

Technik mobiler Kommunikationssysteme

Mobilfunk ist für viele Menschen heute zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Auch mobile Datendienste erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Aber wie funktionieren diese mobilen Kommunikationssysteme? Und was steckt hinter Abkürzungen wie GSM, UMTS oder LTE?

Chancen mobiler Kommunikation

Die Art und Weise wie wir die mobilen Kommunikationstechniken nutzen hat sich in den letzten Jahren stark verändert. Ob die berufliche Nutzung durch Außendienstmitarbeiter oder Handwerker, der kurze Kontakt von unterwegs mit Familie und Freunden oder die spontane Verabredung, die meisten Menschen haben die mobile Kommunikation bereits fest in ihr Leben integriert. Neben dem Telefonieren mit dem Handy gewinnt die Möglichkeit der mobilen Datenübertragung zunehmend an Bedeutung. Immer mehr Menschen nutzen Textnachrichten, Emails, mobilen Zugriff auf das Internet oder Navigationslösungen. Damit wachsen die Anforderungen an Qualität, Verfügbarkeit und Übertragungsgeschwindigkeit weiter an. Die zunehmenden Datenraten erfordern eine ständige Weiterentwicklung der Technik und des Netzes.

1992 gingen die ersten modernen Mobilfunknetze nach dem GSM-Standard (2G = 2. Generation) an den Start und gewannen schnell viele Millionen Kunden, die ihr Handy für Sprachtelefonie und zum Versand von Kurznachrichten (SMS) nutzten. Mit der UMTS-Auktion (3G) 2001 begann die Zeit der mobilen Datenübertragung, die heute im Zeitalter der Smartphones mit einer intensiven Internetnutzung zu einer wesentlichen Anwendung geworden ist. Effiziente Erweiterungen dieser Systeme wie EDGE, HSPA und HSDPA+ ermöglichen mobile Datenraten, die früher dem Festnetz vorbehalten waren. Seit 2010 erfolgt der rasante Ausbau des Mobilfunks der 4. Generation nach dem LTE-Standard (4G). Während mit EDGE, einer schnelleren Datenübertragungstechnik im GSM-Netz, Übertragungsraten von bis zu 236 kbit/s möglich wurden, sind heute mit UMTS (42 Mbit/s) und LTE Übertragungsraten von bis zu 225 Mbit/s und zukünftig noch mehr möglich. Ergänzend existieren lokal einsetzbare Funktechniken wie WLAN oder Bluetooth.

*Vielfältige
Möglichkeiten
der mobilen
Kommunikation*

Diese mobilen Kommunikationssysteme bieten eine Vielzahl verschiedener Dienste, z.B. Sprachübertragung, Internet und Email oder Multimediaanwendungen. Der Zugriff erfolgt mit verschiedenen Endgeräten, wie Handy, Notebook oder Smartphone und erlaubt heute sogar die direkte Kommunikation zwischen Geräten, der sogenannten Machine to Machine-Kommunikation (M2M). M2M-Technik kommt z.B. bei der direkten Kommunikation von Fahrzeugen zur Verbesserung des Verkehrsflusses, zur Vermeidung von Unfällen und bei Notrufen zum Einsatz.

Abkürzungen	
GSM	Global System for Mobile Communication
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
LTE	Long Term Evolution

Bei aller Vielfalt haben diese mobilen Kommunikationssysteme eines gemein: Sie nutzen hochfrequente elektromagnetische Felder, Funkwellen, zur Übertragung von Daten oder Sprache.

Funkwellen

Jedes elektrische Gerät – wie z.B. ein Rasierapparat, ein Staubsauger oder ein Toaster – erzeugt beim Betrieb elektromagnetische Felder. Sie sind ein physikalisch zwangsläufig entstehendes Nebenprodukt. Für die Informationsübertragung bei Fernsehen, Radio und Mobilfunk sind die elektromagnetischen Felder jedoch unverzichtbar: Sie sind das drahtlose Transportmedium für elektrische Signale zur Übermittlung von Informationen.

