

LTE Advanced

Was soll die vierte Mobilfunkgeneration können?

Thomas Rechenbach

Seit der Einführung von bedienerfreundlichen mobilen Endgeräten wie z.B. Smartphones und Tablet PCs nimmt der mobile Datenverkehr weltweit rapide zu. Cisco prognostiziert in seiner neuesten Vorhersage auch in den kommenden fünf Jahren ein fast exponentielles Wachstum (Bild 1). Diesem Trend müssen die Mobilfunknetzbetreiber Rechnung tragen. Der Hoffnungsträger der nächsten Jahre ist Long Term Evolution (LTE), das seit einem Jahr in Deutschland funkt. Dieser Beitrag beleuchtet, welche technische Entwicklung LTE unter der Bezeichnung LTE Advanced in den nächsten Jahren nehmen kann.

Die internationale Fernmeldeunion (ITU) ist die globale Instanz, die u.a. die Zuteilung des begehrten Frequenzspektrums zu einzelnen Funkdiensten steuert. 2008 formulierte sie die Anforderungen an ein neues Mobilfunksystem, das formal als IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced), landläufig aber als vierte Mobilfunkgeneration (4G) bezeichnet wird.

Die ITU-Anforderungen wurden bewusst technikunabhängig formuliert, um einen Wettbewerb zwischen konkurrierenden Mobilfunksystemen zu ermöglichen. So umfasst die dritte Mobilfunkgeneration z.B. UMTS und Wimax.

Die 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ist die Standardisierungsorganisation für die Mobilfunksysteme GSM, UMTS und LTE. Sie veröffentlicht im Abstand von ein bis drei Jahren neue Standards in Form von Releases, die sowohl die technische Entwicklung bestehender Systeme wie GSM und UMTS fortschreiben als auch vollständig neue Systeme wie z.B. LTE einführen.

LTE wurde mit Release 8 (R8) Ende 2008 von der 3GPP verabschiedet, erfüllt aber noch nicht alle ITU-Kriterien für 4G. Das Nachfolgesystem erhielt in Anlehnung an IMT-Advanced die Bezeichnung LTE Advanced und wurde teilweise mit härteren Kriterien entwickelt als von der ITU vorgesehen. Seit Anfang 2011 liegt mit Release 10 eine stabile Version des LTE-Advanced-Standards vor. In Feldversuchen knackte LTE Advanced bereits die magische Marke von 1 Gbit/s. Erste kommerzielle Netze und Endgeräte, die LTE Advanced unterstützen, sind erst in einigen Jahren zu erwarten.

Mittlerweile hat nun die ITU nach eingehender Prüfung LTE Advanced offiziell als Mobilfunkstandard der vierten Generation anerkannt.

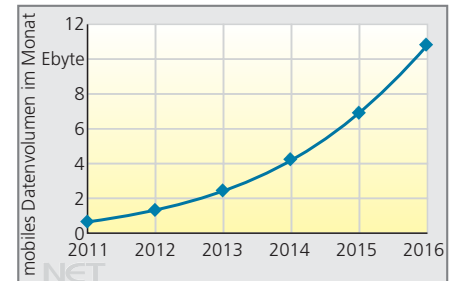


Bild 1: Weltweites mobiles Datenvolumen pro Monat (1 Exabyte = 1 Ebyte = 10^{18} byte)

Höhere spektrale Effizienz

Die spektrale Effizienz ist die Datenrate, die sich je Hz Frequenzbandbreite erzielen lässt und wird in bit/s/Hz angegeben. Je höher die spektrale Effizienz, um so effektiver wird die knappe Frequenzressource genutzt. Für Mobilfunk stehen in Deutschland zzt. ca. 2×265 MHz gepaartes und ca. 85 MHz ungepaartes Frequenzspektrum zur Verfügung. Momentan ist nicht absehbar, dass weiteres Frequenzspektrum von der Bundesnetzagentur an die Mobilfunknetzbetreiber vergeben wird. Die Frequenzressource ist damit für die nächsten Jahre eine feste Größe. Eine Steigerung der Datenrate ist daher nur durch die Steigerung der spektralen Effizienz möglich. Von GSM über UMTS bis zu LTE konnte die maximale spektrale Effizienz von ca. 0,4 bit/s/Hz auf 15 bit/s/Hz gesteigert werden und dringt inzwischen fast bis zur theoretischen Grenze vor. Die Entwickler bedienen sich dabei vor allem höherer Codierraten und Modulationen. Dieser Ansatz fruchtet allerdings nur bei hohem Signal-Rausch-Abstand in unmittelbarer Nähe zur Basisstation. Daher klafft eine immer größere Lücke zwischen den Datenraten, die in der Zellmitte und am Zellrand erzielt werden können. Sowohl ITU als auch 3GPP tragen diesem Sachverhalt Rechnung, indem sie die Anforderungen an die spektrale Effizienz in der Zellmitte sowie am Zellrand formulieren (Bilder 2 und 3).

