A19 Weitere Mobilfunksysteme

In diesem Dokument werden weitere Mobilfunksysteme vorgestellt, die bereits in Auflage 3 des Buches Nachrichtentechnik beschrieben wurden, in der Auflage 4 von neueren und inzwischen bedeutenderen Systemen verdrängt wurden. Neuerungen gegenüber dem Text aus Auflage 3 sind blau gerahmt; Verweise auf das Buch in der 4. Auflage werden mit dem Kürzel NT gemacht.

A19.1 Wireless Microwawe Access WiMAX

Um Systeme zu standardisieren, die einen breitbandigen Teilnehmeranschluss auf Funkbasis bieten, wurde im Jahr 1999 innerhalb des Institutes of Electrical and Electronics Engineers die Arbeitsgruppe IEEE 802.16 gegründet.

Diese verabschiedete Ende 2001 eine erste Version des Standards, der aber im Wesentlichen nur Richtfunkverbindungen zwischen zwei Stationen ermöglichte. Ein solcher Punkt-zu-Punkt-Richtfunk (Point-to-Point PTP) ist jedoch für den Teilnehmeranschluss nur begrenzt geeignet. Dementsprechend wurde der Standard in den folgenden Jahren deutlich erweitert

Eine wesentlich überarbeitete Version aus dem Jahr 2004 erlaubt auch Punkt-zu-Mehrpunkt-Richtfunkanwendungen (Point-to-Multipoint), bei denen von einer Basisstation mehrere Teilnehmerstationen (Subscriber Stations) versorgt werden können.

Ferner muss für zu diesen Stationen nicht unbedingt eine Sichtverbindung bestehen. Um dennoch akzeptable Reichweiten erzielen zu können, dürfen keine allzu hohen Frequenzen verwendet werden. Der Standard sieht allgemein den Bereich zwischen 2 und 11 GHz vor. Die Trägerbandbreite kann sehr flexibel gewählt werden: Mehrere Werte zwischen 1,75 MHz und 20 MHz sind möglich. Bei einer Bandbreite von 20 MHz lässt sich bei Verwendung einer 64-QAM unter günstigen Verhältnissen eine Datenrate von etwa 70 Mbit/s erzielen.

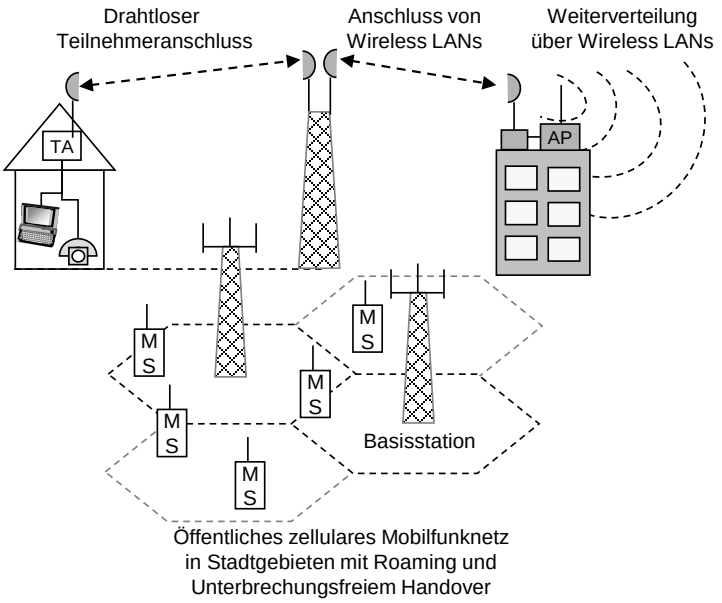


Bild A19.1: Anwendungen und Systemarchitektur von WiMAX

Die im Jahr 2006 verabschiedete Variante IEEE 802.16e ermöglicht auch zellulare Mobilfunknetze mit einer Teilnehmermobilität ähnlich wie in GSM- oder UMTS-Netzen, wobei der Versorgungsbereich eher auf Stadtgebiete beschränkt ist.

