

### 3. Spezifikationen zur drahtlosen Datenübertragung

Durch den Beweis der elektromagnetischen Welle von Heinrich Hertz 1887 und der ersten Funkübertragung über den Ärmelkanal wurden die Grundlagen für die drahtlose Kommunikation geschaffen. In Deutschland wurden die ersten funktechnischen Versuche zur Nachrichtenübertragung Ende 1897 von Adolf Slaby durchgeführt. Er übertrug Funksignale vom TU-Hauptgebäude zum einige hundert Meter entfernten Salzufer.

Nach dem ersten und besonders nach dem zweiten Weltkrieg wurden die meisten Aufträge zur Forschung im Funkübertragungsbereich durch das Militär erteilt, bzw.von ihm durchgeführt.

Für Betreiber von Funknetzen stellten sich damals wie heute Probleme und Hürden dar, die schon vor dem eigentlichen Betreiben des Dienstes auftreten. Zum einen müssen die entsprechenden Frequenzen bei den jeweiligen Behörden in den Länder beantragt, Normierungsverfahren zur besseren weltweiten Nutzung der Frequenzen und zur Kompatibilität abgeschlossen und Bedenken in der Bevölkerung ausgeräumt oder minimiert werden. Die Betrachtung von gesundheitlichen Aspekten spielt dabei eine immer größere Rolle und kann ein nicht zu unterschätzendes Problem darstellen, darauf

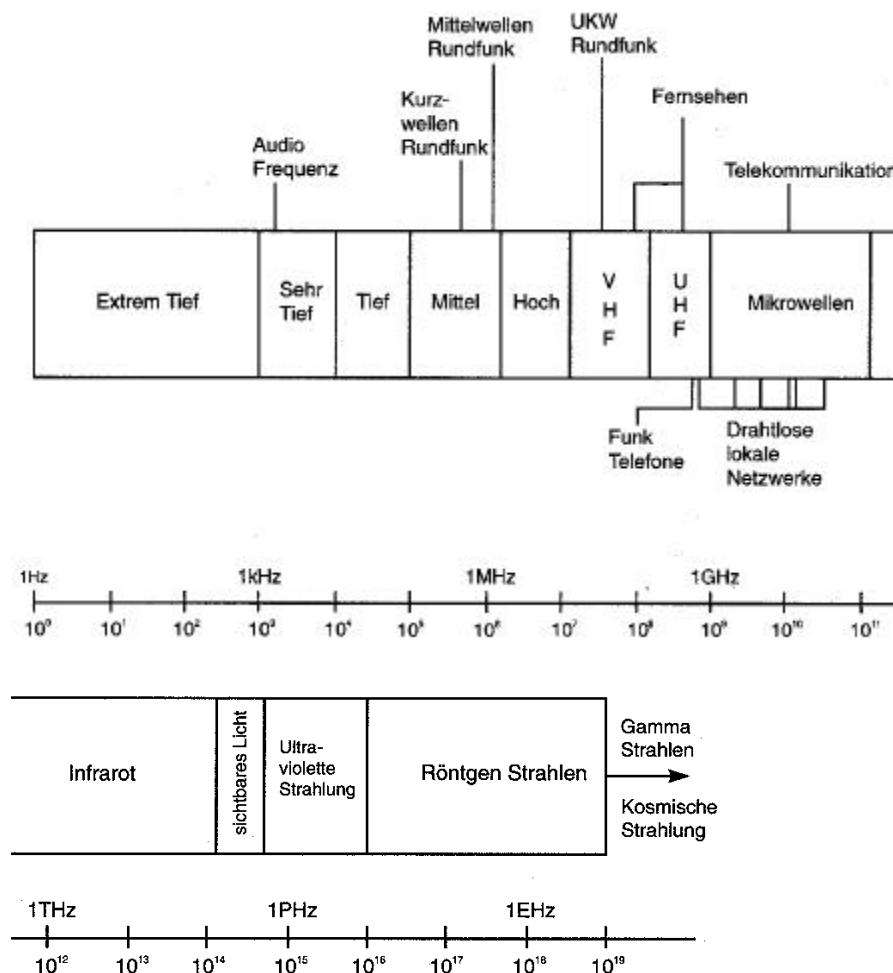


Abbildung 3.1-1 Elektromagnetisches Frequenzspektrum [4, S.60]

möchte ich aber in Kapitel 7 genauer eingehen. Frequenzen stellen ein knappes Gut dar, die nicht unnötig verbraucht oder belegt werden dürfen. Es müssen Verfahren geschaffen werden, die eine effiziente Nutzung ermöglichen, einen möglichst großen Spielraum

(Bandbreite) in der Konfiguration und im Management bieten und mit allen Bedürfnissen der Bevölkerung in Einklang zu bringen sind. Auch unter Betrachtung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten wurden internationale Vereinbarungen getroffen, um weltweit eine relativ einheitliche Nutzung des Frequenzbandes zu ermöglichen. Eine Wesentliche davon ist, die Aufteilung der Frequenzen in verschiedene Abschnitte, daß die Abbildung 3.1-1 darstellt.

Die Koordination für die Bereitstellung von Frequenzen wird in den einzelnen Ländern von staatlichen Behörden vorgenommen. In Europa gibt es eine übergeordnete Koordinierungsstelle, die CEPT und in den USA die FCC.

Für drahtlose lokale Netzwerke wurden verschiedene Frequenzen im ISM-Band (Instrumental, Scientific and Medical Band) bereitgestellt. Dieses Band ist für diverse Aufgaben im industriellen, wissenschaftlichen und medizinischen Bereich reserviert.

