



(Quelle: Alcatel-Lucent)

LTE – der nächste Leistungssprung im Mobilfunk steht in den Startlöchern

LTE lässt die Grenzen zwischen stationärer und mobiler Nutzung von Telefonie, Internet und Fernsehen verschwimmen. Das Ziel ist, „Alle Dienste zu jeder Zeit an jedem Ort“ in hoher Dienstqualität verfügbar zu machen.

Die mobile Kommunikation hat sich in wenigen Jahrzehnten vom Telefonieren unterwegs im Auto in Richtung „Ubiquitous Computing“ (allgegenwärtige Rechnerverfügbarkeit) mit ungeheurer Rasananz entwickelt. Im Zeitalter der Digitalisierung sind Sprache, Bilder und Programme ohnehin nur Daten in Form von Nullen und Einsen, so dass eine Technik im Prinzip für alle Anwendungen herangezogen werden kann. Deshalb sind die mobilen Funknetze von morgen in der Lage, alle kommunikationstechnischen Aspekte auch dort

abdecken zu können, wo kein Festnetz verfügbar ist: Telefon, Radio, Fernsehen, Video, Internet, Datenaustausch zwischen Computern usw. LTE (Long Term Evolution: langfristige Entwicklung) heißt die Technologie, welche die Grenzen der Leistungsfähigkeit zwischen mobilen und stationären Datenverbindungen verwischen soll.

Datenübertragung über Mobilfunknetze

Ab der zweiten Mobiltelefoniegeneration (Abbildung 1) werden Gespräche digital übertragen. Damit stehen auch der Übermittlung von Daten aller Art zusätzlich zur Sprache oder anstelle der Sprache keine prinzipiellen Schwierigkeiten im Weg. In schneller Folge ging es von Standard-GSM mit einer Übertragungsrates bis zu 14.400 bit/s über HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) mit bis zu 57,6 kbit/s zu GPRS (General Packet Radio Service) mit maximal 171 kbit/s. Für Videostreams und Internetnutzung ist GPRS aber kaum ausreichend, insbesondere, wenn das Netz ausgelastet ist. Als evolutionäre Stufe (2,5G: 2,5. Generation) zwischen GSM und UMTS ist EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) ge-

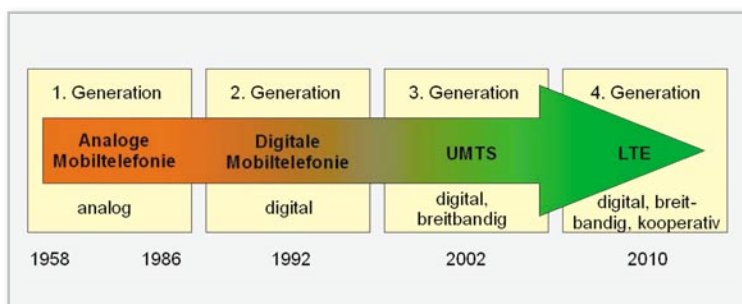


Bild 1: Vier Mobilfunkgenerationen in einem halben Jahrhundert

dacht. Durch Verwendung einer höherwertigen Modulation (8PSK) und Bündelung mehrerer Zeitschlitze ist ein Vielfaches der Datenraten (theor. bis 473 kbit/s) von GPRS oder HSCSD möglich. Der EDGE-Ausbau begann in Deutschland 2006 durch T-Mobile erst relativ spät. Die Netzanbieter setzen stattdessen auf den direkten Übergang zu UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), das in Deutschland ab 2004 kommerziell verfügbar war. Die zu erwartende schnelle Verfügbarkeit der vierten Mobilfunkgeneration LTE wird die Bedeutung von EDGE als Zwischentechnologie schwinden lassen.

UMTS bringt die im Standard maximal vorgesehenen 1,92 Mbit/s nicht flächendeckend, sondern nur im Bereich der kleinsten Netzzellen (Pikozellen) mit weniger als 100 m Ausdehnung für ruhende Teilnehmer (je höher die Teilnehmergeschwindigkeit, desto geringer die Datenrate), und das nur, wenn nicht mehr als ein Anwender darin funkt. Die Pikozelle ist also ein Flaschenhals, der nur durch kostspielige Feinstsegmentierung des Netzes und Nutzung mehrerer Frequenzen aufzuweiten ist. UMTS beruht auf WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), einer adaptiven Modulations- und Codierungstechnik. Im sogenannten FDD-Modus (Frequency Division Duplex) ermöglicht UMTS Datenübertragungsraten im Downlink von 384 kbit/s.