Bereits mit der Einführung von HSPA+ wird die spektrale Effizienz zusätzlich durch räumliches Multiplexen – eine Spielart von Multiple Input Multiple Output (MIMO) – gesteigert. Dabei werden mehrere unabhängige Datenströme über mehrere Antennen ge-

was die Leistungsaufnahme des Endgerätes in die Höhe treiben dürfte, so dass in absehbarer Zeit wohl nur Endgeräte mit einer stationären Stromversorgung oder einem leistungsfähigen Akku in den Genuss dieser Neuerung kommen werden.

Mehr Frequenzbandbreite

Da die spektrale Effizienz von LTE und LTE Advanced schon sehr nahe an der Grenze zum theoretisch Möglichen liegt, kann die Datenrate nur durch noch breitbandigere Signale weiter

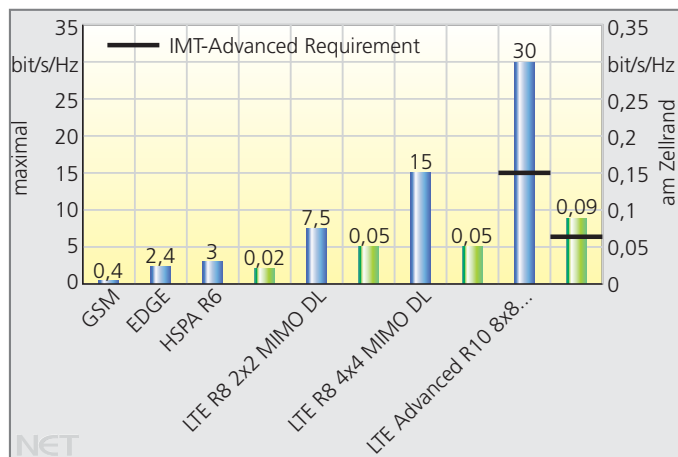


Bild 2: Spektrale Effizienz Downlink (blau – maximal, grün – am Zellrand)

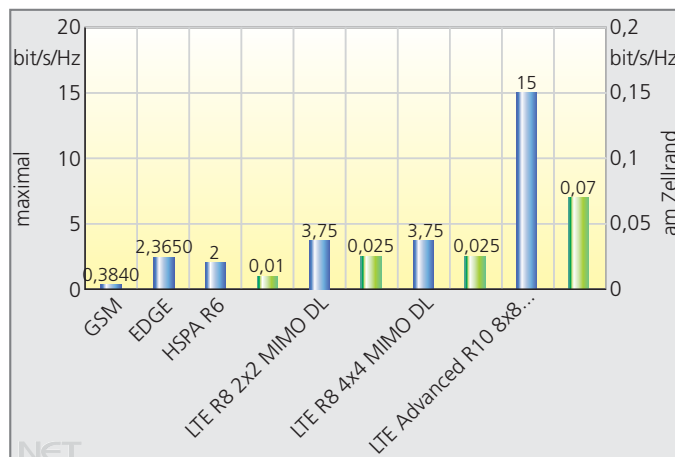


Bild 3: Spektrale Effizienz Uplink (blau – maximal, grün – am Zellrand)

sendet. Der Empfänger kann diese Datenströme wieder voneinander trennen, indem das Empfangssignal von mehreren Antennen ausgewertet wird. Die Anzahl der Empfangsantennen muss dabei mindestens so groß sein wie die Anzahl der unabhängigen Datenströme.

Auch LTE bedient sich des räumlichen Multiplexens; bei LTE R8 bleibt diese Technik allerdings auf den Downlink beschränkt. Mit zwei Sendeantennen in der Basisstation und zwei Empfangsantennen im Endgerät (2 x 2 MIMO) lässt sich die Datenrate gegenüber herkömmlichen Mobilfunksystemen fast verdoppeln, mit 4 x 4 MIMO sogar fast vervierfachen. In der ersten Ausbaustufe verwenden die deutschen Mobilfunknetzbetreiber zwei Sendeantennen, somit können die gleichen Antennenkonfigurationen wie bei GSM und UMTS verwendet werden.