*Funkwellen
sind notwendiges
Medium
für mobile
Kommunikation*

In der Physik unterscheidet man elektromagnetische Felder nach ihrer Frequenz. Die Frequenz eines Feldes wird in Hertz (Hz) gemessen. Ein Hertz bedeutet eine Schwingung pro Sekunde. Bis zu einer Frequenz von etwa 10.000 Hertz spricht man vom niederfrequenten Bereich des elektromagnetischen Spektrums, darüber vom hochfrequenten Bereich. Die folgende Tabelle stellt die in Deutschland für den Mobilfunk genutzten Frequenzbänder dar:

System	Frequenzbereich
LTE 700	703 – 798 MHz
LTE 800	791 – 862 MHz
GSM 900	880 – 960 MHz
LTE 1400	1452 – 1492 MHz
GSM 1800	1710 – 1880 MHz
LTE 1800	1710 – 1880 MHz
UMTS 2100	1900 – 2170 MHz
LTE 2600	2500 – 2690 MHz

Physikalisch betrachtet besteht ein elektromagnetisches Feld aus zwei Komponenten: einem elektrischen und einem magnetischen Feld. Die Stärke des elektrischen Feldes wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen, die des magnetischen Feldes in Ampere pro Meter (A/m). Bei hochfrequenten elektromagnetischen Wellen treten elektrisches und magnetisches Feld immer gemeinsam auf. Die Angabe ihrer Intensität erfolgt meistens als Leistungsflussdichte in Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Diese Größe gibt an, welche Energie in einem Zeitintervall auf eine Fläche einwirkt.

Physikalische Einheiten im Überblick		
V/m	Volt pro Meter	Elektrische Feldstärke
A/m	Ampere pro Meter	Magnetische Feldstärke
W	Watt	Leistung
W/m^2	Watt pro Quadratmeter	Leistungsflussdichte

Die Intensität nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab: im doppelten Abstand ist die Intensität noch ein Viertel so groß, im zehnfachen Abstand beträgt sie nur noch ein Hundertstel usw. Nur bei kleinen Abständen zwischen Sender und Empfänger (wie im Mobilfunknetz) reichen daher kleine Sendeleistungen aus. Da die Intensität mit zunehmendem Abstand kontinuierlich kleiner wird, lässt sich ein Sicherheitsabstand festlegen, ab dem die Intensität immer kleiner ist als ein Grenzwert. Je weiter man vom Sender entfernt ist, desto deutlicher wird der Grenzwert unterschritten.

*Felder nehmen
mit dem Abstand
zur Antenne ab*

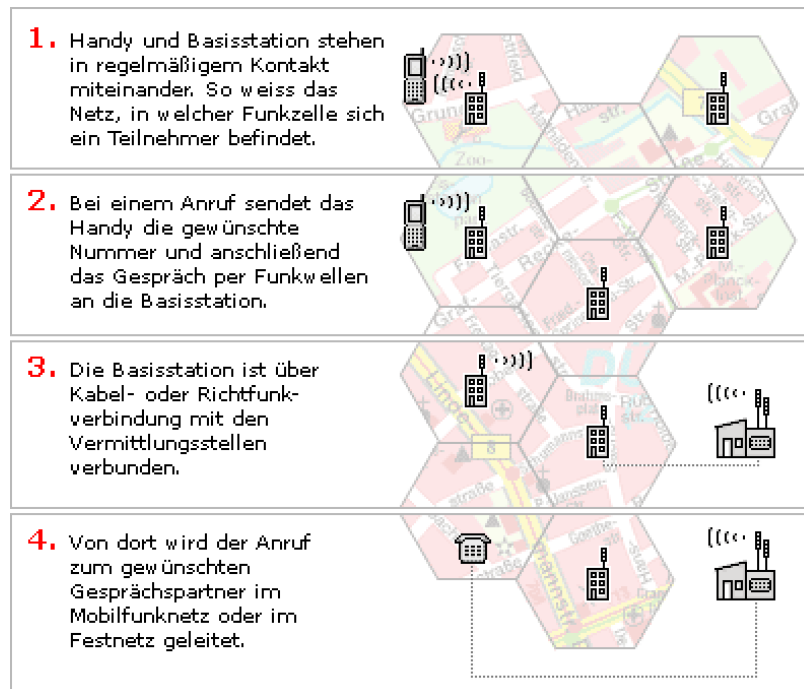
Funkwellen werden durch Absorption in Materialien und durch Reflexion an Außenwänden gedämpft. Die Leistungsflussdichte in Gebäuden ist daher wesentlich geringer als außerhalb.