Die Übertragungsverfahren sind so ausgelegt, dass sich die mobilen Stationen mit bis zu 125 km/h bewegen können. Ferner wird ein unterbrechungsfreier Handover realisiert. Die entsprechenden Anwendungen von WiMAX sind in Bild A19.1 illustriert.

In Europa und weltweit gibt es zahlreiche kleine bzw. mittelgroße WiMAX-Netze. Das weltweit größte wurde in den USA mit ca. 17000 Basisstationen und über 100 Millionen Teilnehmern errichtet. Allerdings hat der Betreiber beschlossen die WiMAX-Technik nach 2015 zugunsten der weltweit stärker verbreiteten und besser verfügbaren LTE-Technik aufzugeben. Insgesamt ist damit zu rechnen, dass sich bei breitbandigen Mobilfunksystemen LTE gegen WiMAX durchsetzen und die WiMAX-Technik allmählich zurückgehen wird. Ähnliches gilt im Bereich des drahtlosen Teilnehmeranschlusses und der kostengünstigen Richtfunktechnologie. In diesen Sektoren setzt sich weltweit vermehrt WLAN-Technologie nach dem Standard IEEE 802.11 mit den Erweiterungen n, ac und ad durch. Dementsprechend hat auch das IEEE beschlossen, Weiterentwicklungen in der Arbeitsgruppe 802.16 einzustellen.

In Deutschland wurden im Jahr 2006 die Lizenzen für den drahtlosen Teilnehmeranschluss im Frequenzbereich zwischen 3,4 und 3,6 GHz vergeben. In diesem Bereich stehen 2x12 Träger (z.B. 12 für den UL und 12 für den DL) mit einem Trägerabstand von 7 MHz zur Verfügung.

Drei Betreibergesellschaften haben eine Lizenz mit jeweils 2x3 Trägern für ganz Deutschland, zwei weitere für einen kleinen geografischen Bereich erworben. Jeder der Träger kann unterteilt werden in zwei oder Träger mit 3,5 MHz bzw. 1,75 MHz Trägerabstand.

Für diesen lizensierten Bereich gelten Einschränkungen bezüglich der Sendeleistung. Für einen 7-MHz-Träger betragen sie:

- Ausgangsleistung des Verstärkers in der Basisstation: < 22 W
- EIRP der Basisstation (inklusive Antennengewinn): < 61 dBm
- Ausgangsleistung des Verstärkers der Teilnehmerstation: < 11 W
- EIRP der Teilnehmerstation (inklusive Antennengewinn): < 58 dBm

Daneben ist auch ein lizenzfreier Betrieb in den Bändern möglich, die auch für Wireless LANs freigegeben sind (siehe NT, Abschnitt 19.5). Hier darf die maximale EIRP – wie bei WLANs auch – allerdings nur 1 W (30 dBm) betragen, in manchen Bändern sogar nur 100 mW, so dass die Reichweite geringer als bei lizensierten Netzen ist. Allerdings dürfen größere Trägerbandbreiten verwendet werden.

In all seinen Varianten besitzt WiMAX eine sehr flexible Übertragungstechnik mit unterschiedlichen Trägerbandbreiten, verschiedenen Modulations- und Kodierungsverfahren. Als Multiplex- bzw. Mehrfachzugriffsverfahren werden verschiedene Varianten von OFDM bzw. OFDMA mit 256 und 2048 Unterträgern eingesetzt. Ferner werden spezielle Antennentechniken wie MIMO (siehe NT, Abschnitt 9.9) unterstützt, um die Reichweite und die Datenrate zu steigern.

In Tabelle A19.1 Sind für verschiedene Modulationsverfahren und Code-Rate die erzielbaren Datenraten und zugehörigen Empfängerempfindlichkeiten $RXLEV_{min}$ zusammengestellt. Je höher die Datenrate desto höher ist der erforderliche Mindestempfangspegel $RXLEV_{min}$. Die angegebenen Werte gelten für einen 7-MHz-Träger mit 256 Unterträgern mit einer Schutzperiode von 8 µs innerhalb des OFDM-Verfahrens. Die gesamte Dauer eines OFDM-Symbols beträgt in diesem Fall 40 µs.