Mit der abwärtskompatiblen UMTS-Aufsatztechnologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) sind in entsprechend aufgerüsteten UMTS-Netzen Downlink-Datenraten von durchschnittlich 2 bis 3 Mbit/s möglich. Seit Ende 2007 wird in Deutschland HSDPA auch mit 7,2 Mbit/s angeboten, wenn auch noch nicht flächendeckend. Obwohl HSDPA noch erhebliche Datenratenreserven hat, leidet der Nutzer unter einer erheblichen Abhängigkeit der Datenrate von der Netzauslastung und seinem Standort in der Funkzelle.

Das prinzipielle Schema eines UMTS-Netzes zeigt Abbildung 2. Es besteht im Wesentlichen aus einem Kernnetz (Core Network) und dem UMTS-Funkzugangnetz (UTRAN: UMTS Radio Access Network), das über Basisstationen (NodeB) die Sektor-Zellantennen speist.

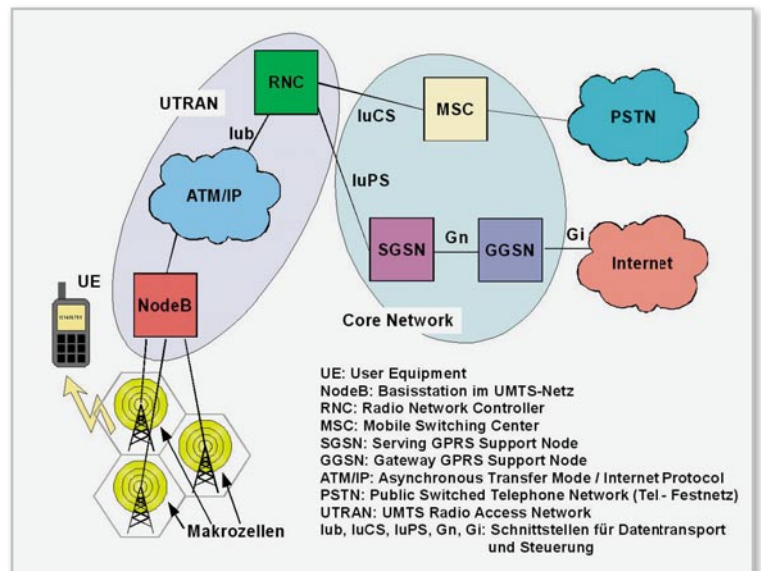


Bild 2: Prinzipschema eines UMTS-Netzes

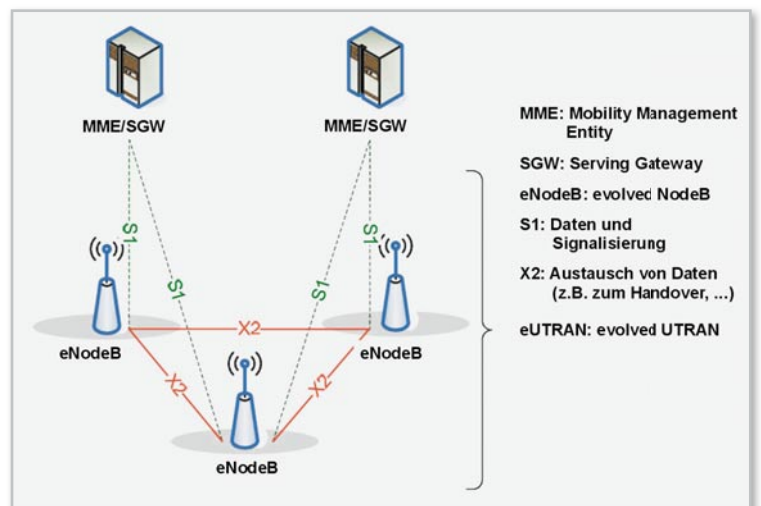


Bild 3: Vereinfachte Netzstruktur bei eUTRAN

LTE – mobiles Breitband der 4. Generation

Den Analysten des Marktforschungsunternehmens Infonetics (www.infonetics.com) zufolge, wird LTE bereits 2013 von über 72 Millionen Anwendern genutzt werden. Der große Treiber hinter der LTE-Technologie werden zunächst die PC-basierten Produkte wie Laptops, Netbooks, USB-Funkmodem-Sticks usw. sein, aber schon ab 2011 werden Smartphones zunehmend im Markt auftauchen. Übertragungsraten, Latenzzeiten (Datenlaufzeiten) und spektrale Effizienz (Bandbreiteneffizienz) werden dem mobilen Breitband der vierten Generation zum Durchbruch verhelfen.

