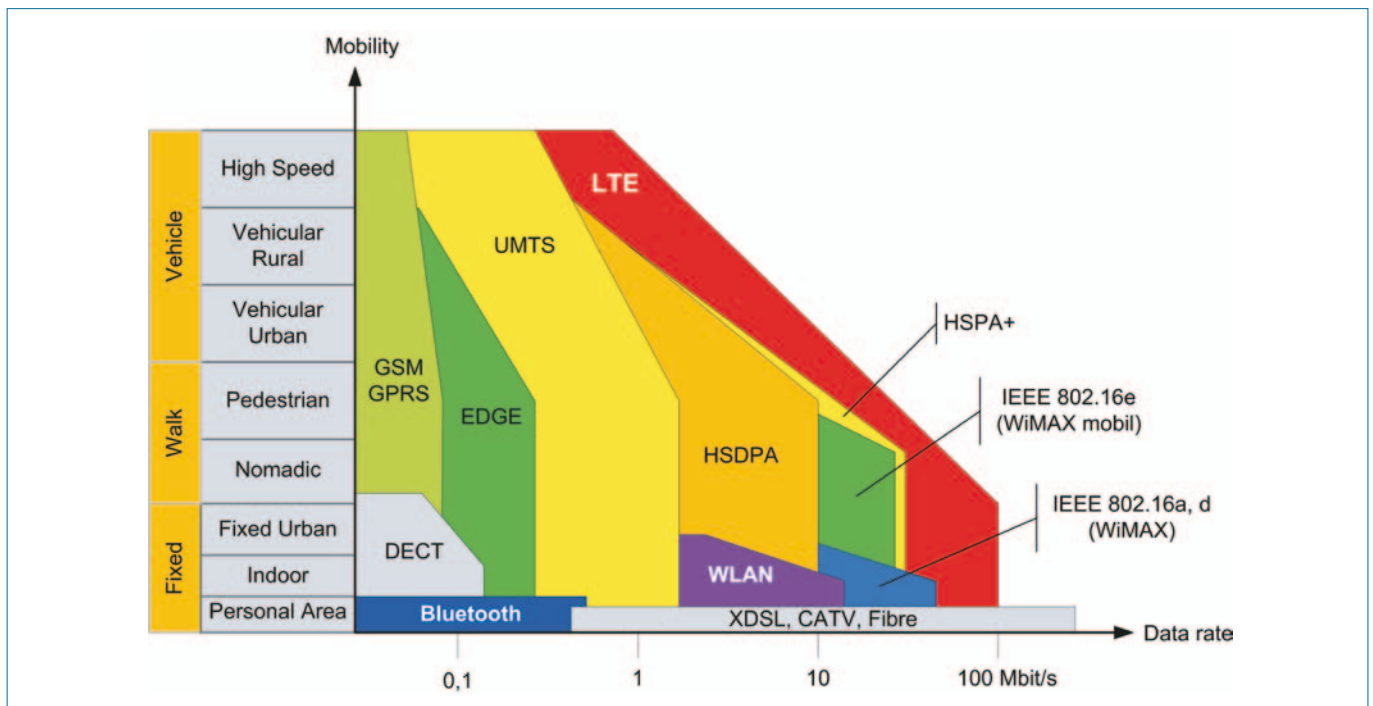
- Hohe Bandbreite (5MHz)
- Gleichkanalsystem - jeder Standort benutzt die gleiche Frequenz
- Höhere Empfindlichkeit
- Keine Flexibilität

LTE (OFDMA)



- Viele schmalbandige Träger parallel (Bandbreite 15 kHz)
- Gleichkanalsystem - jeder Standort benutzt die gleiche Frequenz
- Robuste Träger
- Hohe Flexibilität

Quelle: Hansjürg Schlupe



Datenraten einzelner Dienste in Abhängigkeit von der Mobilität der Nutzer (Ortsfest = Fixed bis Hochgeschwindigkeitszug = High Speed Vehicle)

Das Modulationsverfahren:

Bei GSM wird mit dem binären Verfahren GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) 1 Bit pro Symbol übertragen. In der aufgerüsteten Version (EDGE) können Modulationen bis zu 8-PSK (Phase Shift Keying) verwendet werden. Damit werden bis zu 3 Bits pro Symbol übertragen.