Mobilfunksysteme

Egal ob GSM, UMTS oder LTE, die wichtigsten Bausteine eines Mobilfunknetzes sind neben den Handys die Sende- und Empfangsanlagen, so genannte Basisstationen, sowie die Vermittlungsstellen. Dabei kommunizieren Handys nie direkt miteinander. Sie

*Basisstationen
versorgen
Funkzellen*

stehen immer mit der nächsten Basisstation in Verbindung. Und auch die Basisstationen sind nur indirekt über Vermittlungsstellen miteinander verbunden. Welchen Weg durch das Netz ein Anruf nimmt, zeigt die folgenden Grafik.

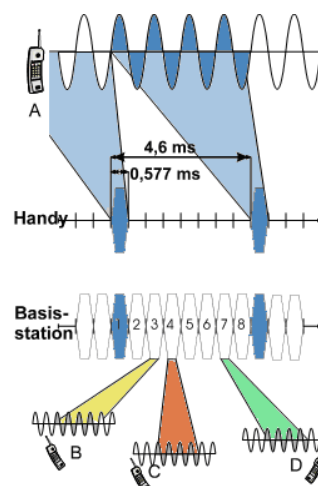


Mobilfunknetze bestehen aus einzelnen Funkzellen. Eine Basisstation versorgt jeweils eine oder mehrere Funkzellen. Basisstationen müssen da stehen, wo Menschen den Mobilfunk nutzen wollen. Da die Kapazität einer einzelnen Basisstation begrenzt ist, sind umso mehr Funkzellen nötig, je mehr Teilnehmer telefonieren oder je mehr Daten übertragen werden. Nebeneffekt: Basisstationen und Handys können mit geringer Sendeleistung arbeiten.

Funkfrequenzen stehen nur begrenzt zur Verfügung und müssen daher effizient genutzt werden. Die verschiedenen Mobilfunksysteme nutzen unterschiedliche Methoden zur optimalen Nutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzbereiches.

GSM

Bei GSM-Handys ist die Sendeleistung auf einen Spitzenwert von 2 Watt begrenzt. Mehrere Handys teilen sich einen Frequenzkanal, indem sie nacheinander in den ihnen zugewiesenen Zeitschlitzern senden (siehe Grafik). Da nur in einem von acht Zeitschlitzern gesendet wird, ergibt sich daraus maximal eine gemittelte Leistung von 0,25 Watt. In der Praxis wird diese Leistung jedoch selten erreicht, da die Sendeleistung auf den minimalen Wert heruntergeregelt wird, der für die Verbindung notwendig ist. Basisstationen nutzen ebenfalls das Zeitschlitzverfahren und die Sendeleistungsregelung, wobei in jeder Funkzelle ein Kanal ständig mit maximaler Leistung arbeitet. Das ist notwendig, damit Handys sich jederzeit in eine Funkzelle einbuchten können. Lässt man die beschriebene Leistungsabregelung unberücksichtigt, so finden sie je Antenne bzw. Funkzelle typisch 100 Watt Sendeleistung vor.



GSM nutzt ein Zeitschlitzverfahren

GPRS erweitert die Möglichkeiten des GSM-Standards für die mobile Datenübertragung. Daten werden hier nicht in fest geschalteten Verbindungen (ähnlich wie im klassischen Telefonnetz) übertragen, sondern als kleine Datenpakete (ähnlich wie im Internet). Bei der Übertragung zwischen Handy und Basisstation können bei GPRS mehrere Zeitschlitz für eine Verbindung zusammengefasst werden. Dadurch kann sich sowohl die maximale mittlere Leistung als auch die zeitliche Struktur des Funksignals ändern.

*GPRS erweitert
GSM für mobile
Datenübertragung*

EDGE ermöglicht höhere Datenraten als GPRS, indem ein effizienteres Modulationsverfahren eingesetzt wird. Unter Modulation versteht man das Verfahren, mit dem die Nutzinformation auf das Trägersignal übertragen wird. Das Ergebnis: Die Übertragungsgeschwindigkeit erhöht sich, ohne dass mit höherer Leistung gesendet werden muss, oder mehr Frequenzen belegt werden. EDGE wird durch einfache Erweiterungen der vorhandenen Systemtechnik in das bestehende GSM-Netz integriert, die bestehende Infrastruktur kann weiter genutzt werden und GSM-, GPRS- und EDGE-Nutzer können gemeinsam eine Funkzelle nutzen.