LTE erlaubt den Bau zellularer Hochgeschwindigkeits-Funknetze für Echtzeitanwendungen auf der Grundlage paketvermittelter Datenübertragung. Die Zusammenschaltung der Funktionsblöcke und der Datentransport im Netz beruhen jetzt ausschließlich auf dem Internetprotokoll (Full-IP-Hochgeschwindigkeitsnetz). Das erlaubt bezüglich der örtlichen Anordnung der wichtigen Netz-Hardware nahezu unbegrenzte Freiheiten und vermeidet überflüssige Technologie- und Protokollbrüche.

Ein wesentlicher Ansatz bei LTE besteht darin, die Netzarchitektur zu vereinfachen. Das gelingt durch die Verlagerung von Funktionen in den NodeB, der deshalb in LTE-Netzen eNodeB (evolved NodeB) heißt (Abbildung 3). Die eNodeBs kommunizieren über schnelle Datenleitungen miteinander (X2) und mit den Einheiten für Mobility Management (MME: Mobility Management Entity) und Serving Gateway (SGW), über das die Nutzdaten ausgetauscht werden. Das ergibt eine hohe Übertragungsgeschwindigkeit und extrem kurze Signallaufzeiten zwischen Absender und Empfänger (Latenzzeit). So werden neue Applikationen wie Videostreaming, Spiele, standortbezogene Dienste (LBS: Location Based Services) usw. möglich, bei zugleich geringeren Anschaffungskosten (CapEx: Capital Expenditures) und Betriebskosten (OpEx: Operational Expenditures).

LTE Advanced lässt weitere Leistungssteigerungen erwarten. Insbesondere sollen die Auswirkungen von Interferenzen zwischen benachbarten Funkzellen reduziert werden. Mit neuen technologischen Ansätzen will man diesen leistungs-limitierenden Faktor in heutigen Mobilfunknetzen abschwächen.

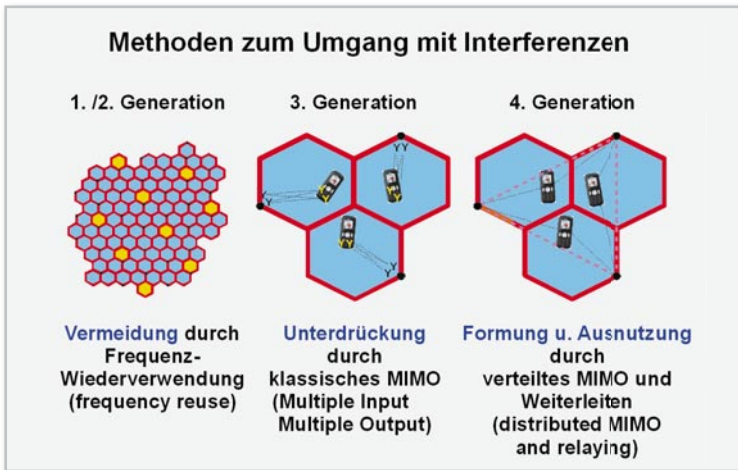


Bild 4: Die Methoden zur Eliminierung von Gleichfrequenzstörungen in den Randbereichen von Mobilfunkzellen werden immer ausgeklügelter.