Behörde	Frequenz	Bandbreite
FCC	902 - 928 MHz	26 MHz
	2,4 - 2,4835 GHz	83,5 MHz
	5,725 - 5,85 GHz	125 MHz
	24 - 24,25 GHz	250 MHz
CEPT/ETSI	2,445 - 2,475 GHz	30 MHz
	5,785 - 5,815 GHz	30 MHz
	17,1 - 17,3 GHz	200 MHz
	24,11 - 24,14 GHz	30 MHz
	61 - 61,5 GHz	500 MHz

Zur Gewährleistung einer guten Funkverbindung müssen verschiedene Faktoren beachtet werden. Erstens die richtige Wahl der Übertragungsfrequenz, zweitens die der Sendeleistung und drittens die Reflexion der Wellen in der Umgebung entscheidet über Akzeptanz beim Verbraucher. Eine grobe Unterteilung kann zwischen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Bodenwellen) und Reflexionsverbindungen (Raumwellen), meist an der Stratosphäre, erfolgen. Die Reflexion von Bodenwellen an Gebäuden und in Räumen ist eine Eigenschaft, die eine Nutzung für drahtlose Netzwerke erst ermöglicht. Jedes Material reflektiert die Funkwellen anders. Es kann zu Streuung, Brechung, Dämpfung, Reflexion und Depolarisierung kommen. Beim Empfänger kann dadurch eine teilweise Auslöschung, Verzerrung oder Verstärkung entstehen. Um Störsignale herauszufiltern, muß am Empfänger eine frequenzselektive Auswahl erfolgen. In benachbarten Zellen dürfen sich die Frequenzen nicht überlagern und es muß ein genügend großer Störabstand gewährleistet werden.

In Gebäuden können auch Infrarot-Systeme zum Einsatz kommen, bei denen auch bestimmte Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen. Es kann zu Störungen durch Kunstlicht (Leuchtstoffröhren) und Tageslicht (je nach eingesetztem Fensterglas) kommen.

### 3.1. Modulationsverfahren

Signale müssen für den Transport an das jeweilige Übertragungsmedium angepaßt werden. Die Notwendigkeit der Modulation kann man schon anhand der Sprachübertragung erkennen. Wenn alle Telefongespräche in ihrer Originalfrequenz übertragen werden würden, könnte man kein Wort mehr verstehen und die Störungen wären so groß, daß kein Signal entschlüsselbar beim anderen Teilnehmer ankommen würde. Um dies zu

verhindern, kommen verschiedenen Modulationsverfahren zum Einsatz, die die Original-Frequenzen in ein anderes Frequenzband umsetzen. Es wird grundsätzlich zwischen analogen und digitalen Verfahren unterschieden. Analoge Verfahren erzeugen immer einen kontinuierlichen Verlauf des zu übertragenden Signals, wohingegen im digitalen Bereich nur diskrete Werte übertragen werden.

### 3.1.1. Analoge Modulation

Analoge Modulationsverfahren sind die Amplituden- und die Winkelmodulation (Frequenz, Phase), in ihren verschiedenen Variationen. Die analogen Verfahren haben eine große Verbreitung und sind in all ihren Eigenschaften weitgehendst erforscht. Ein analoges Signal besteht aus drei Komponenten: Amplitude, Frequenz und Phasenlage.

#### Amplitudenmodulation (AM)

Bei der Amplitudenmodulation wird die Amplitude der hochfrequenten Trägerschwingung moduliert. Durch die Amplitude und Frequenz der Modulationsschwingung wird die Amplitude der Trägerschwingung variiert und so das Nutzsignal aufmoduliert. Die Amplitudenmodulation erfolgt in drei Teilschritten: Überlagerung von Informationsspannung und Trägerspannung, Aussteuern einer nichtlinearen Kennlinie und Entfernen unerwünschter Modulationsanteile. Die AM läßt sich mit verschiedenen Verfahren übertragen: AM mit unterdrücktem Träger, Einseitenbandmodulation (ESB), ESB mit abgesenktem Träger und Restseitenband AM.

#### Frequenzmodulation (FM)

Zur Erzeugung einer FM muß die Frequenz einer hochfrequenten Trägerschwingung im Rhythmus des niederfrequenten Signals geändert werden. Die Amplitude und Phase des Trägersignals werden dabei nicht beeinflußt. Die Trägerfrequenz ist proportional zur Amplitude des Modulationssignals. Die Abweichung wird als Frequenzhub bezeichnet.

#### Phasenmodulation

Die Übertragung des Nutzsignals erfolgt über die zeitliche Veränderung der Phasenlage des Trägers. Die Amplitude und Frequenz der Trägerschwingung bleiben dabei konstant. Amplitude des Modulationssignals und die Abweichung der Phasenlage des Trägersignals sind proportional und wird als Phasenhub bezeichnet. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, eine Phasenmodulation zu erzeugen: Überlagerung  $90^\circ$  verschobener AM-Schwingungen, Überlagerung  $90^\circ$  verschobener Seitenschwingungen, mittels nachgeschaltetem Phasenschieber und als FM mit frequenzabhängiger Modulationsspannung.

### 3.1.2. Digitale Modulation

Die digitale Modulation ist eigentlich eine Tastung. Die einfachste Art der digitalen Modulation ist das Übertragen des Morsealphabets. An diesem Beispiel sieht man auch, daß die Nachricht vorher in einen digitalen Code gebracht werden muß. Anders als beim Morsealphabet ist heute die Dauer (Schrittgeschwindigkeit) der einzelnen Zeichen immer konstant und wird als Bit bezeichnet. Die maximale Übertragungsrate gibt man in bit/s (Bit pro Sekunde, bit/s) an, es ist die maximale Rate, bei der die Zeichen noch für den Empfänger erkennbar übertragen werden können ohne zerstört zu werden. Die Qualität wird dabei in der BER (Bit Error Rate - Bitfehlerhäufigkeit) angegeben. Eine BER von  $10^{-2}$  zeigt 1 Fehler auf 100 Bit an.

Die Tastung kann im Nieder- oder Hochfrequenzbereich erfolgen. Je nachdem, welcher Parameter bei der Wechselstromtastung beeinflusst wird, spricht man von Amplituden-, Frequenz- oder Phasenumtastung. Im Englischen wird dies als „Shiftung“ benannt, dann unterscheidet man ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying).

### **Amplitudenumtastung**

Bei der ASK wird die Trägerfrequenz im Takt der digitalisierten Information zwischen zwei oder mehreren diskreten Stufen umgeschaltet. Beim Sonderfall der binären ASK (On-Off-Keying, OOK) ist die Amplitude der Trägerschwingung entweder 1 oder 0. Dabei treten neben der eigentlichen Trägerfrequenz noch ganzzahlige Vielfache der Modulationsfrequenz auf, deren Amplitude mit zunehmendem Abstand von der Trägerschwingung abnimmt. Durch die Seitenschwingungen werden die für die Übertragung vorhandenen Frequenzen sehr stark reduziert, was für ein effizientes System nicht sinnvoll ist. Mit Hilfe eines nachgeschalteten Bandpasses kann man dieses Problem etwas beseitigen. Eine Unterbrechung der Leitung oder ein Senderausfall kann durch dieses Verfahren nicht erkannt werden.