UMTS verwendet das Verfahren QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Mit ihm werden pro Symbol 2 Bits übertragen. Die UMTS-Aufrüstungen verwenden zusätzlich zur Phase auch noch die Amplitude zur Modulation (QAM-Verfahren; Quadrature and Amplitude Modulation; HSPA setzt Modulationen bis zu 16-QAM ein, die pro Symbol 4 Bits überträgt, HSPA+ setzt Modulationen bis zu 64-QAM ein, die pro Symbol 6 Bits überträgt).

LTE arbeitet mit bis zu 64-QAM.

Messtechnik

Die Referate von Beat Mühlemann und Peter Fritschi beschäftigten sich mit der Immissionsmessung. Nach Schweizerischem Recht ist die maximal zugelassene Strahlung einer Anlage die relevante Grösse. Da Anlagen die zugelassene Maximalleistung oft nicht ausnutzen und die aktuelle abgestrahlte Leistung vom Verkehr abhängig ist, gilt es, ein aktuell gemessenes Signal korrekt auf die mögliche Anlagenleistung hochzurechnen.

Bei GSM wird dazu der technische Kanal (BCCH) einer Anlage gemessen. Dieser sendet immer mit konstant eingestellter Leistung. Je nach Anzahl bewilligter Verkehrskanäle und Senderrichtungen kann leicht die Maximalstrahlung der Anlage ermittelt werden.

Bei UMTS kann man den technischen Kanal (CPICH), der einen festen Anteil der maximalen Sendeleistung beansprucht (in der Regel ca. 10%), nur mit codeselektiven Instrumenten messen. Mit dem entsprechenden Hochrechnungsfaktor kann dann die Maximalstrahlung aus dem gemessenen Wert ermittelt werden.

Bei LTE werden ebenfalls technische Signale gemessen, die mit konstanter und vom aktuellen Verkehr der Antenne unabhängiger Leistung senden. Die technischen Signale belegen u.a. periodisch in der Kanalmitte eine Bandbreite von ca. 1 MHz und können mit frequenzselektiven Instrumenten erkannt werden (es sind die jeweils stärksten Signale in dieser Bandbreite). Die erhaltenen Messwerte können zur Hochrechnung auf die Maximalstrahlung der Anlage verwendet werden. Um jedoch einzelne Zellen unterscheiden zu können (alle Zellen senden im gleichen Frequenzkanal), sind wiederum codeselektive Messinstrumente nötig. Je nach Messverfahren (frequenzselektiv, codeselektiv) bedarf es verschiedener Hochrechnungsfaktoren, die auch von der Konfiguration der Anlage abhängen, insbesondere von: Bandbreite und Verhältnis der Sendeleistungen zwischen technischen Signalen zu Verkehrssignalen (je mehr Träger oder Bandbreite eine

Anlage insgesamt nutzt, desto kleiner ist der Anteil der für die technischen Signale verwendeten 1 MHz-Bandbreite an der Gesamtleistung der Anlage). Mit codeselektiven Verfahren können die Überschätzungen beim Hochrechnen, wie sie bei frequenzselektiven Verfahren vorkommen, vermieden werden. Die Messwerte der Pilotanlage und die Hochrechnungen zeigen, dass LTE-Abnahmemessungen in derselben Qualität durchgeführt werden können wie bei GSM und UMTS üblich, und dass die Feldstärken bei maximaler Auslastung im „üblichen“ Nahbereich in derselben Grössenordnung liegen wie bei GSM und UMTS (im Testnetz konkret zwischen 1 V/m und 3V/m).