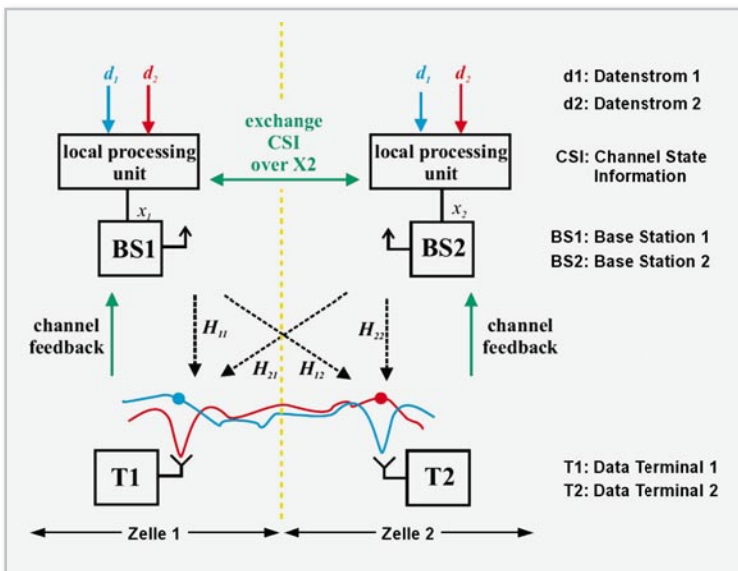


Bild 5: Ein Beispiel für kooperative Übertragung mit dem Ziel, Interferenzen in den Zellrandgebieten zu verringern.



Bild 6: Die Zusammenarbeit branchenübergreifender Industrien im „ng connect program“ soll den schnellen wirtschaftlichen Erfolg von LTE sichern.

chen (Abbildung 4). Interferenzen sind in den Zellrandgebieten naturgemäß am stärksten ausgeprägt. Man will sie durch Verfahren wie CoMP (Coordinated Multi-point Transmission/ Reception: abgestimmte Vielpunkt-Aussendung/Empfang) und „Virtual MIMO“ minimieren. Anders als bei herkömmlichen MIMO-Systemen (Multiple Input Multiple Output), die an der Basisstation und am mobilen Endgerät mit mehreren Antennen arbeiten, wird bei „Virtual MIMO“ die Kommunikation über mehrere breitbandig gekoppelte Basisstationen derart abgewickelt, dass die Auswirkungen von Interferenzen für den aktiven Anwender so gering wie möglich sind. Man formt gewissermaßen die Interferenzen durch großflächig verteilte Antennensysteme und Relaisstationen, was die Schlagwörter „Interference Shaping and Exploitation“, „Distributed MIMO“ und „Relaying“ grob erklärt.

Abbildung 5 (Quelle: Heinrich-Hertz-Institut, Berlin) erläutert stark vereinfacht das Prinzip. In Funkzelle 1 befindet sich Datenterminal T1, in Funkzelle 2 Datenterminal T2. Die Basisstationen in den Zellen senden beide die Datenströme d_1 und d_2 aus. d_1 ist für T1 und d_2 für T2 bestimmt. Die Terminals senden nun an die jeweiligen Basisstationen Informationen über die Empfangsparameter der Signale aus der eigenen und aus der Nachbarzelle (channel feedback). Die Basisstationen tauschen diese Informationen aus und erzeugen Ausstrahlungen, die am Ort von T1 eine Abschwächung des mit d_2 modulierten HF-Signals und bei T2 eine Abschwächung des mit d_1 modulierten HF-Signals bewirken. Die verteilte, kooperative Übertragung wird als „distributed joint transmission concept“ bezeichnet. Sie unterdrückt am Ort des Empfängers durch „adaptive beamforming“ Störsignale aus der oder den Nachbarzellen. Natürlich ist die Technik und Mathematik dahinter äußerst kompliziert und nur mit hochleistungsfähiger digitaler Echtzeit-Signalverarbeitung zu realisieren. Dieser Ansatz zur Verringerung der Interferenzeffekte kann durch ein abgestimmtes wiederholtes Aussenden der gestörten Symbole über benachbarte Basisstationen (cooperative retransmission) ergänzt werden.

LTE Advanced und Femtozellen.