### **Frequenzumtastung**

Die Frequenzumtastung kann in einem harten oder weichem Modus ausgeführt werden. Im harten Modus wird bei einem Wechsel von 1 und 0 die Frequenz einfach umgeschaltet. Dies kann durch die Auswahl von einzelnen Oszillatoren für die Wertestufen erfolgen, dies führt allerdings zu relativ großen spektralen Nebenseitenbändern, was eine hohe Bandbreite des Sendesignals bedingt. Die Methode der weichen Tastung (CPFSK - Continuous Phase FSK) bringt ein langsames Umschalten der Frequenz und weniger Spektralanteile mit sich und es muß kein Sendefilter eingesetzt werden. Dies wird durch den Einsatz nur eines Oszillators erreicht, der dann sehr schnell von einer Frequenz zur anderen umgestimmt wird. Diese Methode bringt einen kontinuierlichen Phasenverlauf bei Frequenzänderung. Durch die Einführung der weichen Tastung wurde ein Nachbarkanalbetrieb (Frequenzmultiplex) erst möglich, da die Bandbreite sehr klein ist und Spektralanteile sich mehr um die Mittenfrequenz konzentrieren.

### **Phasenumtastung**

Die Empfindlichkeit gegenüber Störspannungen ist hier am kleinsten. Hier wird die Phase sprungartig geändert, dies muß nicht im Nulldurchgang der Schwingung passieren. Das PSK gewinnt in heutiger Zeit immer mehr an Bedeutung, da die technischen Voraussetzungen erst mit der Einführung integrierter Schaltkreise sinnvoll zu verwirklichen war. Mit zunehmenden Maße wird in der Übertragungstechnik die mehrwertige Kodierung mittels Phasenumtastung eingesetzt. Mit einer logischen Schaltung wird das binäre Signal in ein ternäres, quaternäres oder oktonäres Signal umgewandelt. Jeder Bitkombination wird dann eine bestimmte Phase der Trägerschwingung zugeordnet. Durch die Übersetzung des Binärcodes in mehrwertigere Codes ist eine höhere Übertragungsrate möglich, was allerdings die Anforderungen an die Fehlerkorrektur in den Endsystemen erhöht.

Für heutige Anforderungen kommt oft die QPSK (4-PSK) zum Einsatz. Die Eingangsdaten liegen als bipolare Impulse vor, wobei die log. „1“ als +1 und die log. „0“ als -1 dargestellt wird. Bei einer Phasendrehung von  $180^\circ$  wird der Koordinatenursprung durchquert, dabei treten Einbrüche in der Hüllkurve auf. Bei Verstärkern mit hohem Wirkungsgrad (Klasse-C-Verstärker) treten durch die Nichtlinearitäten Intermodulationsprodukte auf, die zu

Nachbarkanalstörungen führen können. Man setzt modifizierte Modulationsverfahren mit relativ konstante Hüllkurven ein: OQPSK (Offset-QPSK) und MSK (Minimum Shift Keying). Es ist auch der Einsatz von differentiellen Verfahren (BPSK - Binary PSK) möglich, bei denen nur bei Änderungen in den Datenbits Phasensprünge auftreten. Diese Verfahren sind jedoch störanfälliger als nicht differentielle Verfahren.

Das MSK wird auch als FFSK (Fast FSK) bezeichnet, weil das Drehen der Trägerphase um einen Betrag  $h\pi$  während der Zeit  $T$  genau einer Frequenzumtastung mit dem Hub  $Dw$  entspricht ( $h$ -Modulationsindex,  $T$ -Bitdauer). Die Ausdehnung (Drehung) der Phase entspricht der Bitdauer (Full Response), was zu einer kontrollierten Interferenz führt. Kontrolliert deshalb, weil die Art der Beeinflussung der Bits bekannt ist und im Empfänger korrigiert werden kann. Frequenz- und Phasenverlauf weisen Knickstellen auf, was das Spektrum erhöhen würde. Durch eine Basisbandfilter mit Glättungsfunktion, z.B. Gaußscher Tiefpaß, kann das Signal geglättet werden. Dadurch wird aus der MSK eine GMSK (Gaußsches MSK).

### 3.2. Spread-Spectrum Transmission-Verfahren

Das eigentlich für militärische Zwecke entwickelte Spread Spectrum Transmission-Verfahren (Spreizband-Verfahren) ist bei entsprechender Auslegung abhörsicher und nicht störfähig. Für die Datenübertragung wird das Signal in einem viel breiteren Frequenzband als notwendig übertragen. Durch dieses Verfahren sinkt die Sendeleistung weit unter die konventioneller Systeme. Das Signal wird dadurch abhörsicher und schwer zu orten. Besonders die niedrige Ausgangsleistung macht es für Portable (quasistationärer Rechner) besonders interessant und die sich multiplizierende Strahlenbelastung auf die Organismen werden verringert oder zumindest nicht unnötig in die Höhe getrieben.

Eine Übertragung eines Sprachsignals mittels normaler Amplitudenmodulation benötigt

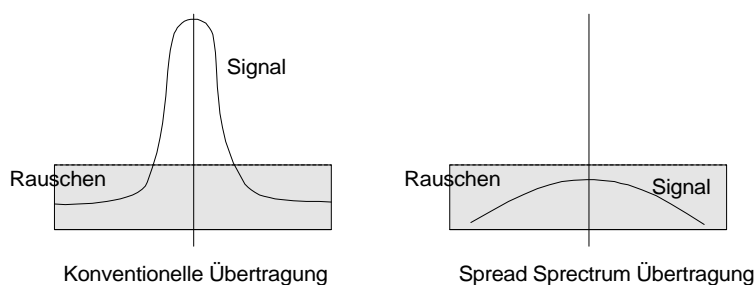


Abbildung 3.2-1 Signalvergleich [4, S. 74]