Modulation, Code-Rate	BPSK, ½	QPSK, ½	QPSK, $^3/_4$	16-QAM, ½	16-QAM, $^3/_4$	64-QAM, $^2/_3$	64-QAM, $^3/_4$
Datenrate	3,2 Mbit/s	6,4 Mbit/s	9,6 Mbit/s	12,8 Mbit/s	19,2 Mbit/s	25,6 Mbit/s	28,8 Mbit/s
RXLEVmin	≤ –88 dBm	≤ –85 dBm	≤ –83 dBm	≤ –78 dBm	≤ –76 dBm	≤ –71 dBm	≤ –70 dBm

Tabelle A19.1: Übertragungsverfahren und deren Kenngrößen bei WiMAX mit einer Trägerbandbreite von 7 MHz und einer OFDM-Schutzperiode von 8 µs.

Weitere Details zu WiMAX findet man in [48].

A19.2 Terrestrial Trunked Radio – TETRA

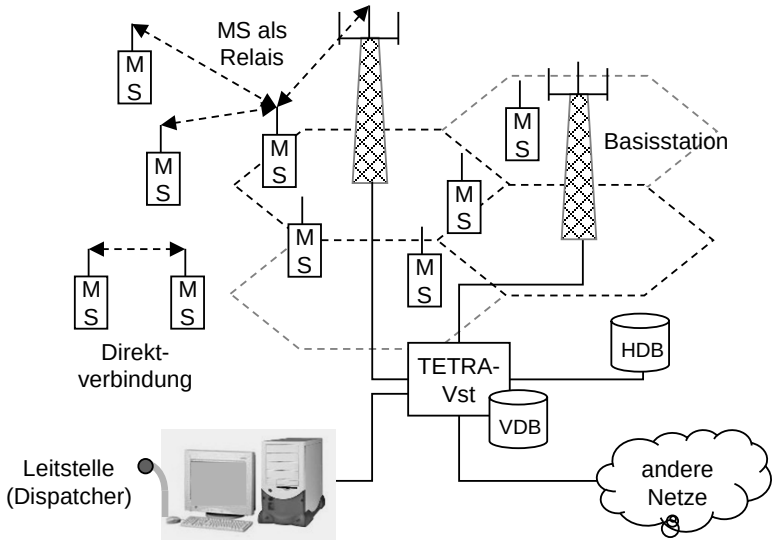
Der Standard TETRA (Terrestrial Trunked Radio) wurde – ähnlich wie GSM oder DECT – Anfang der 1990er Jahre vom European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelt. Als Anwendungen für diesen Standard sind Netze für den Betriebsfunk und Funknetze für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) zu sehen.

Neben TETRA gibt es noch ein weiteres System für BOS-Anwendungen mit vergleichbaren Leistungsmerkmalen mit dem Namen TETRAPOL, welches z.B. in Frankreich und einigen weiteren europäischen Ländern eingeführt wurde.

Inzwischen gibt es mehrere Hundert TETRA-Netze in europäischen und außereuropäischen Ländern. In Deutschland gibt es ferner im Nicht-BOS-Bereich einige kleinere, lokal beschränkte Netze, die z.B. von Verkehrsbetrieben, Flughafengesellschaften oder Energieversorgern betrieben werden. Im BOS-Sektor wurde in Deutschland noch bis 2015 mit analogen Systemen gearbeitet. Erst 2007 wurde die Einführung von TETRA in diesem Bereich vertraglich geregelt. Der Netzausbau sollte 2010 abgeschlossen sein. Allerdings wurde der Wirkbetrieb 2008 nur in der Region um Aachen eingeführt, und es gab – aufgrund von Problemen bei der Finanzierung – immer wieder Verzögerungen. Inzwischen (Ende 2015) steht der flächendeckende Wirkbetrieb in Deutschland unmittelbar bevor: Es sind ca. 4500 Basisstationen in Betrieb genommen, mit denen eine Flächenversorgung von etwa 97 % erzielt wird. Weitere Informationen dazu findet man auf der Internet-Seite der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben.