*EDGE: höhere
Daten-
raten bei gleicher
Sendeleistung in
der bestehenden
Infrastruktur*

UMTS



Dank UMTS können vielfältige Anwendungen und Dienste mobil genutzt werden, die bislang nur über das Festnetz verfügbar waren. Damit eröffnete sich dem Nutzer erstmals ein leistungsfähiger mobiler Zugang zum Internet. Bei einer Datenübertragungsrate mit mehrfacher ISDN-Geschwindigkeit kann UMTS deutlich größere Mengen digitaler Daten übertragen als der GSM-Standard – selbst mit EDGE-Unterstützung. Dies wird einerseits durch eine kleinzellige Struktur des Netzes und andererseits durch eine optimierte Übertragungstechnik gewährleistet.

*UMTS für mobile
Telefonie und mobile
Datenübertragung*

Bei UMTS kommunizieren alle Endgeräte gleichzeitig und auf der gleichen Frequenz mit der Basisstation. Dabei werden die Daten für jede Verbindung mit einem individuellen Code verschlüsselt, mit dessen Hilfe ein Endgerät die für sich bestimmten Daten herausfiltern kann. So entsteht bei UMTS ein kontinuierliches, rauschähnliches Funksignal.

UMTS-Handys haben meist eine maximale Sendeleistung von 0,125 W, teilweise (insbesondere Datenkarten) bis zu 0,25 Watt. Basisstationen senden in der Regel mit einer Leistung von etwa 80 Watt pro Funkzelle.

Wie bei GSM können auch bei UMTS die Datenübertragungsraten durch effizientere Modulationsverfahren noch weiter gesteigert werden: HSPA und HSDPA+ sind hier die Zauberwörter. Mit diesen Verfahren werden Datenraten erreicht, wie sie auch über drahtgebundene DSL-Verbindungen möglich sind. Genau wie bei EDGE sind für HSPA und HSDPA+ nur geringe Änderungen an der Systemtechnik der bestehenden UMTS-Sendeanlagen notwendig, Netzstruktur und Sendeleistung bleiben gleich.

Datenturbo HSDPA+

LTE

LTE steht für Long Term Evolution – eine Weiterentwicklung der bestehenden Mobilfunktechnologien im Hinblick auf noch höhere Datenraten. Mit LTE werden Übertragungsraten von mehreren Hundert Mbit/s und mehr möglich. Eine durchgängige Verwendung des Internet-Protokolls ermöglicht eine vereinfachte Netzarchitektur und zeigt für den Nutzer eine spürbar verringerte Reaktionszeit beispielsweise bei Webseiten-Aufrufen.

*50 Mbit/s und mehr
kurze Latenzzeiten*

Im Downlink kommt das Funk-Übertragungsverfahren OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) zur Anwendung, das auch bereits beim DVB-T Fernsehen eingesetzt wird. Hierdurch kann das verfügbare Frequenzspektrum flexibel eingesetzt werden.



Die LTE-Funktechnik kann in allen Frequenzbereichen zum Einsatz kommen. Die Frequenzbänder von 700 MHz bis 900 MHz eignen sich insbesondere zur Breitbandversorgung im ländlichen Raum. Dies sind insbesondere auch die Frequenzbereiche der sogenannten „Digitalen Dividende I und II“, d.h. der ehemaligen Fernsehkanäle zwischen 694 und 862 MHz, die durch eine effektivere Ausnutzung der Übertragungskanäle durch digitaler Übertragungsverfahren frei geworden sind. Die Frequenzbereiche ab 1800 MHz kommen primär in urbanen Bereichen zum Einsatz, um die noch höhere Anforderungen an große Kapazitäten eines Mobilfunknetzes aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte zu gewährleisten.

LTE ermöglicht die Breitbandversorgung ländlicher Bereiche

Aufgrund des ähnlichen Frequenzbereiches werden LTE-Systeme meist an bestehenden Mobilfunksendeanlagen errichtet. Damit müssen kaum neue Masten gebaut werden. Die Sendeleistung typischer LTE-Basisstationen liegt je Antenne bzw. Funkzelle bei etwa 80 Watt. Die Sendeleistung von LTE-Endgeräten liegt ebenfalls im Bereich der mittleren Leistungen von GSM- und UMTS-Endgeräten, also etwa bei 200 mW.

Wireless LAN

Als Wireless LAN bezeichnet man lokale, kabellose Netzwerke, die zur Datenübertragung Funkwellen im Mikrowellenbereich einsetzen und auf einem der WLAN-Standards des IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) basieren. Diese Standards ermöglichen hohe Übertragungsraten zwischen der Empfangs- und der Sendeeinheit auf kurzen Distanzen von bis zu 100 Metern. Funk-WLAN nutzt einen lizenzfreien Teil des Frequenzspektrums im 2,4- oder 5-Gigahertz-Bereich. Der Anwender benötigt ein Notebook oder Handheld-PC, der den WLAN-Standard automatisch unterstützt oder über ein sogenanntes WLAN-Modul verfügt.