Das Fernmeldegesetz (FMG) und LTE

Markus Riederer zeigte, wie die Regulierungsbehörde LTE zu konzessionieren gedenkt. Die Verhandlungen zu neuen Frequenzen für LTE begannen vor etwa 10 Jahren innerhalb der ITU. Innerhalb der CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) wurde der Gebrauch dieser neuen Frequenzen europaweit harmonisiert. Noch bestehende nationale Spezialfrequenzzuteilungen mussten dann in den einzelnen Ländern geregelt werden. Diese Frequenzen wurden von der ComCom (Eidgenössische Kommunikationskommission) Ende 2010 ausgeschrieben – gleichzeitig mit den bestehenden Frequenzen der auslaufenden Mobilfunkkonzessionen. Im sogenannten „Big Bang“ werden alle Frequenzen zusammen versteigert, voraussichtlich Ende der ersten Jahreshälfte 2011. Die bindenden Regeln dazu können auf www.bakom.admin.ch/themen/frequenzen eingesehen werden. Die Frequenzen sind technologieneutral ausgeschrieben, damit LTE, UMTS oder GSM (oder WiMax) betrieben werden können. Gewisse minimale Normen müssen befolgt werden, wie anerkannter Stand der Technik, 3GPP-Normen und Kompatibilitätsbedingungen der CEPT. Um zu verhindern, dass Frequenzen brach liegen, muss ein gewisser Bevölkerungsteil versorgt werden.

Regulation

Jürg Baumann stellte als Vertreter des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU) den Diskussionsstand betreffend Schutz vor nichtionisierender Strahlung vor. LTE fällt unter den Geltungsbereich der gültigen Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) und muss demzufolge die geltenden Anforderungen einhalten. Das heißt insbesondere, dass für Wohnungen und andere Orte mit empfindlicher Nutzung die schweizerischen Vorsorgegrenzwerte gelten (u.a. 4V/m bei 800/900 MHz, 6V/m bei 2.5/2.6 GHz). Es sind weder Änderungen der Grenzwerte vorgesehen noch grundsätzliche Anpassungen der Auflagen an Dokumentationen und Abläufe. Das BAFU sei bestrebt, die Einführung von LTE nicht mit administrativen Hürden zu erschweren. Allerdings wies der Referent

darauf hin, dass es zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend klar sei, unter welchen Bedingungen die Nachrüstung einer bestehenden Basisstation mit LTE als Änderung im Sinne der NISV zu gelten habe, und damit allenfalls auch dem öffentlichen Bewilligungsverfahren zu unterstellen sei.

Alle Referate der Veranstaltung können von der Website der Forschungsstiftung Mobilkommunikation heruntergeladen werden:

http://www.mobile-research.ethz.ch/var/HandoutLTE_Workshop.pdf

Autoren



(CELENEC) und der EU-Koordinierungsaktion COST BM0704 „Emerging EMF Technologies and Health Risk Management“.

Diplom-Ingenieur Markus Riederer arbeitet beim Schweizer Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) und beschäftigt sich dort mit der elektromagnetischen Verträglichkeit bezüglich Technik und Umwelt (EMV und EMVU) sowie mit technischen und regulatorischen Fragen des Mobilfunks. Diese Themen bearbeitet er auch in internationalen Gremien, wie dem Europäischen Komitee für elektrotechnische Normung



Dr. Gregor Dürrenberger ist Geschäftsleiter der Forschungsstiftung Mobilkommunikation (FSM). Promotion in Naturwissenschaften an der ETH Zürich. Spezialisiert auf Umwelt- und Risikoforschung.

Kontakt:

Dr. Gregor Dürrenberger
Forschungsstiftung Mobilkommunikation c/o ETH Zürich
Gloriastrasse 35
CH-8092 Zürich

gregor@mobile-research.ethz.ch
www.mobile-research.ethz.ch