LTE Advanced erweitert die Möglichkeiten des räumlichen Multiplexen. Im Downlink erlaubt es räumliches Multiplexen mit bis zu acht Antennenpaaren. Um auch die spektrale Effizienz im Uplink zu steigern, wird ab R10 räumliches Multiplexen mit bis zu vier Antennenpaaren eingeführt. Dazu müssen allerdings mehrere Sendemodule im Endgerät integriert werden,

Schnell reagieren

Neben der erzielbaren Datenrate wird die vom Kunden wahrgenommene Dienstgüte auch stark von der Latenzzeit der jeweils genutzten Anwendung beeinflusst. Für eine Sprachverbindung sind Latenzzeiten von bis zu 100 ms noch akzeptabel, für andere Echtzeitanwendungen wie z.B. interaktive Spiele müssen sie deutlich geringer sein. Selbst bei Nichtechtzeitanwendungen können sich zu große Latenzzeiten störend bemerkbar machen. Nachdem z.B. eine Internetseite angefordert wurde, beginnt der Aufbau der Seite erst nach Ablauf der Latenzzeit. Ihr Einfluss kann sich beim Internetsurfen vervielfachen, wenn der Inhalt einer Internetseite aus Objekten besteht, für die getrennte TCP-Verbindungen aufgebaut werden müssen. Parallel zur Steigerung der spektralen Effizienz konnte im Mobilfunk die Latenzzeit von ca. 1 s bei GPRS auf ca. 10 ms bei LTE gesenkt werden und erreicht damit Werte wie in Kabelnetzen. Auf eine weitere Reduzierung der Latenzzeit von LTE zu LTE Advanced wurde verzichtet, da bereits die Latenzzeit von LTE die ITU-Anforderung erfüllt. Einschränkend gilt, dass die Latenzzeit in hoch belasteten Funkzellen ansteigt.

gesteigert werden. Die ITU fordert daher für 4G eine Mindestbandbreite von 40 MHz. LTE R8 wurde allerdings auf 20 MHz begrenzt. LTE Advanced hebt diese Bandbreitenbeschränkung auf, indem es erlaubt, bis zu fünf LTE-R8-Frequenzträger zu bündeln (Bild 4). Das entspricht einer Gesamtbandbreite von bis zu 100 MHz. Die Abwärtskompatibilität bleibt erhalten. Ähnliche Strategien werden bei EDGE Evolution und HSPA+ verfolgt.

Bei LTE Advanced können sowohl zusammenhängende als auch unzusammenhängende Frequenzbereiche gebündelt werden. Da die meisten LTE-Frequenzbänder insgesamt kleiner sind als 100 MHz, erlaubt man sogar die Frequenzbündelung über zwei Frequenzbänder.

Die 3GPP hat bisher 25 gepaarte und elf ungepaarte Frequenzbänder für LTE definiert. Durch die große Zahl von LTE-Frequenzbändern und die verschiedenen Bündelungsvarianten entsteht eine riesige Zahl von Kombinationsmöglichkeiten. Allerdings hat die 3GPP für Release 10 vorerst nur zwei Frequenzbänder und eine Kombination aus zwei Bändern ausgewählt, für die eine Frequenzbündelung vorgesehen ist. Für Deutschland ist dabei bisher nur das jetzige UMTS-Frequenzband um 2 GHz relevant. Es ist zu er-

warten, dass die Frequenzbündelung in den folgenden 3GPP Releases auch in weiteren Frequenzbändern erlaubt wird.