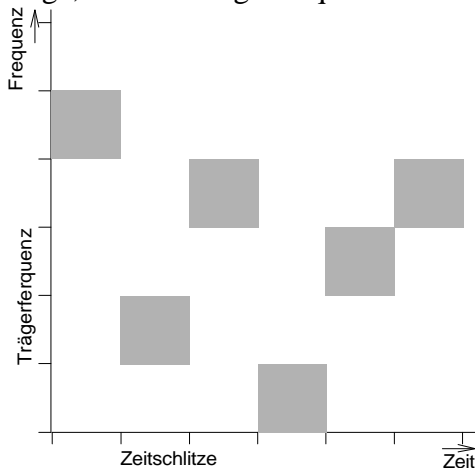
nur die doppelte Bandbreite des Ursprungsignals. Im Spread Spectrum-System benötigt man dazu einige Megahertz Bandbreite. Durch diese Aufweitung können Daten in einem nicht störungsfreien Signalisierungsband sicher und fehlerfrei übertragen

werden. Durch die Weiterentwicklung auch im zivilen Bereich und dem drastischen Preisverfall in der Mikroelektronik ist es auch für nichtmilitärische Anwendungen einsetzbar. Für drahtlose LAN's kommen das FH- (Frequency Hopping) und das DS- (Direct Sequence) Verfahren zum Einsatz. Weitere Informationen zum Spreiz-Spektrum-Verfahren findet man auch unter dem Thema CDMA / Codemultiplex.

#### FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum Transmission

Beim FHSS-Verfahren (Frequency Hopping Spread Spectrum) wird das Nutzsignal auf ein permanent die Frequenz wechselndes Trägersignal aufmoduliert. Die Frequenzwechsel können pseudo-zufällig oder nach einer vorher festgelegtem Reihenfolge erfolgen. Sender und Empfänger müssen allerdings aufeinander synchronisiert sein, was eine komplexe Schaltung und dadurch höhere Kosten bedingt. Auf der anderen Seite ist dieses Verfahren sehr sicher und gegenüber Interferenzen weniger anfällig als das DSSS-Verfahren. Eine

Störfrequenz (z.B. Kopierer, Drucker, PC, Funktelefon) stört die Signalübertragung nur so lange, wie die Trägerfrequenz sich in diesem Bereich befindet.

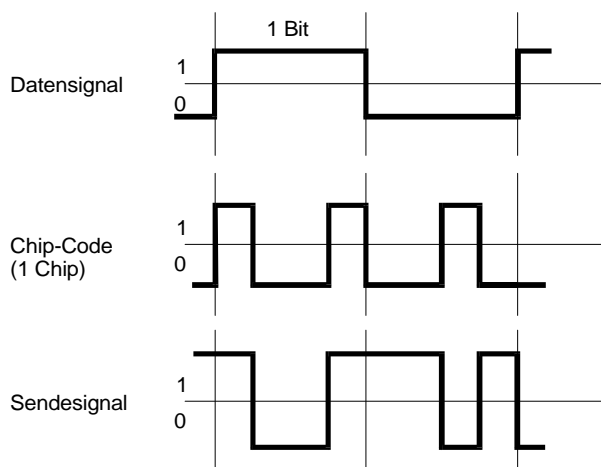


Über einen Sequenz-Generator wird eine pseudo-zufällige oder vorher festgelegte Bit-Reihenfolge erzeugt und im Frequenzsynthesizer die dauernd wechselnde Trägerschwingung erzeugt. In der Modulationsstufe werden die beiden Signale wie gewohnt moduliert und dann gesendet.

Abbildung 3.2-2 FHSS-Verfahren [4, S. 75]

### DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum Transmission

Im DSSS-Verfahren ersetzt man jedes einzelne Nutzbit durch einen binären Code (Chip-Code). Die 0 und 1 der Nutzbits werden mittels einem n-Bit langen Code umgesetzt, wobei die Datenmenge zunimmt und für einen effektiven Einsatz die Übertragungsleistung



gesteigert werden muß. Wie auch beim FHSS-Verfahren müssen Sender und Empfänger den gleichen Code besitzen. Jedes Bit wird mit diesem Code umgesetzt, es kommen Codes mit einer Länge von 11 bis 1024 Bit zum Einsatz. Je nach Codelänge erhält man einen Spreizfaktor (Prozeßgewinn), der sich aus dem Verhältnis von Code-Bitrate (Chip-Bitrate) zur Nutz-Bitrate zusammensetzt.

Abbildung 3.2-3 DSSS-Verfahren [4, S. 76]

In diesem Beispiel wurde ein 4-Bit-Code mit einem 1-wertigen Chip verwendet. Das bedeutet, daß das

Nutzsignal mit 4 Bit codiert wird und bei einer Original „1“ wird der Chip-Code so übernommen, bei einer Original „0“ invertiert man den Chip-Code.

Das Nutzsignal wird im Sender mit dem Chip-Code in einer EXOR-Funktion verknüpft und dann wie bekannt auf das Trägersignal aufmoduliert. Im Empfänger entfernt man erst den Chip-Code. Aus diesem Signal wird der Takt für den nächsten Chipcode zurückgewonnen. Anschließend wird das Signal demoduliert und kann weiter verarbeitet werden. Durch dieses Verfahren ist eine sehr gute Fehlererkennung möglich und der Schutz der Daten ist so lange gewährleistet, wie der Chip-Code gesichert ist. Der Chip-Code ist ähnlich zu behandeln, wie die PIN (Personal Identifier Number) eines Funktelefons.

### 3.3. Infrarotsysteme

Infrarot- und Funksysteme sind sich von ihrem netzwerktechnischen Aufbau her sehr ähnlich, so daß beide für drahtlose LAN's in Frage kommen. Der Frequenzbereich von Infrarotsystemen liegt um 300 THz. Unterschiede zwischen Funk- und Infrarotsystemen liegen in der Abstrahlcharakteristik und der Reichweite. Für die Infrarotübertragung ist immer eine Sichtverbindung notwendig, diese kann als Punkt-zu-Punkt, gerichtet oder diffus ausgelegt werden. Die drei genannten Möglichkeiten unterscheiden sich sehr stark in ihrer Anwendbarkeit bezüglich Reichweite, Datenübertragungsrate, Ausrichtung und Ausbreitungsverhalten.