Bei WLAN gibt es Clients (z.B. Notebook mit WLAN-Karte) und Access Points (ortsfixe Funkanlagen). Es können sowohl mehrere Clients miteinander (Ad-Hoc Modus) als auch mehrere Clients mit einem Access Point (Infrastrukturmodus) kommunizieren. Den Bereich, der von einem Access Point versorgt wird, nennt man Hot Spot. Seine Größe beträgt etwa 30 Meter in Gebäuden und 150 Meter im Freien.

Access Points senden im Ruhezustand alle 0,1 Sekunden ein Erkennungssignal von 0,46 Millisekunden Länge. Bei Nutzdatenübertragung werden mehr Datenpakete übertragen, bis hin zu einem kontinuierlichen Sendebetrieb. Clients senden generell nur während der Datenübertragung.

Die Sendeleistung ist bei Clients und Access Points je nach Standard auf 0,1, 0,2 oder 1 Watt begrenzt. Messungen der Feldstärke von typischen WLAN-Konfigurationen haben ergeben, dass die Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung in der Regel um einen Faktor 1000 oder mehr unterschritten werden.

Niedrige Sendeleistung bei WLAN...

Bluetooth

Bluetooth ist eine 1998 entwickelte Kurzstreckenfunktechnik, die zum Beispiel Tastaturen, Mäuse, Drucker und Handys mit dem PC verbindet.



Inzwischen hat sich Bluetooth weiterentwickelt und deckt eine Reihe zusätzlicher Anwendungen ab. Handys werden z. B. drahtlos mit Freisprecheinrichtungen, PCs oder anderen Handys verbunden, um Termine, Visitenkarten oder Bilder und Videos auszutauschen.

... und bei
Bluetooth

Bluetooth verfügt über drei Leistungsklassen: 1 mW (1 mW = 0,001 W) für Anwendungen im Nahbereich bis ca. 10 m, 2,5 mW im Bereich des Büroarbeitsplatzes bis ca. 30 - 50 m, sowie 100 mW für Entfernungen bis ca. 100 m. Die Mehrzahl der Bluetooth-fähigen Geräte arbeitet in den beiden niedrigeren Leistungsklassen.

WiMax

WiMax (Wordwide Interoperability for Microwave Access) ist eine Sammelbezeichnung für eine Klasse von Breitband-Funkstandards nach IEEE 802.16. Ursprünglich war WiMax als eine sogenannte Access Technik als Alternative zu Richtfunk und Festnetzanbindung konzipiert. In den Normen-Reihen IEEE 802.16 sind verschiedene Funkdienste im Frequenzbereich zwischen 2 und 66 Gigahertz mit Übertragungsraten bis zu 134 MBit/s definiert.



Zur Anbindung von mobilen Teilnehmern geeignet ist der Standard IEEE 802.16e (WiMax Mobile). Dieser definiert Frequenzen zwischen 0,7 und 6 GHz und Datenraten von theoretisch bis zu 15 MBit/s bei einer Reichweite von wenigen Kilometern. Ähnlich wie bei WLAN, DVB und LTE kommt als Modulation OFDM (orthogonal frequency division multiplex) zum Einsatz. Im Dezember 2006 hat die Bundesnetzagentur (BNetzA) für Deutschland vier Frequenzpakete im Bereich von 3,4 – 3,6 GHz vergeben. Allerdings sind zurzeit nur wenige regionale WiMax-Netze in Betrieb.

Sicherheit von Funkanwendungen

So verschieden die einzelnen Techniken zur mobilen Kommunikation auch sind, alle nutzen hochfrequente elektromagnetische Felder. Der Schutz der Bevölkerung ist durch gesetzlich festgeschriebene Grenzwerte gewährleistet. Dies gilt auch für alle zukünftigen Weiterentwicklungen der mobilen Kommunikation.

Diese Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung

- sind gesetzlich festgelegt
- sind international anerkannt
- werden regelmäßig überprüft

>> Alle mobilen Kommunikationssysteme halten die Grenzwerte ein. Damit ist der Schutz der Bevölkerung gewährleistet.