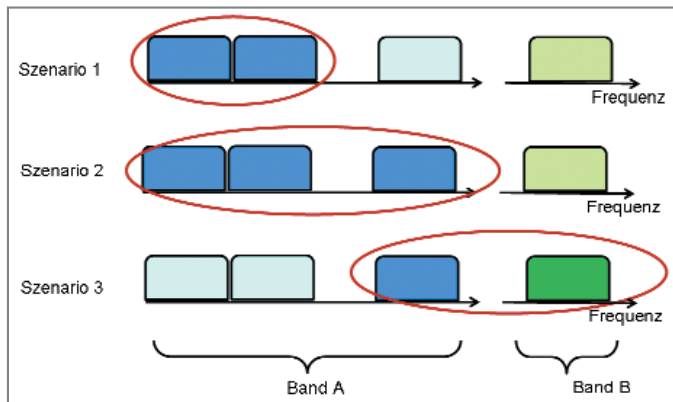


Bild 4: Frequenzträgerbündelung

Löcher stopfen

Bereits mit LTE R8 lassen sich unter günstigen Bedingungen beachtliche Spitzendatenraten erzielen. Die Datenrate am Zellrand liegt allerdings typisch um den Faktor 100 bis 300 niedriger. Die Datenrate am Zellrand hat dabei einen wesentlich größeren Einfluss auf die vom Kunden empfundene Dienstgüte als die theoretische Spitzendatenrate. Die Optimierung der Mobilfunksysteme konzentriert sich daher stark auf die Zellrandbereiche. Wie bei GSM und UMTS bauen die Netzbetreiber in der ersten Ausbaustufe zunächst homogene LTE-Netze auf: Sog. Makrobasisstationen mit Sendeleistungen zwischen 20 und 80 W werden möglichst gleichmäßig über die Fläche verteilt. Bei zunehmender Netzauslastung werden dann in Gebieten mit hoher Verkehrslast die Zellrandbereiche immer weiter zurückgedrängt, denn der mittlere Abstand der Nutzer zur nächsten Basisstation schrumpft. Allerdings nimmt mit der zunehmenden Dichte auch die Interferenz in der Zelle zu. Mit ausgeklügelten Regelmechanismen (Inter-Cell-Interference-Coordination – ICIC) stimmen sich die einzelnen Basisstationen dynamisch ab und minimieren so die Interferenz.

Neben Makrobasisstationen stehen den Netzbetreibern auch kleinere Basisstationen mit kleinerer Kapazität und Leistung für den Netzausbau zur

Verfügung. Hiermit können wesentlich flexibler Funklöcher gestopft und Kapazitätsspitzen abgebaut werden. Eine heterogene Netzstruktur entsteht.

Diese stellt die Netzbetreiber aber vor neue Herausforderungen. Kritisch sind vor allem die Ränder der Mikro- und Picozellen, an denen sich die Steuersignale von der Makro- und der Mikro- bzw. Picozelle überlagern. Verwenden Makro- und Mikro- bzw. Picozelle unterschiedliche Frequenzen, ist die Signaltrennung problemlos möglich, jedoch sind die Frequenzressourcen stark eingeschränkt. Daher tüfelt man inzwischen an erweiterten ICIC-Regelmechanismen, die es erlauben, dass sowohl kleine als auch große Zellen die gleichen Frequenzen verwenden können.

Die Relay-Basisstation

In LTE Advanced wird ein neuer Netzelementtyp definiert – die Relay-Basisstation (Bild 5). Im Gegensatz zu einem Repeater, der das von einer Makrozelle empfangene physikalische Signal verstärkt und wieder ausstrahlt, handelt es sich bei der Relay-Basisstation um eine vollständige LTE-Basisstation, die über eine LTE-Funkzelle (sog. Donor-Zelle) mit dem LTE-Kernnetz verbunden ist. Sie kann überall dort eingesetzt werden, wo prinzipiell auch Repeater eingesetzt werden könnten. Ihr großer Vorteil ist, dass sie das ursprüngliche Datensignal vollständig regeneriert und dann fehlerfrei innerhalb der Relay-Zelle aussendet. Damit verbessert sie das Signal-Rausch-Verhältnis und damit den Datendurchsatz im Vergleich zum Repeater, der so-

wohl Nutzsignal als auch alle Rauschanteile gleichermaßen verstärkt. Mit dem Betrieb einer Relay-Basisstation erhöht sich jedoch nicht die Netzkapazität, da sie einen Teil der Kapazität der Donor-Zelle für ihren Bereich abzweigt. Es wird lediglich die Kapazität einer LTE-Zelle gleichmäßiger über ihren Abdeckungsbereich verteilt.

Die Relay-Basisstation verfügt über zwei Luftschnittstellen. Die Anbindung an das LTE-Kernnetz erfolgt über die Un-Schnittstelle und wird als Backhaul-Verbindung (Backhaul-Link) bezeichnet. LTE-Endgeräte im Einzugsbereich der Relay-Basisstation nehmen über die Uu-Luftschnittstelle auf. Diese Schnittstelle wird als Zugangsverbindung (Access-Link) bezeichnet. Wie bei einem gewöhnlichen Repeater sollten Backhaul- und Access-Link weitestgehend entkoppelt sein. Für die Entkopplung können unterschiedliche Frequenzen verwendet werden (Outband-Relay). Beide Links können aber auch die gleiche Frequenz verwenden (Inband-Relay). Dann muss die Entkopplung durch räumliche und zeitliche Trennung der Signale erfolgen. Verwendet man an der Relay-Basisstation Antennen mit starker Richtwirkung, so können die