In Lasersystemen findet immer eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung statt, dabei sind die Achsen von Sender und Empfänger starr aufeinander ausgerichtet. Es können Reichweiten bis zu 2 km bei einer Übertragungsrate von 10 Mbit/s erreicht werden. Bei gerichteten Systemen muß sich der Empfänger innerhalb der Sendekule des Systems befinden, bei gleicher Übertragungsrate verringert sich die Reichweite auf 20 m. Bei diffusen Systemen besteht die Möglichkeit einer indirekten Sichtverbindung, wobei die Reichweite hier am geringsten ist (9 m bei 1 Mbit/s). Infrarotsysteme eignen sich besonders für den Einsatz in Gebäuden, da sie sehr stark witterungsabhängig (Nebel, Dunst, Regen) sind.

Eingesetzte Sender und Empfänger entsprechen denen in der LWL-Technik. Als Sender kommen meistens GaAs-Leuchtdioden (Gallium Arsenid,  $\lambda = 950$  nm) und GaAlAs-Leuchtdioden (Gallium Aluminium Arsenid,  $\lambda = 875$  nm) zum Einsatz, deren Wirkungsgrad ca 6 % beträgt, zum Einsatz. Die Abstrahlcharakteristik kann diffus oder punktförmig sein. Auf Empfängerseite werden Si-Photodioden mit Tageslichtsperrfilter eingesetzt. Die Infrarotsignale werden mittels einer Konvexlinse oder eines Parabolspiegels gebündelt und in der Photodiode wieder in elektrische Signale umgewandelt. Es könne die bisher bekannten Modulationsverfahren ohne Einschränkungen eingesetzt werden.

### 3.4. Spezifikationen zum Funk-LAN

Drahtlose lokale Netzwerke existieren seit einiger Zeit in den verschiedensten Formen. Drahtlose LAN's kann man als Erweiterung seines Inhouse-LAN's betrachten, bei dem vor allem im professionellen Bereich ein optimierteres Arbeiten möglich ist. Diese Netzwerke können zum Beispiel zur Verwaltung von großen Lagerbeständen oder in Verbindung mit dem GPS (Global Positioning System, Satellitenortung) zur Flottensteuerung und Routenplanung eingesetzt werden. Drahtlose Netzwerke sind im Aufbau wesentlich flexibler und die Installationszeit beträgt nur einen Bruchteil der von fester Verkabelung. In der Zukunft werden sich sicherlich noch viele weitere Anwendungsmöglichkeiten ergeben.

Ein großer Unterschied von Datenfunk- und Sprachfunk-Systemen ist die Zeit- und Fehlertoleranz. Bei Sprachanwendungen ist das Wichtigste die Ende-zu-Ende-Verzögerung, diese sollte möglichst klein sein. Die Redundanz bei Sprache ist so groß, so daß die Bitfehler eher nebensächlich sind. Bei Datenanwendungen verhält es sich genau umgekehrt. Hier sind selten zeitkritische Anwendungen im Einsatz, so daß ein automatisches Wiederholen (Automatic Repeat Request) zur Bitfehler-Minimierung einsetzen kann. Systeme zum Datenfunk können optimierte Mobilfunknetze oder Bündelfunksysteme sein. Optimierte Mobilfunknetze gibt es derzeit von Motorola (RD-LAP - Radio Data Link Access Protokoll) und Ericsson (Mobitex), ein für Europa

spezifiziertes Bündelfunksystem ist TETRA. Alle diese Systeme arbeiten auf digitaler Basis.

Seit 1993 betreibt die DeTeMobil das MODACOM (Mobile Data Communication), das auf der Technik von Motorola basiert und folgende Leistungsmerkmale unterstützt:

- Paketorientierte Datenübertragung bis 9,6 kbit/s; Quittierung möglich,
- Gruppenverbindung,
- Verschlüsselung, Authentikation, Paßwort,
- geschlossene Benutzergruppen,
- Mailbox.

Die Netzstruktur ist der des GSM sehr ähnlich. Die BS (Basisstationen) versorgen die Funkzellen. Eine mehr oder weniger große Anzahl von BS werden durch eine ACC (Area Communication Controller) gesteuert. Über das darin enthaltene RNG (Radio Network Gateway) besteht die Verbindung zum Festnetz (Datex-P) über das X.25-Protokoll, wo auch das HLR und VLR (Kapitel 4) angebunden ist. Das RNC (Radio Network Controller) übernimmt die Aufgaben der Protokoll-Konvertierung von X.25 zu RD-LAP und zurück, Routingfunktionen, Fehlermeldung und Roamingunterstützung. Die gesamte Steuerung des Netzes erfolgt über das NMC (Network Management Controller). Es gibt verschiedene Möglichkeiten Daten auszutauschen. Die einfachste ist das Messaging, womit ein sehr schneller und flexibler Datenaustausch möglich ist. Weitere Möglichkeiten sind die Verbindung von einem X.25-Rechner zum Portable oder umgekehrt und der Gruppenruf von einem X.25-Terminal an mehrere Portables. Bei Nichterreichbarkeit schaltet sich automatisch die Mailbox ein.

Von der GFD (Gesellschaft für Datenfunk (RWE, Mannesmann, Deutsche Bank)) wird seit 1995 die von Ericsson entwickelte Mobitex-Technik eingesetzt. Der Aufbau ist dem von MODACOM sehr ähnlich. Das MOX (Mobitex Exchange Area) übernimmt die Aufgaben des RNG und das MHX (Mobitex Main Exchange) die des RNC. Die Daten lassen sich auch hier in einer Mailbox zwischenspeichern. Darüber hinaus kann das Mobitex-System auch zur Sprachübertragung eingesetzt werden. Der Leistungsbereich ist ähnlich dem GSM dynamisch geregelt.