Für die BOS-Netze sind in Europa die Frequenzbereiche 380 – 390 MHz (UL) und 390 – 400 MHz (DL) vorgesehen. Für die Betriebsfunkanwendungen sind verschiedene Bereiche zwischen 410 und 470 MHz frei gegeben.

Die grundsätzliche Systemarchitektur ähnelt der von GSM (siehe Bild A19.2), wobei es allerdings einige Besonderheiten gibt. In den Betriebsfunknetzen bzw. BOS-Netzen gibt es Leitstellen, die – zumeist über ISDN – an eine der digitalen Vermittlungsstellen angebunden sind. Ferner erlaubt TETRA eine Direktverbindung zwischen zwei Mobilstationen. Ebenso kann eine Mobilstation als Relais dienen, um den Versorgungsbereich zu erweitern.



HDB: Home Data Base (Heimatdatei)
VDB: Visitor Data Base (Besucherdatei)

Bild A19.2:
Die TETRA-Systemarchitektur

TETRA nutzt – wie GSM – eine Kombination von FDM und TDM, um die Frequenzbänder in einzelne Funkkanäle zu unterteilen. Die erste Version von TETRA definiert in der Basisvariante einen Trägerabstand von 25 kHz und eine Einteilung von vier Zeitschlitzen pro Träger. Unter Verwendung einer Variante der QPSK-Modulation beträgt die maximale Nutzdatenrate pro Zeitschlitz 7,2 kbit/s. Bei einer Bündelung aller vier Zeitschlitze erhält man 28,8 kbit/s. Neuere Versionen lassen höhere Bandbreiten (z.B. 150 kHz) und höherwertige Modulationen (z.B. 64-QAM) zu. Damit kann die Nutzdatenrate auf etwa 500 kbit/s gesteigert werden.

Um noch höhere Datenraten zu erzielen, gibt es Überlegungen TETRA mit der LTE-Technik zu koppeln. Allerdings benötigt der LTE-Anteil mehr an Frequenzspektrum als derzeit für BOS-Anwendungen zur Verfügung steht. Als Kandidat sind Frequenzbereiche im 700-MHz-Band in der Diskussion.

Als Dienste bieten TETRA den Sprachdienst, verschiedene Datendienste sowie einen Kurzmitteilungsdienst an. Einige besondere Dienstmerkmale sind:

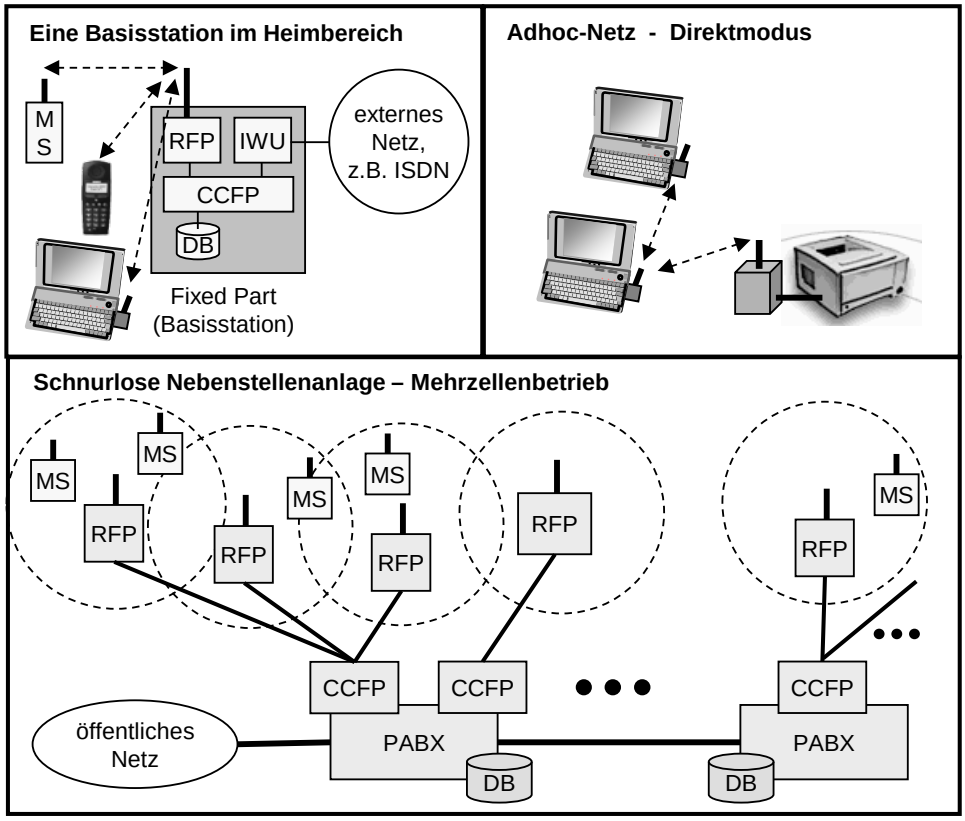
- ein schneller Verbindungsaufbau
- der Gruppenruf
- der Rundfunkruf (Broadcast, Teilnehmer können nur zuhören)
- Verbindungen mit unterschiedlichen Prioritäten
- Unterbrechung bestehender Verbindungen bei Rufen mit hoher Priorität

