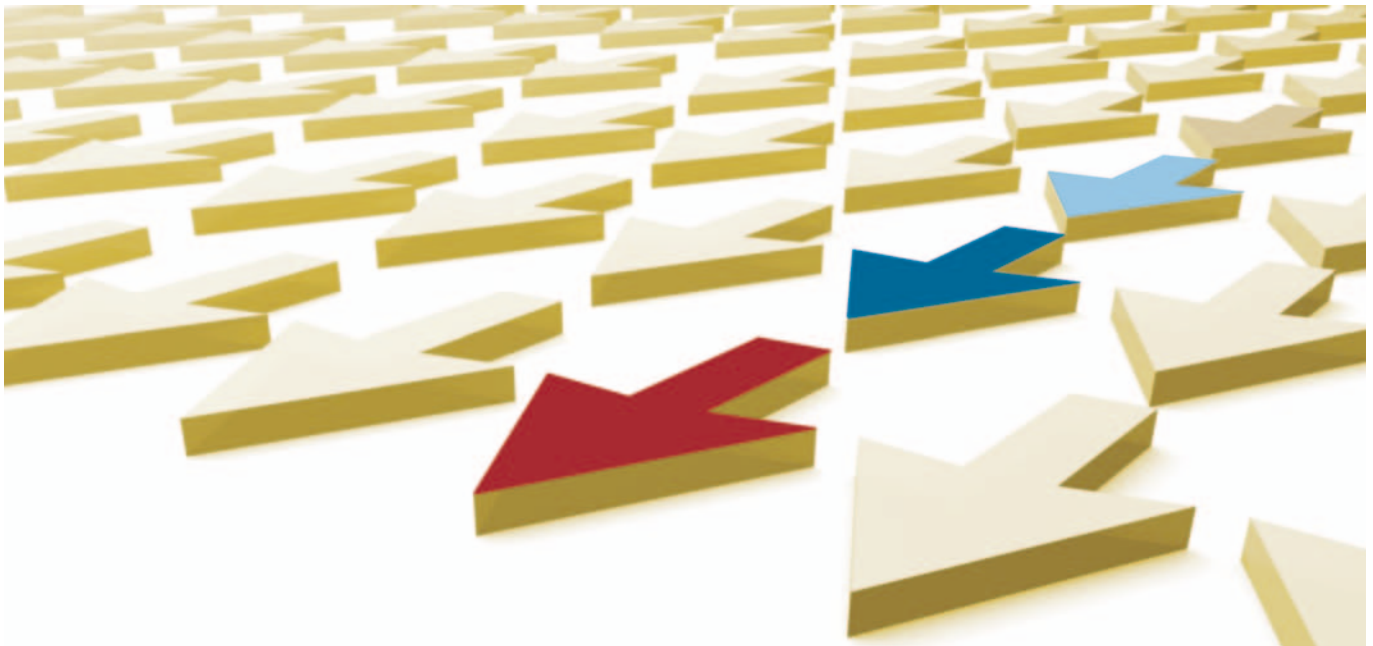


SCHWERPUNKT LTE

Franz Büllingen

MOBILFUNK: DYNAMIK UND PERSPEKTIVEN DER NETZENTWICKLUNG IM LICHT VON LTE



In weniger als zwei Jahrzehnten wurde im Mobilfunk eine der bedeutendsten Erfolgsgeschichten der Marktdurchdringung moderner Kommunikationstechnologien geschrieben: Weder der Rundfunk noch das Internet können auf eine ähnlich dynamische und schnelle Diffusion und Adoption durch die bundesdeutschen Haushalte zurückblicken. Dabei wurden bereits bei der 1. Mobilfunkgeneration die Muster der Marktpenetration des Mobilfunks erkennbar: dem Netzauf- und Netzausbau folgte ein starker Anstieg des Verkehrswachstums, das zu entsprechenden Kapazitätsengpässen führte. Hierauf reagierten die Netzbetreiber dann mit der Einführung neuer, leistungsfähigerer Mobilfunkstandards.

Heute sehen Experten in der Penetrationsrate von 87% (Statistisches Bundesamt 2009) und annähernd 110 Millionen aktiven SIM-Cards (BNetzA März 2010) zwar erste Anzeichen einer Marktsättigung, aber es ist sehr wahrscheinlich, dass der Trend zum Zweit- und Drittgerät, attraktive Dienste, Machine2Machine-Kommunikation sowie das Internet der Dinge auch in den nächsten Jahren starke Wachstumsimpulse induzieren werden. Dies wirft die Frage auf, wie sich der Mobilfunk - nicht zuletzt durch den neuen Standard LTE (Long Term Evolution) – auf dem Weg nach 4G entwickeln wird.

