

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. Schon mit EDGE, der schnelleren Datenübertragung im GSM-Netz, wachsen Mobilfunk und Internet zusammen. UMTS und LTE sind heute die mobile Alternative zu DSL, ergänzend existieren lokal einsetzbare Funktechniken wie WLAN oder Bluetooth.

Die Vielfalt mobiler Kommunikation bietet viele Chancen. Nutzer können je nach Bedürfnis aus verschiedenen Möglichkeiten wählen. So bieten die Mobilfunksysteme GSM und UMTS die flächendeckende Nutzung von Sprach- und Datendiensten. Effizientere Erweiterungen dieser Systeme wie EDGE und HSPA ermöglichen heute mobile Datenraten, die früher dem Festnetz vorbehalten waren. WLAN ermöglicht die Anbindung an sogenannten Hot Spots, und Bluetooth vernetzt verschiedene Geräte über kurze Distanzen. Diese mobilen Kommunikationssysteme bieten eine Vielzahl verschiedener Dienste, z.B. Sprachübertragung, Internet und Email oder Multimediaanwendungen. Der Zugriff auf diese Dienste ist wiederum mit verschiedenen Endgeräten möglich, wie Handy, Notebook, Smartphone oder PDA (Personal Digital Assistant). Als neuester Dienst wird seit 2010 LTE als mobiler Breitband-Datendienst angeboten, den Vodafone bereits mehr als 4 Millionen Haushalten anbietet.

*Vielfältige
Möglichkeiten
der mobilen
Kommunikation*

Abkürzungen	
GSM	Global System for Mobile Communication
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
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. Vodafone nutzt für den Mobilfunk verschiedene Frequenzbereiche: 791 bis 862 Megahertz (1 MHz = 1 Millionen Hertz) bei LTE („digitale Dividende“), 890 bis 960 MHz und 1710 bis 1876 MHz bei GSM, 1900 bis 2170 MHz bei UMTS und 2500 – 2690 MHz (LTE).

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/m²). 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

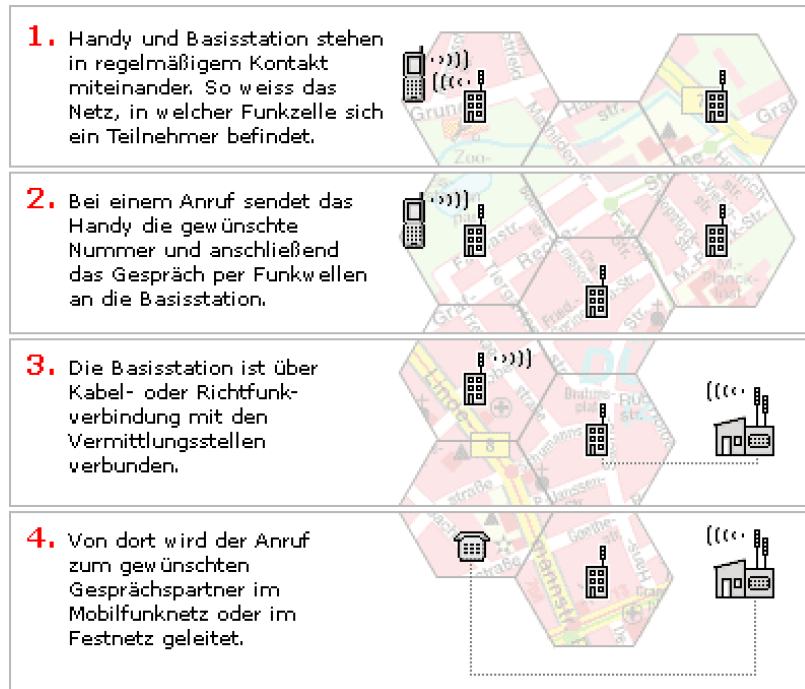
Egal ob GSM, UMTS oder LTE, die wichtigsten Bausteine eines Mobilfunknetzes sind neben den Handys die Sende- und Empfangsanlagen, so genannte Basisstationen, sowie die Vermittlungsstellen. Dabei kommunizieren Handys nie direkt miteinander. Sie stehen immer mit der nächsten Basisstation in Verbindung. Und auch die Basisstationen sind nur indirekt über Vermittlungsstellen miteinander verbunden. Welchen Weg durch das Netz ein Anruf nimmt, sehen Sie in der Grafik auf der nächsten Seite.