Für den Gruppenruf werden beispielsweise mehrere Teilnehmer zu einer Gruppe zusammengefasst, die eine bestimmte, im Netz verwaltete Rufnummer erhält. Durch Anwahl dieser Nummer kann ein Teilnehmer eine Verbindung zu allen Mitgliedern dieser Gruppe aufbauen.

A19.3 Digital Enhanced Cordless Telecommunications DECT

Der DECT-Standard (DECT: Digital Enhanced Cordless Telecommunications) wurde Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre als europaweit einheitlicher Standard konzipiert, um die analogen schnurlosen (engl.: cordless) Telefonsysteme zu ersetzen und dabei Verbesserungen in Bezug auf die Sprachqualität, Abhörsicherheit und Nutzungsmöglichkeiten zu schaffen. Die damalige Bedeutung der Abkürzung DECT, nämlich Digital European Cordless Telephone, deutet auf den Ursprung des Standards hin.

Die erste Version des Standards wurde seitens des European Telecommunications Standards Institutes (ETSI) 1992 verabschiedet, die ersten Endgeräte kamen im Sommer 1993 auf den Markt. Durch seine weltweite Akzeptanz in mehr als 100 Ländern hat sich DECT stark verbreitet. DECT ist damit weltweit der führende Standard im Bereich der schnurlosen Telefonie.



RFP: Radio Fixed Part /Sende- und Empfangseinheit in der Basisstation)
IWU: Interworking Unit (Umsetzung DECT→ externes Netz)
DB: Database (Teilnehmerverwaltung)
PABX: Private Automatic Branch Exchange (Private Nebenstellenanlage)
CCFP: Central Control Fixed Part (Zentrale Steuerung)

Bild A19.3: Netzstrukturen und Anwendungsbereiche von DECT-Systemen

DECT ermöglicht aber nicht nur die schnurlose Telefonie über eine Basisstation für den Heim- oder Bürobereich, sondern einen Mehrzellenbetrieb mit vielen hundert Basisstationen und vielen tausend Endgeräten (siehe Bild A19.3). Ferner ist der Anwendungsbereich nicht nur auf die Telefonie beschränkt: DECT wurde von Anfang an auch für verschiedene Arten von Datendiensten konzipiert.

Allerdings haben die Produkte für Datenanwendungen, wie USB-Adapter, DECT-Telemetriemodule für die Überwachung und Steuerung von Maschinen und Anlagen oder Strichcodeleser und Kreditkartenterminals mit DECT-Modulen bisher längst nicht den Stellenwert wie schnurlose Telefone.

Inzwischen gibt es allerdings einen so genannten „Ultra Low Energy (ULE)“ Zusatz zum DECT –Standard, der Funkmodulen für insbesondere die Hausautomation einen niedrigen Energieverbrauch und damit lange Batterielebensdauern ermöglichen soll. Entsprechende Produkte sind schon auf dem Markt erhältlich.