Die Netze der 1. Mobilfunkgeneration

Während das A- und das B-Netz in den 70er und 80er Jahren durch die hohen Kosten für Endgeräte und Dienste nur einer exklusiven Gruppe von Geschäftskunden vorbehalten blieben und technisch als unausgereift und störanfällig galten, gilt das C-Netz, mit dessen Aufbau 1984 begonnen wurde, bereits als ein ausgereiftes analoges Mobiltelefonnetz. Es erreichte beinahe bundesweite Flächendeckung und zeichnete sich gegenüber den Vorgängernetzen durch einen wesentlich schnelleren Verbindungsaufbau bei deutlich verbesserter Sprachqualität aus. Durch das C-Netz kamen erstmals größere Teile der Bevölkerung mit dem Mobilfunk in Berührung und das öffentliche Interesse stieg: Eine Preissenkung 1991 löste einen wahren Mobiltelefon-Boom aus und fast 800.000 Teilnehmer unterzeichneten binnen weniger Monate einen Vertrag. Die dadurch ausgelösten Kapazitätsengpässe führten dazu, dass das C-Netz auf Kleinzellentechnik umgerüstet wurde, um auf die große Nachfrage zu reagieren. Dabei wurde die Anzahl der Funkstationen gegenüber der ursprünglichen Planung auf mehr als 2.000 erhöht. Auch konnte durch diese Maßnahme die hohe Sendeleistung der Endgeräte, die ursprünglich bis zu 15 Watt betrug, deutlich

verringert werden. Binnen weniger Jahre entwickelte sich der Mobilfunk zu einem wichtigen Umsatzträger und stieß so die weiteren Ausbaupläne der Netzbetreiber an.

Mit der 2. Generation zur Vollversorgung

Vor dem Hintergrund des Erfolgs des C-Netzes wurde 1992 mit dem wettbewerblichen Aufbau der digitalen D1- und D2-Netze sowie, zwei Jahre später, mit den E1- und E2-Netzen nach dem GSM- bzw. DCS-Standard begonnen. Mit GSM wurde erstmals der Anspruch eines europaweit und grenzüberschreitend verfügbaren Mobilfunksystems im 900 bzw. 1.800 MHz-Bereich realisiert.

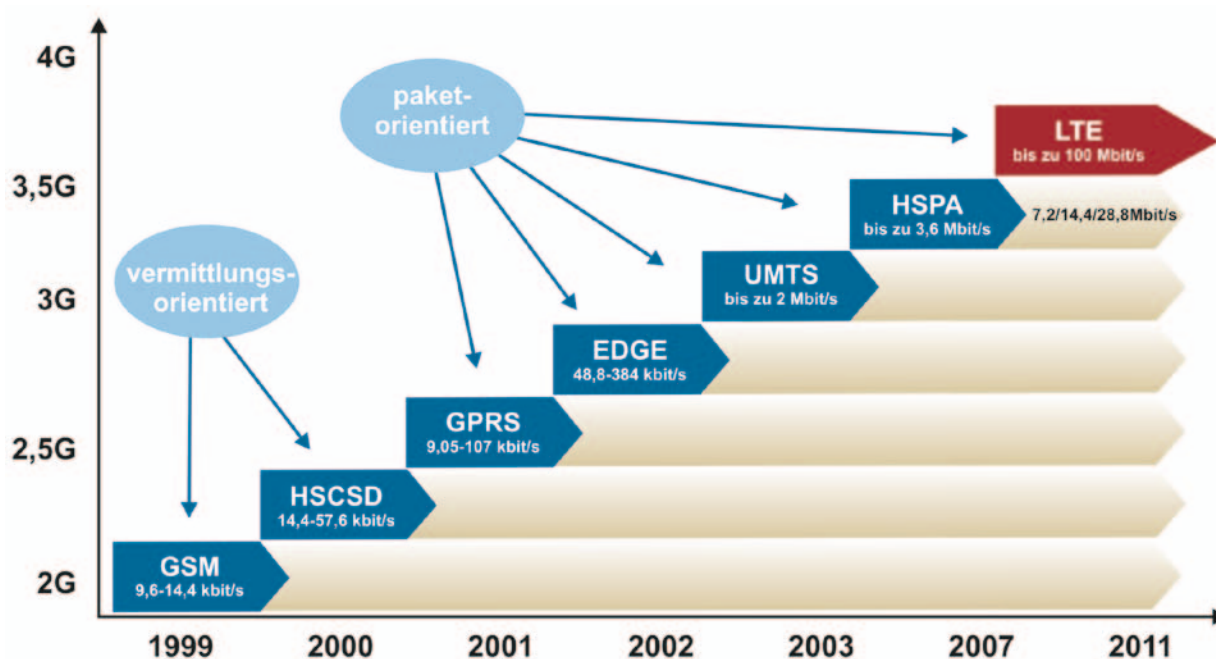
Die Zellradien bei GSM betragen zwischen 2 und 35 km, wobei die maximale Sendeleistung der Endgeräte mit 2 Watt nur noch ein Bruchteil der Vorgängertechnologie beträgt. Insgesamt betreiben die vier GSM-Netzbetreiber in Deutschland zusammen heute rund 46.000 Antennenstandorte bei einer annähernd flächendeckenden Versorgung. Während zu Beginn der 90er Jahre von einer eher begrenzten Marktpenetration von höchstens 20% oder 30% der Gesamtbevölkerung ausgegangen wurde, entwickelte sich die Mobilfunktelefonie ab Mitte der 90er Jahre mit einer beispiellosen Dynamik: Durch erschwingliche und attraktive Endgeräte sowie immer günstigere Tarifmodelle stieg die Zahl der Mobilfunkkunden bis zur Jahrtausendwende

