

■ Daten, dicht gepackt

Hohe Datenraten im Mobilfunk sind nur mit ausgeklügeltem Multiplexing erreichbar. In jeder Mobilfunkgeneration kommt ein anderes Verfahren zum Einsatz.

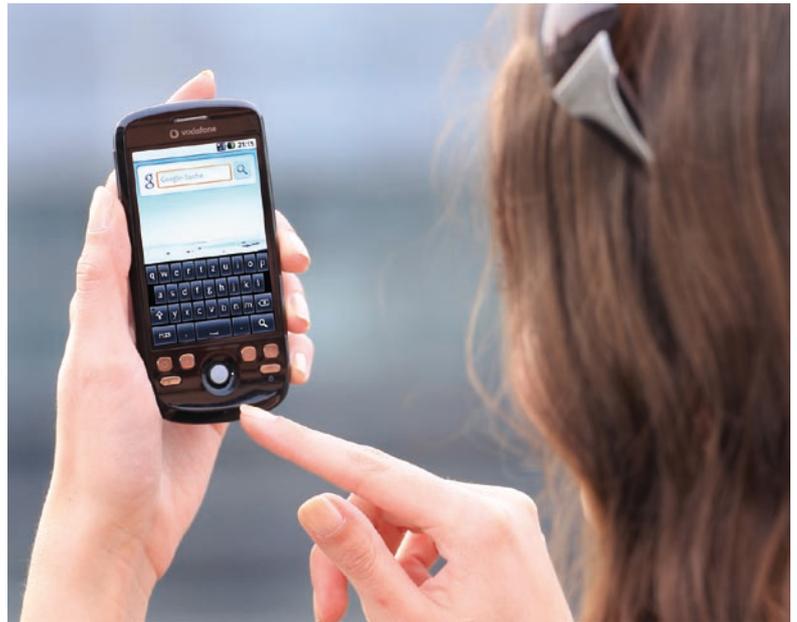
#) GPRS: General Packet Radio Service, EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution

Deutschland ist noch immer ein geteiltes Land beim Breitbandinternet. Die Grenze verläuft allerdings nicht zwischen Ost und West, sondern zwischen Stadt und Land: In Ballungsräumen sind hohe Surfgeschwindigkeiten selbstverständlich, in manch ländlicher Region gibt es dagegen bislang kein DSL übers Festnetz. Der Mobilfunkstandard der vierten Generation, LTE (Long Term Evolution), soll die Versorgungslücke schließen: Bis Ende des Jahres wollen die Mobilfunkanbieter damit einen Großteil der „weißen Flecken“ bei der Breitbandversorgung tilgen.

LTE ist der bislang jüngste Spross unter den Mobilfunktechnologien: In Deutschland begann der digitale Mobilfunk 1992 mit GSM (Global System for Mobile Communications), 2004 folgte UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), nun ist LTE dran. Der Standard soll keineswegs die anderen Mobilfunktechnologien ersetzen, sondern sie ergänzen.

Grund der neueren Entwicklungen im Mobilfunk ist letztlich die steigende Zahl der Nutzer und deren Bedürfnis nach höheren Datenraten. Dabei kommt Multiplexing zum Einsatz, um möglichst viele Signale über die begrenzte Bandbreite per Funk simultan zu übertragen. Multiplex bündelt also mehrere Signale, Daten und Gespräche. Jeder Mobilfunkstandard verwendet ein anderes Verfahren.

GSM zum Beispiel arbeitet mit einem kombinierten Frequenz- (FDMA: Frequency Division Multiple Access) und Zeitmultiplex-



Vodafone

Jede Mobilfunkgeneration arbeitet mit einem anderen Multiplexverfahren. Für den Nutzer macht sich das nicht zuletzt

in unterschiedlich hohen Datenraten bemerkbar.

verfahren (TDMA: Time Division Multiple Access) (Abb. 1). Per FDMA wird die zur Verfügung stehende Bandbreite in Frequenzkanäle unterteilt und jedem ein Signal zugeordnet. Die einzelnen Kanäle stören sich dadurch nur kaum. Eine Analogie ist die Hundepfeife: Herrchen oder Frauchen hören sie nicht, der Hund sehr wohl. Der Besitzer kann sich also mit jemand anderem unterhalten, ohne dass ihn der Pfiff stört. Jeder dieser Kanäle, die durch FDMA entstanden sind, wird dann per TDMA in Zeitabschnitte unterteilt, um die Daten verschiedener Mobilfunknutzer auf einem Kanal zu übertragen. Eine Analogie hierfür ist ein Parlamentsdebatte, in der den Politikern eine definierte Redezeit zusteht. So kommt jeder

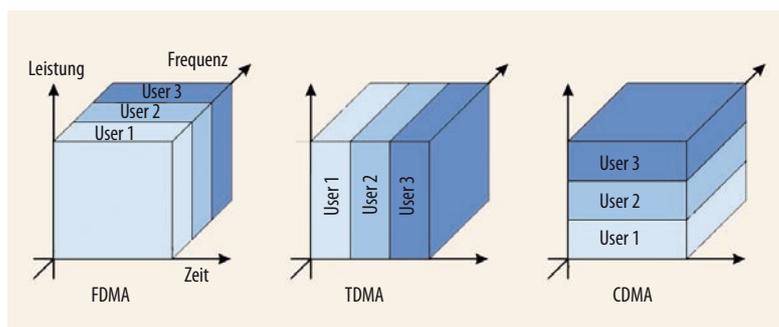
zu Wort, ohne den anderen zu beeinträchtigen.