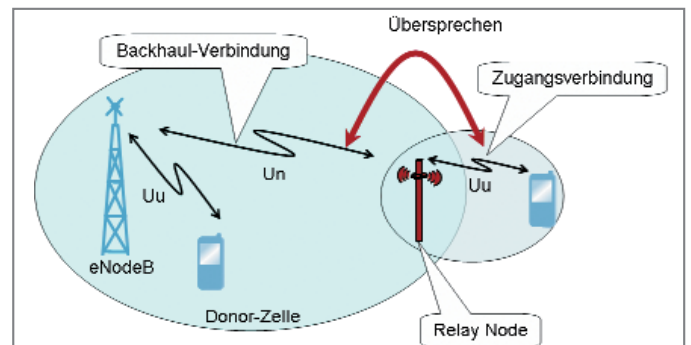


Bild 5: Relay-Basisstation

Signale räumlich sehr gut getrennt werden. Die zeitliche Trennung der beiden Signale ist wesentlich aufwendiger. Im Uplink kann die Übertragung im Access-Link jederzeit unterbrochen werden, da die in der Relay-Zelle eingebuchten Endgeräte nur auf Anforderung der Relay-Basisstation senden dürfen. Im Downlink dagegen kann die Übertragung nicht ohne weiteres unterbrochen werden, da zumindest die LTE-R8-Endgeräte die kontinuierli-

che Übertragung von Referenz- und Steuersignalen vom Netz erwarten. LTE bietet jedoch die Möglichkeit eines Multimedia-Broadcast-Dienstes (MBMS). Wenn die Relay-Basisstation nun den eingebuchten Endgeräten diesen MBMS vortäuscht, ignorieren die Endgeräte die Downlink-Signale in bestimmten Zeitabschnitten. Auf diese Weise kann die Übertragung im Downlink regelmäßig unterbrochen werden.

Die Relay-Basisstation erfordert auch neue Ansätze für die Sicherheit, da sie einen neuen Angriffspunkt im LTE-Netz darstellt. Daher wurde ein neuer Einbuchungsvorgang für Relay-Basisstationen definiert, durch den verhindert werden soll, dass diese unberechtigterweise in ein LTE-Netz eingefügt werden. So muss eine Relay-Basisstation wie ein Endgerät mit einer USIM-Karte ausgestattet sein. Die Berechtigung dieser USIM wird ebenfalls in der Nutzerdatenbank des LTE-Netzes hinterlegt.

Ausblick

Das räumliche Multiplexen ist eine wichtige Möglichkeit zur Steigerung der Datenrate im Mobilfunk. Die Leistungsfähigkeit dieser Multiantennentechnik hängt dabei stark vom tatsächlichen Design der Antennensysteme ab. Es gilt der Grundsatz: Einzelne Antennenelemente sollten sich räumlich oder durch die Polarisation von den anderen Antennenelementen möglichst stark unterscheiden. Dem Antennendesign sind dabei an den einzelnen Mobilfunkstandorten enge Grenzen gesetzt. Eine Lösung dieses Dilemmas bietet die kooperierende Multipunktübertragung (CoMP), bei der die Antennensysteme an verschiedenen Mobilfunkstandorten logisch zusammengefasst und gemeinsam für die Übertragung von und zu einem Endgerät genutzt werden. Dieser Ansatz wird bereits bei UMTS im Rahmen des Softhandovers genutzt. Eine Herausforderung besteht dabei darin,

dass die kooperierenden Basisstationen durch möglichst verzögerungsfreie Leitungen miteinander verbunden werden müssen. Außerdem müssen Daten für die Endgeräte mehrfach im Backhaul-Netz übertragen werden. Damit steigt die erforderliche Anschlusskapazität für Mobilfunkstandorte stark an. Der technische Aufwand hält sich in Grenzen, solange die Kooperation zwischen benachbarten Sektoren eines einzelnen Mobilfunkstandortes stattfindet. Seit einigen Jahren wird intensiv nach wirtschaftlich machbaren Konzepten bei der kooperierenden Multipunktübertragung geforscht. Weltweit beachtet wurde hierbei u.a. die im Jahr 2010 veröffentlichte Studie der EASY-C-Kooperation (NET 9/2009, Seiten 36 - 38, NET 6/2010, S. 31) Netzbetreiber stehen dieser Technik aber weiterhin sehr skeptisch gegenüber. Sicher mit ein Grund, warum die Technik erst im 3GPP Release 11 aufgegriffen wird.