auf 48 Millionen. Nicht zuletzt der Erfolg des Short Message Service (SMS) – der selbst die Netzbetreiber überraschte – führte dazu, dass sich das Mobilfunktelefon in wenigen Jahren vom exklusiven Luxusgut zum alltäglichen und unverzichtbaren Gebrauchsgegenstand wandelte.

Die 2G-Mobilfunknetze haben mittlerweile einen hohen Ausbaugrad erreicht. Durch die schrittweise Aufrüstung mit den 2.5 Technologien HSCSD, GPRS sowie EDGE wurden die ursprünglichen Übertragungsraten sukzessive von 14,4 kbit/s auf heute 220 kbit/s angehoben. Sie ermöglichen damit für die meisten Anwendungen eine komfortable Konnektivität auch außerhalb der städtischen Ballungsräume. Für komplexere Internetanwendungen hat sich 2,5G jedoch als ungeeignet erwiesen, wie das Scheitern der WAP-Portale zeigt. Es ist davon auszugehen, dass mit dem Auslaufen der GSM-Lizenzen im Jahr 2016 die Frequenzen durch Re-Farming (Neuverteilung) im Rahmen eines bis dahin zu etablierenden 4G-Standards neu alloziert werden.

Mit UMTS ins mobile Internet

Bei den seit 2002 ausgerollten Funknetzen der 3. Generation (UMTS) haben die Netzbetreiber fortlaufend große Investitionen getätigt, um die Flächenabdeckung voranzutreiben und um die Kapazitäten für die Datenübertragung zu erhöhen. Vor al-



Quelle: WIK Consult

Abb. 1: Standards und Bandbreitenentwicklung in den Mobilfunknetzen

lem in den dicht besiedelten Regionen wurden die Netze in den letzten vier Jahren auf Grund der steigenden Nachfrage nach Verkehrsleistungen durch High Speed Downlink Packet Access (HSDPA, Rel. 5-9, HSPA+) nachgerüstet. Die hierdurch erreichbaren Datenraten betragen 2010 im Downlink bis zu 7,2 MBit/s und liegen damit für einen einzelnen Nutzer in einer Funkzelle fast auf DSL-Niveau. Der Ausbau der 3G-Netze gilt daher durch die sukzessive Ausschöpfung der Leistungsreserven als inzwischen weit fortgeschritten. Bezogen auf die Bevölkerung erreicht die Netzabdeckung je nach Netzbetreiber bis zu 85%.¹

Insgesamt zeigt diese Entwicklung, dass die kontinuierliche Migration (Weiterentwicklung) der Mobilfunknetze hin zu höheren Bandbreiten und die Implementierung neuer Modulationsverfahren noch lange nicht zum Stillstand gekommen sind. Mit Beginn der neuen Dekade sehen die Planungen der Netzbetreiber vor, durch weitere Ausbauschnitte (UMTS 3.5) die Übertragungsgeschwindigkeiten bis zum Jahre 2012 weiter zu erhöhen. Im Downlink sollen dann im praktischen Betrieb Datenraten von bis zu 50 MBit/s pro Zelle möglich werden. Um diese Kapazitäten zu erreichen, müssen die Netze in den Ballungsgebieten dichter geknüpft und die Anzahl der Standorte erhöht werden.