Eine ideale Erweiterung von LTE-Advanced-Netzen ist die Femtozellen-Technologie, bei der LTE-Dienste auch dann zur Verfügung stehen, wenn ein LTE-Endgerät sich nicht in eine Makrozelle des LTE-Netzes einloggen kann oder will. Besonders im häuslichen Umfeld, wo meistens ein schneller Festnetzanschluss via DSL zur Verfügung steht, kann man ein nur wenige Meter im Umkreis abdeckendes Mini-Funknetz (ähnlich wie ein WLAN) nutzen und den Datenverkehr über das drahtgebundene Internet mit dem Kernnetz (Core Net) des LTE-Netzbetreibers abwickeln. Damit verfügt der Anwender über eine hohe Dienstqualität und der LTE-Netzbetreiber hat Traffic „aus der Luft genommen“ – ein Vorteil also für beide Seiten. Das kooperative Vielpunkt-konzept (CoMP: Cooperative Multi-point) bewirkt als zentrale Komponente für die aktuellen Entwicklungen der vierten Mobilfunknetz-technologie geringe Latenzzeiten von weniger als 5 ms, die weitgehende Erhaltung einer hohen Übertragungsrate (theoretisch bis zu 300 Mbit/s im 20-MHz-Kanal) auch in den Grenzbereichen einer Zelle und eine beträchtliche sende- und empfangsseitige Energieeinsparung.

ng Connect

Das ng-Connect-Programm beruht auf einer Initiative von Alcatel-Lucent (Abbildung 6). In ihm haben sich zahlreiche Industrieunternehmen aus den Bereichen Netzwerk, Konsumelektronik und Content zusammengefunden, um innovative Geschäftsmodelle für LTE zu identifizieren und deren Umsetzung in die Praxis zu beschleunigen (www.ngconnect.org). Ein ganz aktuelles ng-Connect-Projekt ist „The Connected Car“ (das vernetzte Auto). Innovative ICT-Lösungen (Information and Communication Technology) sollen Komfort, Sicherheit sowie das Informations- und Unterhaltungsangebot im Fahrzeug steigern (Abbildung 7). Dazu wird das Auto zum „LTE-Endgerät auf Rädern“, das über seine breitbandige Integration in Cloud-basierte Anwendungen ganz neue Möglichkeiten eröffnet.

Unterhaltungsangebote wie Video, Fernsehen, Online-Spiele etc. sind sinnvollerweise nur von den Beifahrern in vollem Umfang nutzbar (oder im Stau auch vom Fahrer). Den vollen Nutzen in Bezug auf Komfort und Sicherheit bieten andere, noch zu implementierende Dienste (Abbildung 8). Man stelle sich vor, jedes Fahrzeug würde einem Verkehrsleitsystem in Echtzeit GPS-basierte (standortbezogene) Informationen über sich und sein Umfeld zur Verfügung stellen. Das könnten beispielsweise neben den Positionsdaten die eigene Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Außentemperatur, Niederschlags- und Straßenverhältnisse, die Fahrzeugdichte in der näheren Umgebung usw. sein. Das Fahrzeug wäre damit einer von zigtausend Sensoren in einem Sensornetzwerk, aus dem ein Leitsystem einen detaillierten, stets aktuellen Verkehrsstatus generieren könnte. Durch Warnungen vor Stau, Glätte und Unfällen und wiederum standortbezogene Handlungsempfehlungen ließe sich ein erheblicher Beitrag zur Verkehrssicherheit und zum Energiesparen leisten. Weiter entwickelte Navigationsdienste mit Echtzeit-Updates der Inhalte würden den Fahrer in einem vorgegebenen Umkreis zur preiswertesten Tankstelle leiten, ihm Hotel- und Gastronomievorschlüge unterbreiten, bei einer Panne Hilfe anfordern, die das defekte Ersatzteil gleich mitbringt, usw. Ebenso ist die Überwachung des eigenen Wohnhauses sowie die Steuerung seiner technischen Einrichtungen von unterwegs ein attraktives Anwendungsfeld für LTE. Dem Paketboten sagen, er möge seine Lieferung beim Nachbarn abgeben, die verkehrsbedingt verpasste Fernsehsendung aufzeichnen lassen, die Heizung kurz vor der Ankunft hochfahren und vieles mehr ist möglich.