Aufgrund der zunehmenden Knappheit der Frequenzressourcen erfährt auch die Diskussion um Cognitive Radio immer mehr Auftrieb. Cognitive Radio prüft die Verfügbarkeit von Frequenzen, die sporadisch von anderen Funksystemen verwendet werden und nutzt diese ggf. mit. Das gesamte Frequenzspektrum wird damit wesentlich effektiver genutzt.

Die Netzbetreiber stehen vor der großen Herausforderung, die Mobilfunkdienste immer kostengünstiger anzubieten. Diesem Kostendruck wurde in der 3GPP-Standardisierung vor allem auch durch die Einführung von Self-Organizing Networks (SON) Rechnung getragen. Die SON-Features werden schrittweise in LTE eingeführt und dienen vor allem der Automatisierung von Planungs-, Integrations- und Optimierungsprozessen. So ist es z.B. inzwischen möglich, dass eine LTE-Basisstation mit Hilfe der in ihr eingebuchten Endgeräte selbstständig neue Nachbarzellen erkennt und konfiguriert. Mit LTE Advanced sollen eingebuchte Endgeräte zusätzlich zu den Pegelmesswerten auch ihre jeweiligen GPS-Koordinaten an das LTE-Netz übermitteln. Der Netzbetreiber erspart sich dadurch aufwendige Qualitätsmessungen. (bk)

+++ Vor dem Hintergrund, dass viele Regierungen

LTE-News

beabsichtigen, unfaire Steuern auf ITK-Equipment- und -Services zu reduzieren bzw. sogar abzuschaffen, rief der Generalsekretär der ITU Dr. Hamadoun Touré alle Mobilfunknetzbetreiber auf, den Launch von **IMT-Advanced-Netzen** zu beschleunigen.

+++ Selbst die eigenen Experten staunten, als Nokia Siemens Networks Anfang Februar den **Datenübertragungsrekord** in einem LTE-Advanced-System (Flexi Multiradio 10 Base Station) im 100-MHz-Spektrum einstellte. Der erreichte Spitzenwert lag bei 1,429 Gbit/s.

+++ Auf dem MWC 2012 in Barcelona zeigte Ericsson eine neuartige **Lösung zur Richtfunkanbindung** zwischen LTE-Main- und Remote-Units. Bei vorhergehenden Versuchen kamen MINI-LINK-PT-Funkeinheiten zum Einsatz, die im Frequenzbereich von 70 bis 80 GHz arbeiten. Datenübertragungsraten von bis zu 2,5 Gbit/s sollen hiermit möglich werden.

+++ Huawei präsentierte auf dem MWC das nach eigenen Angaben weltweit erste System für LTE-Advanced

Inter-Band CA (Carrier Aggregation). Die Lösung soll die Ausnutzung diskontinuierlicher Frequenzspektren verbessern und zugleich die Peak-Raten sowie den Netzdurchsatz steigern.

+++ Der 1. März war der **Verkaufstart** für das erste LTE-Smartphone bei Vodafone. Das HTC Velocity 4G ist zuerst in den Vodafone-Shops in Düsseldorf erhältlich und wird in den nächsten Wochen in weiteren Filialen ins Angebot aufgenommen.

+++ Ab 2. Juli geht O2 mit **LTE-Tarifangeboten** für Tablets, Surfsticks, Netbooks und Smartphones an den Start. Der Fokus liegt 2012 im Ausbau sog. Highspeed-Areas um Berlin, München, Hamburg, Frankfurt, Dresden, Hannover, Leipzig, Nürnberg sowie dem Rhein-Ruhr-Gebiet. Dann können auch erstmals Selbstständige, Freiberufler und Unternehmen die Tarife für mobiles LTE buchen.

+++ Das Broadband Forum veröffentlichte am 7. Februar die **Broadbandsuite 6.0**. Sie versorgt Service Provider mit den nötigen Tools für eine schnelle und effektive Migration hin zu 4G/LTE-Netzen.

+++ Das Broadband Forum veröffentlichte am 7. Februar die **Broadbandsuite 6.0**. Sie versorgt Service Provider mit den nötigen Tools für eine schnelle und effektive Migration hin zu 4G/LTE-Netzen.