Basisstationen versorgen Funkzellen

Mobilfunknetze bestehen aus einzelnen Funkzellen. Eine Basisstation versorgt jeweils

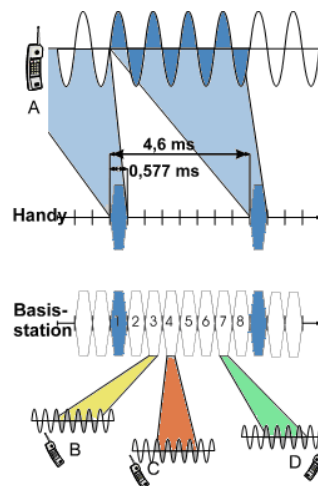
eine oder mehrere Funkzellen. Basisstationen müssen da stehen, wo Menschen den Mobilfunk nutzen wollen. Da die Kapazität einer einzelnen Basisstation begrenzt ist, sind umso mehr Funkzellen nötig, je mehr Teilnehmer telefonieren oder je mehr Daten übertragen werden. Nebeneffekt: Basisstationen und Handys 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 Zeitschlitzen senden (siehe Grafik). Da nur in einem von acht Zeitschlitzen 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 einbuchen können. Lässt man die beschriebene Leistungsabregelung unberücksichtigt, so finden sie je Antenne bzw. Funkzelle typisch 50 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 Datenraten 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.

Heutige 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 meist 40 Watt pro Funkzelle.

Auch UMTS kann durch effizientere Modulationsverfahren noch schneller gemacht werden: HSPA (Vodafone UMTS Broadband). Damit werden Datenraten erreicht, wie sie auch über drahtgebundene DSL-Verbindungen möglich sind. Genau wie bei EDGE sind für HSPA nur geringe Änderungen an der Systemtechnik der bestehenden UMTS-Sendeanlagen notwendig, Netzstruktur und Sendeleistung bleiben gleich.

LTE

LTE steht für Long Term Evolution – eine Weiterentwicklung der bestehenden Mobilfunktechnologien im Hinblick auf noch höhere Datenraten. Eine durchgängige Verwendung des Internet-Protokolls ermöglicht eine vereinfachte Netzarchitektur und zeigt für den Nutzer eine spürbar verringerte Reaktionszeit beispielsweise bei Webseiten-Aufrufen.

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, eignet sich aber besonders, um im Frequenzbereich der „Digitalen Dividende“ (das sind ehemalige Fernsehkanäle zwischen 790 und 862 MHz, die durch eine effektivere Ausnutzung der Übertragungskapazitäten bei digitaler Übertragung frei geworden sind) eine Breitbandversorgung ländlicher Bereiche zu ermöglichen.

LTE ermöglicht die Breitbandversorgung ländlicher Bereiche

Aufgrund des ähnlichen Frequenzbereiches werden LTE-Systeme meist an bestehenden Mobilfunksendeanlagen errichtet. Damit müssen keine neuen Masten errichtet werden. Die Sendeleistung typischer LTE-Basisstationen liegt je Antenne bzw. Funkzelle bei etwa 40 Watt. Die Sendeleistung von LTE800-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 (ortsfeste 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.



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.

... und bei Bluetooth

WiMax

WiMax (Worldwide 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	890 – 960 MHz	1725 – 1876 MHz	1900 – 2170 MHz	791 – 862 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	In der Regel unter 80 W ⁽¹⁾ pro Sektor	In der Regel unter 80 W ⁽¹⁾ pro Sektor	In der Regel unter 40 W ⁽¹⁾ pro Sektor	In der Regel unter 40 Watt ⁽¹⁾ 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 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⁾ (Übertragungsgeschwindigkeit)	Sprache: 6,5 – 13,0 kbit/s Daten: 14,4 kbit/s (GSM) bis 171,2 kbit/s (GPRS) bis 57,6 kbit/s (HSCSD) 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 57,6 kbit/s (HSCSD) bis 236 kbit/s (EDGE)	Sprache: 4,75 – 12,2 kbit/s Daten: bis 384 kBit/s (FDD) bis 2 Mbit/s (TDD) bis 14,4 Mbit/s (HSDPA)	Variabel je nach genutztem Frequenzband bis zu 100 Mbit/s	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⁾ inklusive Kabelverluste ⁽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	Hertz	Frequenz
MHz	Megahertz (= 1 000.000 Hz)	Frequenz
W	Watt	Leistung
mW	Milliwatt (= 0,001 W)	Leistung
kbit/s	Kilobit pro Sekunde	Übertragungsrate
Mbit/s	Megabit pro Sekunde (= 1024 kbit/s)	Übertragungsrate
m	Meter	Länge
km	Kilometer (= 1000 m)	Länge