Natürlich sind hierbei nicht nur hoch komplexe technologische Fragen zu lösen, sondern es ist auch das Recht des Individuums auf informationelle Selbstbestimmung zu beachten.

Wie geht's weiter?

Für den schnellen Erfolg von LTE ist die richtige Einführung in den Massenmarkt von größter Wichtigkeit. Parallel zum Ausbau der LTE-Funknetze müssen daher auch dem Endanwender die Vorzüge der neuen Technik überzeugend nahegebracht und die zu ihrer Nutzung erforderlichen Endgeräte und Tarife preiswert zur Verfügung gestellt werden.

Ein grober Zeitplan könnte so aussehen: Anfang 2010 erste LTE-USB-Sticks, im Verlauf von 2010 erste Netbooks, Mobile

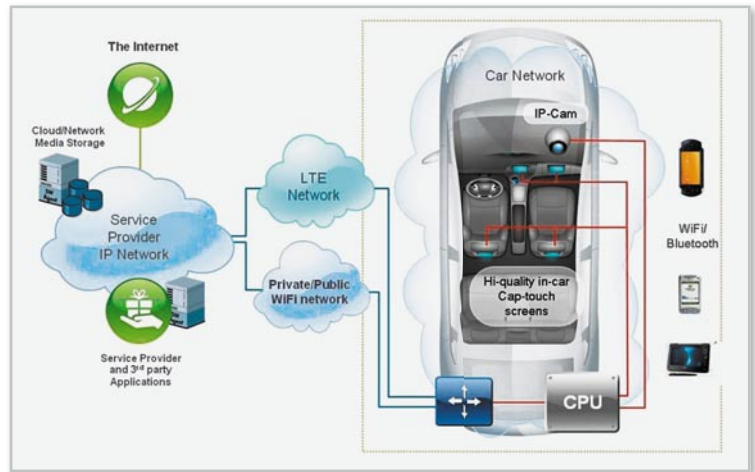


Bild 7: Das „vernetzte Auto“ ist ein LTE-Terminal auf Rädern.



Bild 8: Durch die Entlastung des Fahrers soll das Autofahren gerade in komplexen Verkehrssituationen sicherer gemacht werden.



Bild 9: eNodeB für 800 MHz von Alcatel-Lucent

Internet Devices (MID), drahtloses DSL ..., 2011 erste High-end-LTE-Mobiltelefone, 2012 mittelpreisige multifunktionale mobile Endgeräte, 2013 Low-Cost-LTE-Telefone ... Es überschreitet die Fantasie, sich die Vielzahl weiterer neuer Geräte und Anwendungen vorzustellen, welche die LTE-Technik ermöglicht. Gegenwärtig bietet sich LTE zur Verwertung der digitalen Dividende an, d. h. zur funktechnischen Erschließung von Gebieten ohne Breitbandzugang über die durch die Digitalisierung des Fernsehens frei gewordenen Frequenzen um 800 MHz. Die eNodeBs dafür sind bereits entwickelt (Abbildung 9). Auf jeden Fall wird LTE der mobilen Kommunikation einen gewaltigen Schub verleihen.