Ähnlich wie schon bei den 2G-Netzen darf jedoch nicht übersehen werden, dass Kapazitätserhöhungen in Mobilfunknetzen stets eine Angebot-Nachfrage-Spirale in Gang gesetzt haben, bei der die Netzbetreiber durch entsprechende Tarifmodelle und neue Dienstangebote Anreize setzen, um neue Erlösquellen zu erschließen, was wiederum eine Erhöhung der Netzauslastung zur Folge hat. Dies bedeutet, dass Kapazitätserweiterungen in den Netzen in überschaubaren Zeiträumen stets durch das steigende Verkehrswachstum aufgezehrt werden. So ist zum Beispiel nach Angaben der Bundesnetzagentur (BNetzA) das Datenvolumen in deutschen Mobilfunknetzen von 3,5 Millionen GByte im Jahr 2007 auf 33,5 Millionen GByte in 2009 angestiegen und eine stetig wachsende Zahl smarter Endgeräte wird diesen Trend weiter verstärken.

Im Zuge steigender Nutzerzahlen, sinkender Tarife, günstiger Flatrates², der Ausstattung von Smartphones und Laptops mit UMTS-Funkschnittstellen sowie immer attraktiveren und Bandbreite-konsumierenden Diensten³ wird ein enormes Verkehrswachstum induziert, das tendenziell zu Kapazitätsengpässen führen und die Attraktivität hochbitratiger Anwendungen – ohne entsprechende Erweiterungs- und Neubaumaßnahmen – künftig immer häufiger beeinträchtigen wird. Daher kommt LTE bzw. LTE-Advanced im Rahmen einer zukünftigen 4G-Netzstrategie

¹ Vgl. Tätigkeitsbericht der BNetzA 2008 / 2009.

² Monatliche Flatrates sind heute (Ende 2010) für unter 20 Euro erhältlich, Tagesflatrates für unter 2 Euro. Der durchschnittliche Preis je Megabyte ist damit innerhalb von nur zwei Jahren um den Faktor 4 gesunken.

³ So verkündete z. B. die Firma Apple im Januar 2011, dass seit Gründung des sog. Apps-Store binnen dreier Jahre 10 Milliarden Apps herunter geladen wurden.

ENDGERÄTE- UND NUTZERTYP	INDUZIERTER VERKEHRSMENGE PRO MONAT
Marktübliches 3G-Handy	10-20 MByte
Blackberry	25 MByte
Smart Phone	50 MByte
iPhone	200 - 250 MByte
UMTS Dongle/Notebook	800 MByte

Quelle: PWC-Analysis/WIK Consult

Abb. 2: Endgeräte- und Nutzertypen bestimmen den induzierten Verkehr

eine zentrale Rolle zu. Das bedeutet auch, dass die Netze nicht nur immer leistungsfähiger, sondern auch immer dichter geknüpft werden müssen.

LTE als mobiles Hochgeschwindigkeits-Breitbandnetz

Vor dem Hintergrund der stark wachsenden Verkehrsanforderungen hat die BNetzA 2010 in großem Umfang neue Frequenzen in den Bereichen 1,8 GHz, 2 GHz sowie 2,6 GHz versteigert. Mit insgesamt 360 MHz wurde rund zweieinhalb Mal soviel Spektrum versteigert wie bei der viel beachteten UMTS-Auktion im Herbst 2000, bei der insgesamt 145 MHz für beinahe 50 Milliarden Euro auktioniert wurden. Mit diesem Kapazitätswachstum wurden die Weichen für ein mobiles Hochgeschwindigkeitsbreitbandnetz gestellt.

Zusammen mit einer hocheffizienten Nutzung des vorhandenen Spektrums werden mit Hilfe von LTE Übertragungsraten von über 100 Mbit/s im Downlink und 50 Mbit/s im Uplink ermöglicht. Das theoretische Potenzial bei LTE wird sogar auf bis zu 340 Mbit/s im Download pro Zelle geschätzt. Der neue Standard ist verbunden mit einer flacheren All-IP-basierten Architektur, einem Qualitätsmanagement (QoS), einer einfacheren Übertragungstechnik sowie einem kostengünstigeren Equipment.