Andere Weiterentwicklungen von DECT werden unter dem Namen CAT-iq (Cordless Advanced Technology – Internet and Quality) vermarktet werden. Die entsprechenden Produkte bieten beispielsweise:

- eine verbesserte Sprachqualität,
- Videotelefonie und Konferenzschaltungen,
- eine parallele Sprach- und Datenübertragung,
- Voice over IP,
- Audio Streaming (Internet Radio),
- Wählen aus Telefon- oder Adressbuch aus Internet,
- verbesserte Sicherheitsmechanismen,
- automatische Geräteerkennung und –konfiguration.

Zudem wurden für neuere Versionen von DECT verbesserte Authentifizierungs- und Verschlüsselungsverfahren standardisiert, die sich im Produktspektrum aber erst noch durchsetzen müssen.

DECT arbeitet derzeit in Europa und vielen anderen Ländern im Frequenzbereich bei 1880 – 1900 MHz. Dieser Bereich, der ausschließlich für DECT reserviert ist, ist in 10 Frequenzträger mit jeweils 24 Zeitschlitzen eingeteilt.

Im Juni 2015 wurde in Deutschland von der Bundesnetzagentur die Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung durch schnurlose Telekommunikationsanlagen des Systems DECT bis zum 31.12.2025 verlängert.

Eine Basisstation mit einem Träger kann also maximale 12 Telefongespräche (jeweils ein Zeitschlitz für den UL und einer für den DL im TDD-Verfahren, siehe Bild A19.4) bedienen. Die digitalisierten Sprachdaten werden dabei ohne Fehlerschutz mit einer Rate von 32 kbit/s übertragen. Bei Datendiensten werden allerdings verschiedene ARQ-Verfahren und Methoden zur Kanalcodierung eingesetzt. Hohe Datenraten lassen sich durch eine Bündelung von Zeitschlitzen mit einer asymmetrischen Aufteilung zwischen UL und DL sowie durch höherwertige Modulationsformen erzielen. Die ursprüngliche Bruttodatenrate lag bei Verwendung einer GMSK-Modulation bei knapp 1,2 Mbit/s. Um sie zu steigern, wurden in späteren Versionen des Standards auch höherwertige Modulationsformen (z.B. 64-QAM) hinzugefügt, die Bruttodatenraten von knapp 7 Mbit/s bieten.

2 Beispiele für Duplex-Kanäle sind markiert (rot und schwarz): Zusammengehörige Kanäle liegen auf der gleichen Frequenz, sind aber um 12 Zeitschlitze gegeneinander versetzt.