	<b>MODACOM</b>	<b>Mobitex</b>
Frequenzbereich	Up-Link: 416-417 MHz Down-Link: 426-427 MHz	450 und 900 MHz-Bereich
Kanalabstand	12,5 kHz mit 30 Kanälen, einige hundert Terminals pro Kanal	
Luftschnittstelle	Motorola-Standard RD-LAP	Ericson-Standard ROSI (Radio Signaling)
Modulation	FDMA/FSK	GMSK mit BT = 0,3
Sendeleistung	BS: 6-25 W MS: max. 6 W	MS: 100 mW bis 10 W
Kanalzugriff	Slotted DSMA (Digital Sens Multiple Access)	R-ALOHA
Datenübertragung	paketorientiert bis 9,6 kbit/s, Quittierung der fehlerfreien Übertragung, Trellis Code, CRC Checksumme, BER $\leq 10^{-8}$ , max. Paketgröße 512 Byte	paketorientiert bis 8 kbit/s (Bruttorate), Quittierung mit selektivem ARQ, Hamming Code, 16 Bit CRC, Paketgröße 512 Byte
Zellradius	5-10 km	



Mit dem Bündelfunksystem TETRA werden nach und nach die alten Betriebsfunksysteme abgelöst. Das besondere an diesem System ist das direkte Sprechen zwischen zwei Handgeräten und der Einsatz eines Handgerätes als Repeater zur nächsten Basisstation. Über TETRA lassen sich sowohl Sprache als auch Daten in relativ guter Qualität übertragen, Gruppenrufe und geschlossenen Benutzergruppen realisieren. Es ist das erste Bündelfunknetz, das über Länder- und Staatsgrenzen hinweg ohne große Anpassungsprobleme einsetzbar ist.

#### **3.4.1. Spezifikationen IEEE 802.11**

Der IEEE 802.11-Standard für drahtlose LAN's wird trotz der Festlegung im Juni 1996 immer weiterentwickelt. Die ersten Versuche einen Standard festzulegen gehen auf das Jahr 1990 zurück, wo eine bei der IEEE eine Arbeitsgruppe gebildet wurde, die sich mit der mobilen Vernetzung von PC's beschäftigen sollte. Von der ETSI in Europa und der FCC in den USA wurden verschiedene Frequenzen mit unterschiedlichen Bandbreiten dafür freigegeben. Die heute eingesetzten Geräte arbeiten im 900 MHz und 2,4 GHz Frequenzband, wobei das lizenzfreie 2,4 GHz Band mit Datenraten von 1 und 2 Mbit/s, von der IEEE spezifiziert wurde. Im Standard wird nicht die Technologie oder Implementierung festgelegt, sondern vielmehr der PHY-Layer und der MAC-Layer beschrieben.

Im 802.11-Standard werden zwei Netzwerktypen definiert: Ad-Hoc-Netzwerk und Client/Server-Netzwerk. Das Ad-Hoc-Netzwerk ist ein einfacher Verbund von MS (Mobile Station) in einem kleineren Umkreis ohne die Benutzung eines Servers oder Access-Points. Jede MS muß dabei die Verbindung beobachten, so daß alle den gleichen Zugriff auf das Medium haben. Im Protokoll sind Entscheidungsmöglichkeiten implementiert, die jeder MS eine maximale Verfügbarkeit garantieren. Die Leistungswerte wurden so definiert, daß die EMV-Vorschriften (Elektromagnetische Verträglichkeit) eingehalten werden. In Europa ist ETSI zuständig und hat dies in den Dokumenten ETS 300-328 und ETS 300-339 festgehalten.

In einem Client/Server-Netzwerk kontrolliert ein Access-Point die Übertragungszeit aller MS und ermöglicht ihnen das Bewegen von einer Zelle zur nächsten. Im Access-Point wird der Datenverkehr zwischen MS und dem Backbone des Netzwerkes verwaltet. Der Access-Point entspricht der MSC (Mobile Switching Center) im GSM. Dieses Arrangement ermöglicht eine Punktkoordination aller MS in einem Gebiet und sichert die richtige Handhabung des Datenverkehrs.

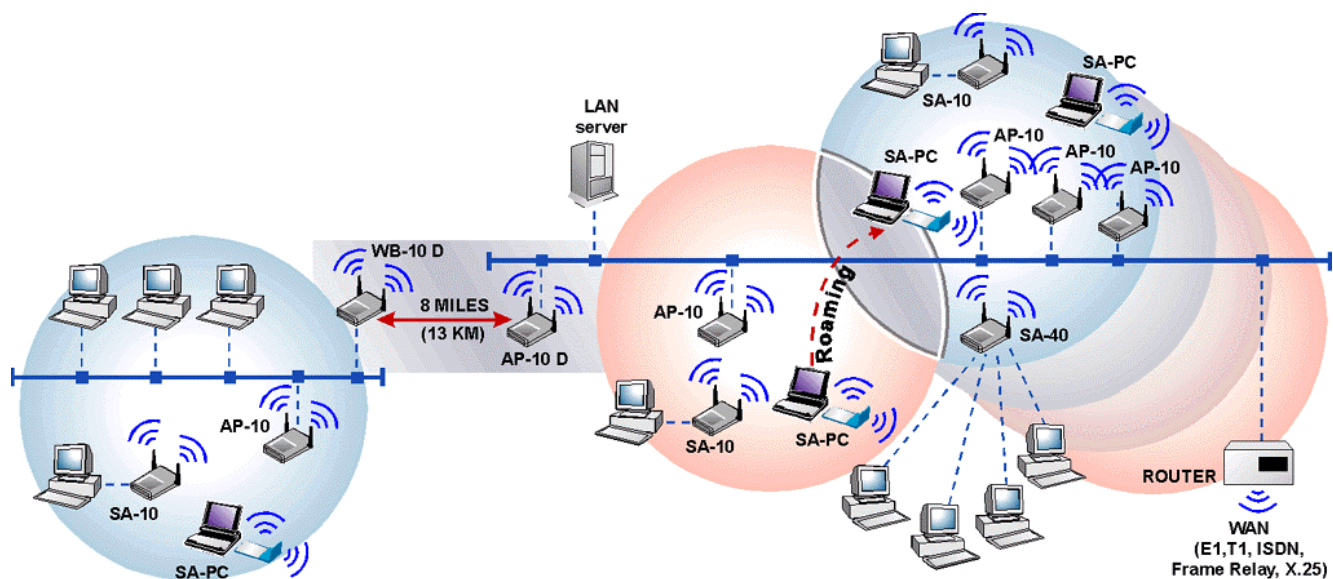


Abbildung 3.4-1 Prinzip eines Wireless LAN [Fa. Breezecom Inc.]

AP-XX - Access Point

SA-XX - Station Adapter

WB-XX - Ethernet Bridge

Im Bild ist ein komplettes drahtloses Netzwerk dargestellt, mit allen Möglichkeiten die der Standard bis heute bietet. Man kann sich mit dem Laptop von Zelle zu Zelle bewegen, ohne daß die Datenübertragung unterbrochen wird, beim Wechsel des Access Points findet dabei auch noch ein Roaming statt. Mit großen Außenantennen können zwischen speziellen Access Points bis zu 30 km erreicht werden.