Die Trägerfrequenzen haben bei GSM jeweils eine Bandbreite von 200 kHz und sind in acht Zeitabschnitte unterteilt. Die maximale Datenrate betrug ursprünglich 9,6 kbit/s – dank veränderter Codier- und Modulationsverfahren sowie Kanalbündelung erreichen die Dienste der zweiten Mobilfunkgeneration inzwischen maximal 171 kbit/s (GPRS) bzw. 480 kbit/s (EDGE).^{#)}

Mit GSM wollten die Mobilfunkanbieter in erster Linie bei einer festen Datenrate für die Telefonie eine vollständige Flächenabdeckung in Deutschland erreichen. Der mobile Zugriff auf das Internet spielte erst bei den Weiterentwicklungen GPRS und EDGE eine Rolle – und natürlich bei UMTS.

Der Mobilfunkstandard der dritten Generation ermöglicht eine große Zahl gleichzeitiger und trotzdem störungsarmer Verbindungen zur Datenübertragung und erweitert die Kapazität der Funkzellen. UMTS nutzt als Multiplexverfahren für die Übertragung CDMA (Code Division Multiple

Abb. 1 Die verschiedenen Multiplexverfahren übertragen größere Informationsblöcke mehrerer Nutzer verteilt auf Frequenzen, kleine Zeitfenster oder speziell kodiert quasi simultan.



Access), das die gleichzeitige Übertragung verschiedener Datenströme auf einem gemeinsamen Frequenzbereich erlaubt. CDMA verschmiert („spreizt“) gezielt ein schmalbandiges zu einem breitbandigen Signal. Das Gesamtsignal in einer Funkzelle setzt sich dann aus der Überlagerung der gespreizten Teilnehmersignale zusammen. Ihnen aufgeprägt sind jeweils spezifische Codes, anhand derer der Empfänger in der Basisstation die einzelnen Datenströme wieder unterscheiden und einem Demultiplex unterziehen kann. Eine Analogie für CDMA ist ein Stimmengewirr verschiedener Sprachen, aus dem man trotzdem seine Muttersprache heraushören kann.

UMTS nutzt so die zur Verfügung stehende Bandbreite von 5 MHz viel effektiver aus als GSM, wo gewisse Abstände zwischen den benachbarten Kanälen zwingend erforderlich sind. Bei GSM ist das Frequenzband ja gerade deswegen aufgeteilt, um Störungen zu vermeiden. Die maximale Datenrate von UMTS erreicht 384 kbit/s pro Nutzer – mit einer Weiterentwicklung bis zu 14,4 Mbit/s.^{%)} Weitere Steigerungen sind möglich.

Eine technische Herausforderung bei CDMA sind Reflexionen des Sendesignals, die zum Empfänger gelangen und Übersprechen verursachen. Die erforderliche Entzerrung im Zeitbereich ist zwar

möglich, aber der Aufwand dafür steigt kubisch mit der Bandbreite.

Bei der neuen Mobilfunktechnik LTE ist dieses Problem entschärft, da die Entzerrung im Frequenzbereich erfolgt und der Rechenaufwand dort nur noch linear mit der Bandbreite steigt. LTE arbeitet mit dem Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM, einer Variante des Frequenzmultiplex: Die Signale werden dazu transformiert und auf mehrere schmalbandige Unterträger – Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz – verteilt. Im Frequenzbereich reiht man die Unterträger so aneinander, dass das Maximum eines Signals über den Nullstellen aller anderen Signale zu liegen kommt. Mathematisch gesprochen stehen die Unterträger somit orthogonal zueinander. Die mit den Datensignalen modulierten und einander überlagerten Sinusschwingungen werden im Zeitbereich übertragen. Das Demultiplex am Empfänger erfolgt durch Transformation in den Frequenzbereich. In Anlehnung an die Analogie mit der Hundepfeife beim Frequenzmultiplex könnte man bei OFDM von einer Hundepfeife sprechen, die ein Mensch zwar hören kann, ohne dass sie ihn jedoch beim Gespräch stört.

LTE ist der erste Mobilfunkstandard in Deutschland, bei dem die Telefonie eindeutig in den Hintergrund rückt. Hohe Datenraten sind

das Ziel, wobei je nach Anwendung zwischen 1,4 und 20 MHz zur Verfügung stehen. Die kommerziell angebotenen Datenraten liegen derzeit zwischen 3 und 50 MBit/s, im Labor wurden schon bis zu 300 Mbit/s erreicht. Künftig sollen die Datenraten durch Bündelung der LTE-Frequenzbänder noch weiter steigen.

Die Datenrate per Funk lässt sich jedoch nicht beliebig erhöhen, das erkannten bereits die beiden amerikanischen Elektroingenieure Claude Elwood Shannon und Ralph Hartley in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Denn die Frequenzbandbreite und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis beschränken die Datenübertragung, zumindest wenn sie mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit fehlerfrei sein sollen. Die Frequenzbandbreite hängt mit der Datenrate aufgrund der Unschärferelation zusammen, denn Datenpakete sind letztlich Wellenpakete einer bestimmten zeitlichen Länge. Je höher die Datenrate, desto kürzer die Wellenpakete, die dann aber im Frequenzbereich eine größere Bandbreite beanspruchen. Dank geeigneter Modulationsverfahren lässt sich die verfügbare Bandbreite zwar recht effizient ausnutzen, aber aufgrund des endlichen Signal-zu-Rausch-Verhältnisses gibt es hier eine grundlegende Grenze.⁺⁾

Michael Vogel

%) HSPA: High Speed Packet Access

+) Dr. Volker Jungnickel vom Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, Berlin, und Dr. Thomas Rechenbach von der tfk technologies GmbH, München, danke ich für wertvolle Hinweise.

Michael Vogel,
vogel_m@gmx.de