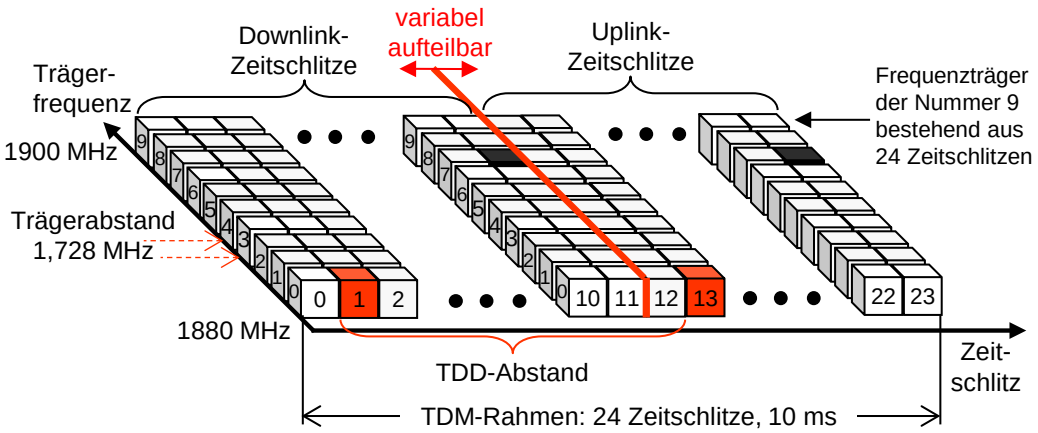


Bild A19.4 Kombination aus FDM und TDM bei DECT

Um Störungen von benachbarten DECT-Funkzellen zu vermeiden, führt die MS Pegelmessungen und eine dynamische Kanalwahl durch, d.h. beim Aufbau einer Verbindung wählt sie den Kanal (Frequenz und Zeitschlitz), der mit dem geringsten Störpegel belastet ist. Sollten sich die Störverhältnisse während der Verbindung ändern, so wechselt sie mittels eines Intracell Handovers zu einem besseren Kanal.

Die maximale Sendeleistung eines DECT-Geräts beträgt 250 mW. Neuere Geräte passen die Sendeleistung automatisch an die Empfangsbedingungen an (Power Control).

Weitere Details zu DECT findet man in [15].

A19.5 UltraWideBand UWB

Unter UltraWideBand-Systemen (UWB) versteht man allgemein Funksysteme, bei denen die Trägerbandbreite sehr groß im Verhältnis zur Mittenfrequenz ist. Die entsprechende Technologie wurde ursprünglich für Ortungs- und Radar-Systeme entwickelt.

Im Zusammenhang mit lokalen Funknetzen für den privaten Bereich versteht man unter UWB Funksysteme, die bei einer effektiven Signalbandbreite von über einem Gigahertz Datenraten von mehreren Hundert Megabits pro Sekunde bieten.

Die Anwendungen solcher Systeme liegen dementsprechend vorwiegend im Multimedia-Bereich, in dem hohe Datenraten über kurze Entfernungen zu transportieren sind.

Als Beispiele sind zu nennen:

- der Aufbau eines Heimkinos ohne Kabel,
- die Anbindung externer Speichermedien (Festplatten) an einen PC oder an ein Fersehgerät,
- der schnelle Transfer von Bildern und Videos zwischen verschiedenen Geräten,
- die Anbindung von Videoprojektoren an einen DVD-Recorder,
- die Anbindung von Projektoren in einem Konferenzraum.

Insgesamt ist es das Ziel der UWB-Systeme, die für den Bereich der Unterhaltungselektronik und der Computer-Peripherie üblichen Schnittstellen wie USB, Firewire (IEEE 1394) und Universal Plug-and-Play (UPnP) als Funklösung zu realisieren (siehe Bild A19.5).

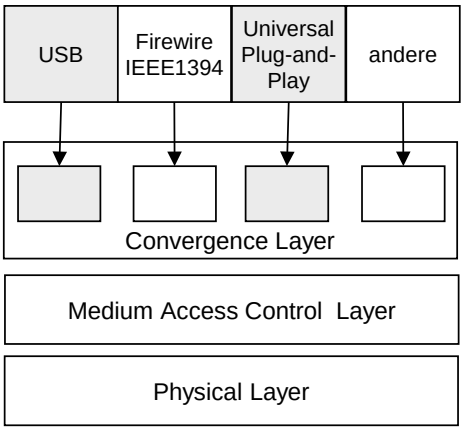


Bild A19.5: Protokoll-Architektur bei UWB

Im gewerblich-industriellen Bereich sind Anwendungen bei der Datenübertragung im medizinischen Bereich, in der Messtechnik sowie der Ortungs- und Überwachungstechnik denkbar.

Entwickelt wurden zwei nennenswerte Systemvorschläge:

- einen auf Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) basierenden Vorschlag,
- einen auf Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) basierenden Vorschlag.

Das DSSS-System soll bei Bandbreiten von ca. 1,3 GHz und 2,7 GHz in seiner endgültigen Version eine Datenrate von etwa 1300 Mbit/s bieten.

Das OFDM-System nutzt eine Art Frequency Hopping über drei Träger mit einer Breite von jeweils etwa 500 MHz, um eine Datenrate von bis zu 480 Mbit/s zu erzielen. Die Verknüpfung von OFDM und Frequency Hopping hat zu der Bezeichnung Multiband-OFDM (MB-OFDM) geführt.