### Physical Layer

Im Physical-Layer wird die Modulation und Signalcharakteristik für die Übertragung definiert. Es werden zwei Radio-Frequenz- und eine Infrarot-Methode unterstützt. Übertragungen im RF-Band erfolgen im Spread Spektrum-Verfahren, wobei die für das 2,4 GHz Band standardisierten DSSS- oder FHSS-Verfahren eingesetzt werden. Beide benutzen eine Bandbreite von 83 MHz von 2,4 GHz bis 2,483 GHz. Im Direct Sequence-Verfahren wird die Modulation mittels DBPSK (Differential Binary Shift Keying) oder DQPSK (Differential Quadrature Shift Keying) vorgenommen, die Datenrate beträgt 1 und 2 Mbit/s. Das Frequency Hopping-Verfahren benutzt das 2-4 fache GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) mit einer Datenrate von 1 Mbit/s. Die maximale Leistung ist in den Ländern unterschiedlich definiert: USA - 1W, Europa - 100mW, Japan - 10mW/MHz. Dies resultiert aus den unterschiedlichen Frequenzen, die in den Ländern benutzt werden. Die Wahl des Übertragungsstandards nach FHSS oder DSSS hängt von einer Vielzahl von Faktoren der Anwendungen des Benutzers und der Umgebung des Einsatzes des Systems ab.

Untere Grenze	Obere Grenze	Regulärer Bereich	Geographie
2,402 GHz	2,480 GHz	2,400 - 2,4835 GHz	Nord America
2,402 GHz	2,480 GHz	2,400 - 2,4835 GHz	Europa
2,473 GHz	2,495 GHz	2,471 - 2,497 GHz	Japan
2,447 GHz	2,473 GHz	2,445 - 2,475 GHz	Spanien
2,448 GHz	2,482 GHz	2,4465 - 2,4835 GHz	Frankreich

Der Infrarotsysteme sind spezifiziert von 850 bis 950 nm Band mit einer maximalen Leistung von 2 W. Die Modulation erfolgt im 4 oder 16 fach Pulse-Positions-Verfahren. Der Physical-Layer unterstützt Datenraten von 1 und 2 Mbit/s.

Der DSSS-Physical-Layer benutzt die 11-Bit Barker Sequenz zum Modulieren der Daten, d.h. jedes Bit wird in einen 11-Bit-Code umgewandelt. Alle IEEE 802.11 konformen Produkte benutzen den selben Code.

Im FHSS-Physical-Layer stehen 22 Hop Pattern (Sprungmuster) zur Auswahl. Im vorgegebenen ISM-Band von 2,4 GHz stehen 79 Kanäle mit je 1 MHz zur Verfügung. Der Rest zur definierten 83 MHz Bandbreite wird als Sicherheit auf die einzelnen Kanäle aufgeteilt. Die minimale Sprungrate (Hop Rate) muß von den Regulierungsbehörden der einzelnen Länder festgelegt werden. In den USA gilt eine Mindestsprungrate von 2,5 Hops/s.

Jeder Physical-Layer benutzt seinen eigenen Header zum Synchronisieren des Empfängers und zum Bestimmen, welche Signalmodulation und Datenpacketlänge vorliegt. Die Physical-Layer-Header werden immer mit 1 Mbit/s übertragen. Vordefinierte Felder im Header könne als Option die Datenrate auf 2 Mbit/s für die aktuellen Datenpakete anheben.

### MAC-Layer

Die MAC-Layer-Spezifikation ist ähnlich der des drahtgebunden Ethernet's (IEEE 802.3). Es wird das CSMA/CA-Zugriffsverfahren (Kapitel 2.6.4) verwendet, um in drahtlosen Systemen eine Kollisionserkennung durchführen zu können. MAC-Layer und Physical-Layer arbeiten bei der Energieverteilung für die Übertragung eng zusammen. Der Physical-Layer benutzt ein Clear Channel Assessment (CCA) Algorithmus zum Detektieren eines freien Kanals. Dieser ist in der Lage, die Energie an der Antenne zu messen und die Stärke des Signals zu detektieren, dieses Signal wird häufig als RSSI bezeichnet. Unterschreitet die gemessene Signalspannung einen bestimmten Schwellwert, dann wird der Kanal als frei erkannt und der MAC-Layer setzt den Kanal-Status als frei. Liegt die Signalspannung über dem Schwellwert, so wird der Datentransfer in Übereinstimmung mit den Protokollregeln aufgeschoben. Nach dem Detektieren eines freien Kanals beginnt die Übertragung nach dem CSMA/CA-Verfahren.

Die Datensicherheit ist durch eine komplexe Verschlüsselungstechnik, bekannt als WEP (Wired Equivalent Privacy Algorithm), ermöglicht. WEP basiert auf der Sicherung der zu übertragenen Daten unter Verwendung eines 64-Bit-Schlüssels und dem RC4 Verschlüsselungsalgorithmus. WEP verschlüsselt nur das Datenpaket und nicht die Header-Informationen des Physical-Layer, so daß die anderen Stationen die Kontrolldaten mithören können und das Netzwerk verwaltet werden kann. Weitere Sicherheitsfunktionen sind im Standard als Option mit vorgesehen.

Für Anwendungen in Laptops oder anderen Mobilgeräten, die auf Batteriebasis arbeiten, verfügt der MAC-Layer über ein Powermanagement. Im Protokoll sind außerdem Vorkehrungen getroffen, daß die Station für eine bestimmte Zeit, die von der BS bestimmt wird, in den Sleep-Mode geht.

### 3.4.2. Beispiele für drahtlose LAN`s

Der Standard bildet eine Grundlage die jeder Zeit erweitert werden kann und soll. Es werden Definitionen folgen, die eine höhere Datenrate und höhere Frequenzbänder festlegen.

#### **DECT - Digital European Cordless Telephone**

Eine der bekanntesten ist in Europa DECT-Standard, der von der ETSI entwickelt wurde. Dieser Standard ist für die Kommunikation mit tragbaren Geräten in Gebäuden gedacht, die Reichweite beträgt ca. 100 Meter. Das im 1,9 GHz-Bereich betriebene System ist hauptsächlich auf die Übertragung von Sprache ausgerichtet, was auf die beteiligten Firmen und Behörden der einzelnen Länder zurückzuführen ist.