Die Tabelle auf der nachfolgenden Seite fasst noch einmal wichtige Daten der verschiedenen mobilen Kommunikationssysteme für Sie zusammen.

	GSM 900	GSM 1800	UMTS	LTE	WLAN	WiMax ⁽⁵⁾	Bluetooth
Frequenzbereich	880 – 960 MHz	1710 – 1880 MHz	1900 – 2170 MHz	703 – 798 MHz 791 – 862 MHz 1452 – 1492 MHz 1710 – 1880 MHz 2500 – 2690 MHz	2400 – 2484 MHz (802.11b,g ⁽³⁾) 5150 – 5350 MHz (802.11a ⁽³⁾) 5470 – 5725 MHz (802.11a ⁽³⁾)	2000 – 11000 MHz (802.16d) 700 – 2000 MHz (802.16e) 3400 – 3600 MHz zugelassen	2400 – 2480 MHz
Sendeleistung Basisstation ⁽¹⁾	ca. 100 W pro Sektor	ca. 100 W pro Sektor	ca. 80 W pro Sektor	LTE700 und LTE800: ca. 50 Watt ⁽¹⁾ pro Sektor LTE1400 und LTE1800: ca. 100 W pro Sektor LTE2600: bis zu 320 W pro Sektor	Maximale Leistung (EIRP ⁽⁴⁾): 100 mW (802.11b ⁽³⁾) 200 mW (802.11a ⁽³⁾) 1 W (div. Standards)	In der Regel 4 W pro Sektor	3 Leistungsklassen: 1 mW 2,5 mW 100 mW
Sendeleistung Endgerät	Maximale Spitzenleistung: 2 W Maximale mittlere Leistung: 250 mW	Maximale Spitzenleistung: 1 W Maximale mittlere Leistung: 125 mW	Maximale Leistung: Meist 125 mW, teilweise 250 mW	Maximale Leistung: 200 mW		Maximale Leistung: 3,1 W	
Leistungsregelung	ja	ja	ja	ja	verschieden		nein
Reichweite	20 m – 20 km (abhängig von der Netzstruktur)	20 m – 10 km (abhängig von der Netzstruktur)	20 m – 2 km (abhängig von der Netzstruktur)	20 m – 20 km (abhängig von der Netzstruktur) und von der Frequenz	In Gebäuden: 30 m Im Freien: 150 m	bis zu 50 km (802.16d) bis zu 5 km (802.16e)	Abhängig von Leistungsklasse: 10 m 30 m 100 m
Datenrate ⁽²⁾ (Übertragungs- geschwindigkeit)	Sprache: 6,5 – 13,0 kbit/s Daten: 14,4 kbit/s (GSM) bis 171,2 kbit/s (GPRS) bis 236 kbit/s (EDGE)	Sprache: 6,5 – 13,0 kbit/s Daten: 14,4 kbit/s (GSM) bis 171,2 kbit/s (GPRS) bis 236 kbit/s (EDGE)	Sprache: 4,75 – 12,2 kbit/s Daten: bis 42 Mbit/s (HSDPA+)	Variabel je nach genutztem Frequenzband bis zu 225 Mbit/s (zukünftig sind durch sogenannte Carrier-Aggregation noch höhere Raten möglich)	bis 11 Mbit/s (802.11b) bis 54 Mbit/s (802.11a,g)	bis 40 Mbit/s (802.16d) bis 13 Mbit/s (802.16e)	bis 723,2 kbit/s

⁽¹⁾ abhängig von der Basisstationshardware, maßgeblich für eine konkrete Basisstation ist die im Antrag auf Erteilung einer Standortbescheinigung beantragte Leistung

⁽²⁾ maximal möglich nach technischem Standard – die tatsächlich erreichbare Datenrate hängt vom Endgerät, der Verbindungsqualität und der Auslastung des Netzes ab

⁽³⁾ Beispielstandards, Standard ist im Frequenzzuweisungsplan nicht vorgeschrieben

⁽⁴⁾ EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power – Vergleichbare Leistung eines isotropen Rundstrahlers

⁽⁵⁾ Nur für Endkunden relevante Standards

Einheiten im Überblick	
Hz	Herz
MHz	Megahertz (= 1.000.000 Hz)
W	Watt
mW	Milliwatt (= 0,001 W)
kbit/s	Kilobit pro Sekunde
Mbit/s	Megabit pro Sekunde (= 1024 kbit/s)
m	Meter
km	Kilometer (= 1000 m)