Ein einheitlicher Standard innerhalb des IEEEs konnte bisher nicht herbeigeführt werden.

Tendenziell zielt das DSSS-System auf den Bereich der Unterhaltungselektronik, der OFDM-Vorschlag hingegen auf den Bereich der Computer-Peripherie.

Einige Produkte dieser UWB-Technologien sind auch auf dem Markt erhältlich. Allerdings werden sie zunehmend von Produkten anderer Technologien ersetzt. Insbesondere sind WLAN-Module nach den Standards 802.11n, ac und ad zu nennen, die im Frequenzbereich bei 5 GHz bzw. 60 GHz Datenraten von einigen Hundert Mbit/s bis zu einigen Gbit/s bieten.

Um ein UWB-System im eigentlichen Sinne zu realisieren, war ursprünglich vorgesehen, den kompletten Frequenzbereich zwischen 3,1 GHz und 10,6 GHz unter Verwendung einer Spreiztechnik komplett als einen Träger zu nutzen. Von diesem Ansatz ist man jedoch abgerückt und hat – sowohl für den DSSS- als auch für den OFDM-Vorschlag – mehrere Träger in dem genannten Frequenzbereich definiert (siehe Bild A19.6).

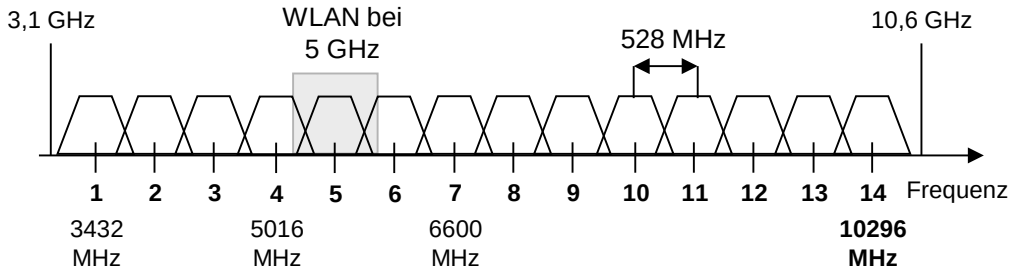


Bild A19.6: Frequenzträger bei MB-OFDM

Da es in dem großen Frequenzbereich zu Überlappungen mit zahlreichen anderen Funksystemen kommt, ist die erlaubte maximale Sendeleistung sehr gering. Je nach Frequenzband liegt sie bei etwa 1 µW, teilweise sogar unter 0,1 µW. Dementsprechend ist die Reichweite von UWB-Systemen sehr gering und zumeist auf einen Raum und wenige Meter beschränkt (siehe Bild A19.7).

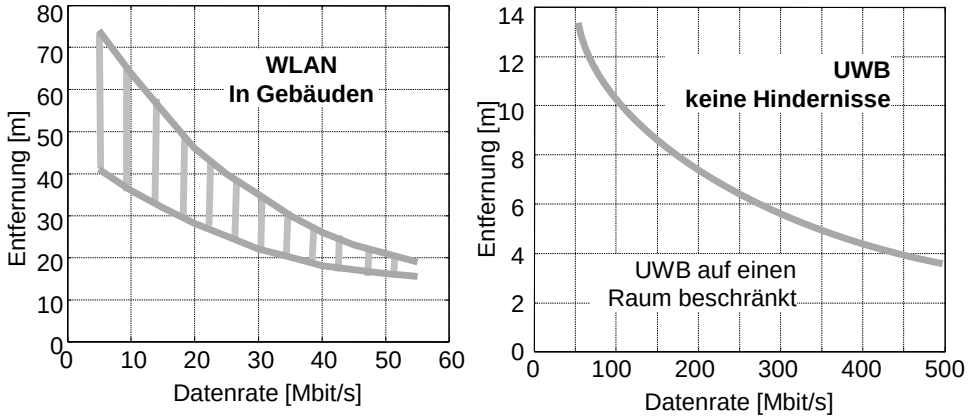


Bild A19.7: Reichweite und Datenrate

Weitere Details zu UWB findet man in [15].