

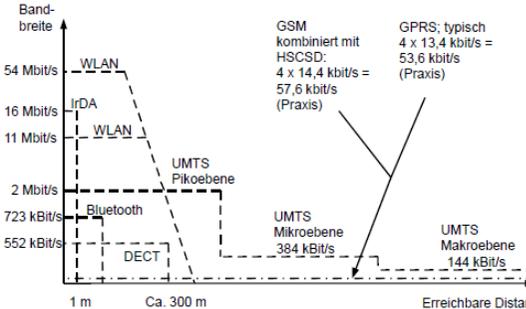
# Kp 9 Grundlagen Funktechnik

## Einführung

Frequenzspektrum: 15kHz – 300GHz | begrenzte Bandbreite | Wartungs- und Verschleißfrei, schmutzige Umgebung, uneingeschränkte Mobilität

## Die Ausbreitung von Funkwellen

Bitrate und Reichweite entscheidend



## Dämpfungen auf dem Übertragungsweg

Empfangene Leistung nimmt quadratisch mit der Distanz ab

$$P_{db} = 10 \cdot \log(P/P_0) \quad ; \quad \text{typische Werte bei 800 MHz:}$$

Büro-Möbel (dB/m)	1 dB
Fertighauswand (23cm)	1 dB
Kalksandstein (24cm)	4 dB
Holz (17cm) Fichte, Tannen	5 dB
Hochlochziegel (11,5cm)	5 dB (1900MHz)
Stahlbeton (16cm, trocken)	7 dB
Stahlbeton (16cm, feucht)	16 dB
Feinmaschiges Insektengitter	35 dB
Kupfergeflecht (1mm Maschenweite)	45 dB
Dampfsperre (mit Aluminiumfolie)	65 dB

## Mehrwegausbreitung

Schwund (fading): teilweise Auslöschung des direkten Signals durch Signalanteil des Reflektierten Pfads.

Ausgleich der Phasenlage durch Senden eines bekannten Musters. (Bei PSK)

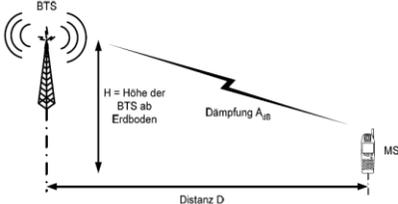
$$P = P_0 / r^x \quad (\text{freiraum: } x=2; \text{ 2 Wege } x=4; \text{ n Wege } x \text{ zwischen 2 und 5})$$

## Relevanz von Dämpfung und Mehrwegausbreitung

20cm Betonwand entspricht Verdoppelung des Abstands.

Mehrwegsituation hat den stärksten Einfluss auf die Empfangsleistung

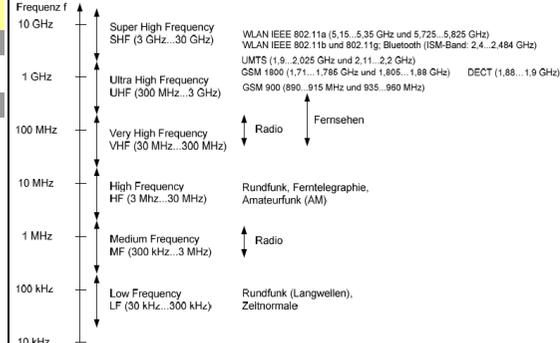
## Das Okumura-Hata-Modell



$$A_{db} = 69.55 + 26.16 \log(F) - 13.82 \log(H) + [44.9 - 6.55 \log(H)] \cdot x \log(D) + C$$

(F = Trägerfrequenz in MHz; H = Höhe der BTS-Sendeanenne über Erdboden in m; D = Distanz zwischen Sende- und Empfangsantenne in km; C = Umweltkorrekturfaktor: Grosstadt: 0 dB, städtisches Gebiet: -5 dB, Vorstädtisches Gebiet: -10 dB, Landgebiet: -17 dB)

## Frequenzspektrum



## Regulatorisches

International von ITU-T geregelt  
ISM-Bänder (Industrial, Scientific, Medical) frei verwendbar (Leistung begrenzt)

Frequenzbereich	Einsatzgebiet
13,553 ... 13,567 MHz	Funkketten (Smart Tags)
26,957 ... 27,283 MHz	Modellbau-Fernsteuerungen
40,66 ... 40,700 MHz	Spielekonsolen
433,05 ... 434,79 MHz	Short Range Devices (SRD): Funk-Thermometer, Funk-Schalter/Dimmer, Türöffner für Autos, Garagensor-Offner, Telemetrie, Funkketten (Smart Tags)
868 ... 870 MHz	Short Range Devices (SRD): Funk-Kopfhörer, Telemetrie, Funkketten (Smart Tags)
2,400 ... 2,50 GHz	Drahtlose Videokameras, WLAN, Bluetooth, Funkketten (Smart Tags), Mikrowellenöfen
5,725 ... 5,875 GHz	Short Range Devices (SRD): Funkketten, Smart Tags
24,0 ... 24,25 GHz	Nahbereichs-Radar für Autos
122,0 ... 123,0 GHz	Künftiger Bereich für WLAN, künftiger Bereich für Nahbereichs-Radar für Autos
344,0 ... 246,0 GHz	Spektrometer für chemische Analysen

## Kanalzugriffsverfahren

### Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Einem Kanal wird eine bestimmte Frequenz zugeordnet. (Verschwendung während Sendepause) Bei DECT und GSM sowohl TDMA wie auch FDMA

### Time Division Multiple Access (TDMA)

Steuersignale und Synchronisationsverfahren notwendig. Schutzzeit gegen Schwankungen.