Das DECT-System hat eine Kapazität von 10 Kanälen mit je 12 gleichzeitig aktive Terminals. Jede DECT-Zelle erhält eine Frequenz zugeteilt, der Durchmesser beträgt 25 Meter. Die Kontrolle übernimmt ein Fixed-Part, der über ein Kabel mit einem Backbone verbunden ist. Er teilt den Portables die Ressourcen zu. Diese können sich von Zelle zu Zelle bewegen und werden dabei transparent weitergereicht.

Ein LAN-System auf DECT-Basis wurde von Olivetti entwickelt. Die Übertragungsrate beträgt unverschlüsselt 768 kbit/s, bei Verschlüsselung sind maximal 614 kbit/s übertragbar. Bei gleichzeitiger Sprachübertragung sinkt die Datenrate ab.

#### **Arlan - Funknetz**

Arlan-Funknetze benutzen das DSSS oder das FHSS mit einer Leistungsrate von 2 Mbit/s pro Kanal. Beim DSSS sind 5 Funkkanäle und beim FHSS 79 Hop-Kanäle verfügbar. Die Sendeleistung beträgt 100mW bei einer Reichweite innerhalb von Gebäuden von 150 Metern mit einer typischen Zellgröße von 4500 m<sup>2</sup>. In Außenanlagen sind 300 m und bei Sichtverbindung der Antennen bis zu 4 km erreichbar. Im Frequenzband von 2,4 GHz bis 2,4835 GHz können maximal 2048 Client-Stationen verwaltet werden. Die Funkkapazität ist je nach eingesetztem Übertragungsverfahren auch unterschiedlich. Im DSSS beträgt die maximale Funkkapazität 6 Mbit/s (3 Kanäle mit je 2 Mbit/s). Mit dem FHSS-Verfahren können maximal 10 Mbit/s übertragen werden. Der Betrieb nach ETS 300 328 (Europäisches Standardsystem) ist Lizenz-, Anmelde- und Gebührenfrei. Durch die geringe Sendeleistung werden auch alle bisher gültigen Richtlinien für Personenschutz bei Funkausbreitung (EMVU) eingehalten. Die Feldstärke- und Leistungsflußwerte liegen noch weit unterhalb der DIN VDE 0848 Grenzwerte.

#### **Installationsbeispiel von Breezcom auf dem Wiener Flughafen**

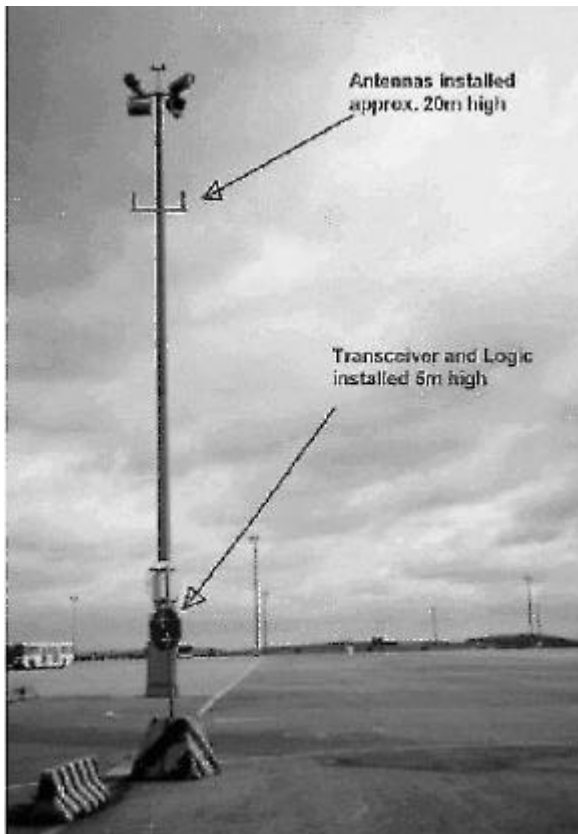


Abbildung 3.4-2 Antenne Wiener Flughafen

Auf dem Wiener Flughafen wurde ein drahtloses Netzwerk installiert, das auf dem IEEE 802.11-Standard beruht. Es wurden verschiedene Access Points installiert, einige auf den Dächern, andere an 20 m hohen Masten und in einigen Fahrzeugen der Flugwacht und Rettungsmannschaften. Unter idealen Bedingungen ist eine Verbindung über 3 km möglich. Die Übertragungsrate liegt bei maximal 3 Mbit/s und stuft sich bei schlechtem Signal auf 2 oder 1 Mbit/s selbstständig herunter. Die Fahrzeuge wurden mit IBM-ThinkPads und PCMCIA-Karten ausgestattet, so dass eine direkte Kommunikation vom Flughafen via PC mit den Leitstellen möglich ist. Da nicht das gesamte Flughafen abgedeckt werden konnte und es Funkschatten gab, mußte am Laptop eine Feldstärkeanzeige installiert werden. Quelle: <http://www.breezcom.com/>

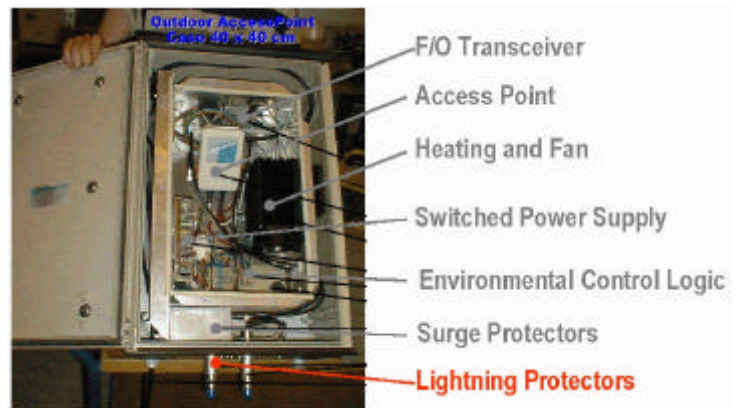


Abbildung 3.4-3 Steuerungseinheit an Außenantenne