Die Vorteile der LTE-Technologie im Überblick

- LTE bietet teilweise deutliche Verbesserungen bei Bandbreiten- und Energieeffizienz, Latenzzeit, Quality of Service ...
- LTE ist skalierbar, d. h. erlaubt die Verwendung eines Rasters von Kanälen mit 1,4, 3, 5, 10, 15 und 20 MHz Bandbreite sowohl im Uplink als auch im Downlink. Damit und mit vielen weiteren Stellschrauben ist LTE optimal an die lokalen Gegebenheiten (Nutzerdichten, Topografie) anpassbar.
- LTE kann mit den Vorlängertechnologien GSM und UMTS sowie anderen Funknetztechnologien wie WLAN (IEEE 802 b/g) und WiMAX (IEEE 802.16) koexistieren und auf dem Weg zu einem allumfassenden IP-Netz zusammenarbeiten.
- LTE mit seiner All-IP-Technologie für paketorientierte Datenübertragung senkt die Übertragungskosten über die Luftschnittstelle sowie den Energieverbrauch der mobilen Endgeräte. LTE-Handys werden somit eine längere Betriebsdauer mit einer Akkuladung aufweisen.
- LTE kann für Gleichwellennetze eingesetzt werden und hat deshalb eine hohe Frequenzeffizienz bei der Verteilung von Rundfunkprogrammen. Technisch gesehen kann LTE die Aufgaben von DVB-T, DVB-H und DAB übernehmen und bietet zusätzlich noch den Vorteil der Interaktivität.
- LTE kann durch Nutzung der „Digitalen Dividende“ (Frequenzbereich um 800 MHz, der durch die Frequenzökonomie des digitalen Fernsehens frei geworden ist) helfen, die weißen Flecken auf der Breitband-Landkarte zu schließen.
- LTE-Netze lassen sich durch ausschließliche Nutzung der UMTS-Sendestandorte realisieren und parallel zu diesen betreiben. Das macht LTE kostengünstig für die Netzbetreiber und erlaubt einen sanften Generationenwechsel.
- LTE-Netze verwalten sich dank SON-Technologie (SON: Self Organizing Networks) weitgehend selbst. So können sich neue Mobilfunkzellen automatisch in ein bestehendes LTE-Netz integrieren und ihre Betriebsparameter ihrer Umgebung optimal anpassen. Das reduziert die Betriebskosten deutlich.
- LTE erlaubt wegen der hohen Datenraten und niedrigen Reaktionszeiten neue Dienste- und damit Geschäftsmodelle. So z. B. die B-to-B-Anwendung „Digital Signage“, eine elektronische Variante des Plakats. Damit lässt sich via Funk die Werbung auf elektronischen Anzeigetafeln auswechseln. Auch der Spaß am „Online-Gaming“ wird nicht mehr durch träge Reaktionen getrübt. „Location Based Services“ vom GPS-unterstützten elektronischen Fremdenführer über die mobile Arbeitszeiterfassung bis hin zu standortbezogenen Auskünften aller Art verfügen jetzt über die hinreichend leistungsfähige Grundlage.

LTE-Praxisdemos der Bell-Labs Deutschland am Alcatel-Lucent-Standort Stuttgart

Alcatel-Lucent hat am Firmensitz in Stuttgart ein Ende-zu-Ende-Testzentrum für die vierte Mobilfunkgeneration LTE aufgebaut. Dort testet das Unternehmen das reibungslose Zusammenspiel aller Komponenten eines LTE-Netzes und demonstriert europäischen Kunden die Möglichkeiten der neuen Mobilfunkgeneration in der Praxis. Das Testzentrum bildet ein komplettes LTE-Netz nach, wie es bei Kunden zukünftig aufgebaut werden wird, inklusive eines „on the air“-Funknetzes im Stuttgarter Norden. Dessen Sektorantennen stehen auf dem Alcatel-Lucent-Verwaltungsgebäude in Stuttgart-Zuffenhausen (Abbildung 10). Am 8. Oktober hatte die Fachpresse Gelegenheit, im Rahmen einer Presseveranstaltung an einer Testfahrt teilzunehmen (Abbildung 11).



Bild 10: Standpunkt der Sektorantennen des LTE-Testnetzes

Da LTE vor allem das steigende Verkehrsaufkommen durch Datendienste in den Mobilfunknetzen verarbeiten soll, demonstrierte Alcatel-Lucent die Leistungsfähigkeit der neuen Technik anhand bandbreitenhungriger Videodienste im Fahrzeug. Dessen Insassen konnten zeitgleich aus dem Web übertragene Videos in HD-Qualität ansehen, ein Videospiel gegen Mitspieler übers Web spielen, im Internet browsen und an einer Videokonferenz teilnehmen. Dabei erwies sich die Übertragung im 2,6-GHz-Band mit Spitzenübertragungsraten von 60 Mbit/s im Verlauf des Testparcours als stabil und leistungsfähig, so dass alle Anwendungen auch beim Wechsel der Funkzellen störungsfrei funktionierten. **ELV**



Bild 11: 60 Mbit/s im Fahrzeug