Über die LTE-Netztopologie und den faktischen Mehrbedarf an Basisstationen kann derzeit nur gemutmaßt werden. Setzt sich der Trend hin zu einem immer stärkeren Verkehrswachstum fort, so kann dem nur durch Zellverkleinerung mit einer entsprechenden Vermehrung von Basisstationen oder durch verkehrsdämpfende Maßnahmen (z. B. neue Tarife) begegnet werden. Die GSM- und UMTS-Netze bleiben (bis zur ihrer sukzessiven Verschmelzung mit 4G) bestehen, so dass ein großer Teil der bisherigen Standorte für die LTE-Netze mitgenutzt werden kann. Mit ihrem Aufbau wurde im Herbst 2010 begonnen. Endgeräte mit Sprachfunktionalität hingegen werden kaum vor 2012 verfügbar sein.

Besonders vorteilhaft für die Anwender wirkt sich aus, dass sich die gefühlte Geschwindigkeit (Latenzzeit) durch den kontinuierlichen Aus- und Neubau der Funknetze bereits deutlich verbessert hat und noch weiter zulegen wird. Beträgt die Latenzzeit bei GPRS ca. 500 ms und bei UMTS ca. 150 ms, so wurde sie mit der Einführung von HSPA auf 100 ms abgesenkt. Bei LTE wird sie gerade noch 20 ms betragen. Damit werden mobile Anwendungen ermöglicht, deren Qualität in besonderem Maße von schnellen Reaktionszeiten und hohen Übertragungsleistungen der Netze abhängig ist.

Nutzung der Digitalen Dividende

Durch die Frequenzversteigerung wurden nicht nur Hoffnungen bezüglich der Verbesserung der Angebotsqualität, sondern auch Erwartungen hinsichtlich der Nutzung der sogenannten Digitalen Dividende für die Breitbandversorgung der ländlichen Räume geweckt. Nach einem Beschluss der World Radio Conference 07 (WRC 07) soll der obere Teil der bisher für Rundfunk genutzten UHF-Frequenzen (790 bis 862 MHz) für Mobilfunk umgenutzt werden. Die Frequenzen im UHF-Band sind für mobile Funkanwendungen besonders gut geeignet, da die physikalischen Signalausbreitungseigenschaften sehr viel größere Zellradien und somit eine kostengünstigere und beinahe flächendeckende Versorgung ländlicher Regionen mit Mobilfunk-basiertem Breitbandinternet ermöglichen würden. In den Städten würde sich die

Digitale Dividende vor allem in Form von höheren Kapazitäten und einer Verbesserung der Indoor-Versorgung bemerkbar machen. Auf Grund der Anpassung des bundesdeutschen Frequenznutzungsplans an die Vorgaben der WRC 07 wurden bei der oben erwähnten Auktion auch Frequenzen im Bereich von 800 MHz versteigert. Die Frequenzzuteilungsinhaber sind verpflichtet, in allen Bundesländern einen Versorgungsgrad von mindestens 50 Prozent der Bevölkerung in den von den einzelnen Bundesländern benannten Städten und Gemeinden bis 2016 zu gewährleisten.

Da der Ausbau nicht- bzw. schlechtversorgter ländlicher Regionen mit wirtschaftlichen Risiken behaftet ist, wird derzeit mit Zustimmung der BNetzA sowie des Kartellamtes eine regionale Kooperation der Netzbetreiber diskutiert. Das LTE-Kooperationsmodell sieht vor, dass die Netzbetreiber mitteilen, in welchen Regionen sie ausbauen möchten. Jene Regionen, die keinen Breitbandanschluss besitzen und von keinem Unternehmen versorgt werden, sollen unter Aufsicht von BNetzA und Kartellamt zwischen den Anbietern aufgeteilt werden. Dies würde in diesen Regionen zum Aufbau von wenigstens einem Netz führen. Ob somit durch LTE auch die letzten weißen Flecken eine Abdeckung erhalten werden, bleibt demnach ein (derzeit noch offenes) Ergebnis der Umsetzung dieses Kooperationsmodells.



Autor



Dr. Franz Büllingen leitet die Abteilung Kommunikation und Innovation beim Wissenschaftlichen Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) und ist seit vielen Jahren u. a. mit der Analyse von Marktstrukturen und neuen Anwendungen im Mobilfunksektor sowie der Risikokommunikationsforschung beschäftigt.

Kontakt:

Dr. Franz Büllingen

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und
Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Straße 68

53604 Bad Honnef

Tel.: 02224-9225-50

E-Mail: f.buellingen@wik.org

Web: <http://www.wik-emf.org>