Bei GSM reicht Schutzzeit nicht -> Distanz ermitteln und evtl. zu früh senden.

### Code Division Multiple Access (CDMA)

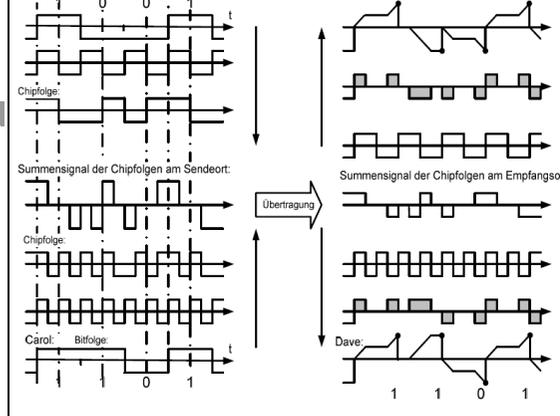
Anstatt 0 oder 1, wird ein Chip gesendet. (Praxis 256-1024 Bitfolge)(UMTS:512). Chipfolgen unterschiedlicher Kommunikationen sind orthogonal.

$$\int_0^T q(t) \cdot y(t) dt = 0 \quad ; \quad \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} = 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1) + 1 \cdot 1 = (-1) + (-1) + 1 + 1 = 0$$

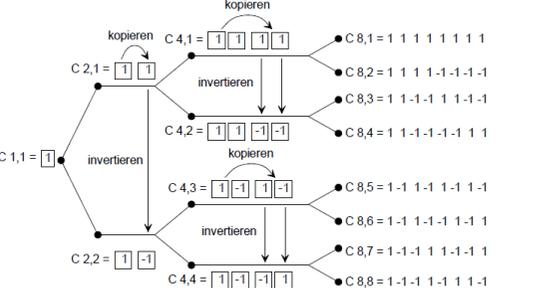
Nutzsignal + 4 Chip Code -> Bandspreizung mit Spreizfaktor 4 (da Frequenz \* 4)  
Übertragungsbandbreite = Nutzsignalbandbreite \* Spreizfaktor

Auch Spread Spectrum Systems genannt.

Beispiel:



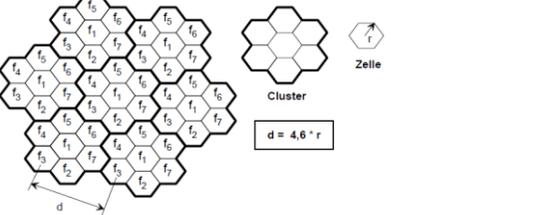
## Erzeugung von Orthogonalen Codes:



In der Praxis Pseudozufallssequenzen. Orthogonalität meist genügend, nicht perfekt

## Zellulare Netze mit Space Division Multiple Access (SDMA)

Begrenzung der Funkzonen durch geringe Sendeleistung (Pro Zelle eine Sende/Empfangsstation). Gruppen von n Zellen werden zu Clustern zusammengefasst.



Bei 19 Frequenzen  $d = 13 \cdot r$  ; Bei 7 Frequenzen  $d = 4.6 \cdot r$   
Mobilteilnehmer bewegt sich -> Handover-Algorithmen (Seamless Handover)  
1 Gespräch braucht 2 Kanäle. (Kreisfläche =  $\pi \cdot r^2$ ; 6Eckfläche =  $\sqrt{3} \cdot (2r)^2 / 2$ )

## Bandpreizverfahren

### Abgrenzung: CDMA als Kanalzugriffsverfahren und als Bandpreizverfahren

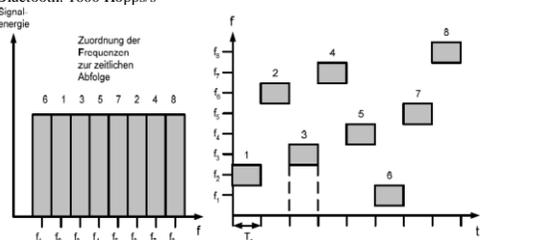
Für Militär entwickelt -> schwierig abzuhören und Robust gegen Störsender

### Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Entspricht ungefähr CDMA (Chipfolge = Spreizecode)  
Frequenzspektrum wird durch Chipfolge gespreizt (ausgeweitet) -> Bandpreizverfahren

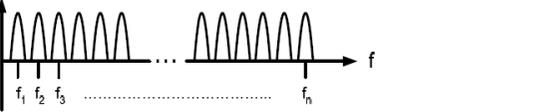
### Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Sender und Empfänger müssen genau abgestimmt sein bezüglich Hopping-Rate und Hopping-Pattern. (Patterns so ausgelegt, dass Wahrscheinlichkeit, dass 2 Sender den gleichen Kanal wollen gering) Wenn Fehler, dann ARQ (Automatic Repeat Request)  
WLAN: (2.40-2.4835 GHz) 79 Subkanäle 2.5 Hopps/s  
Bluetooth: 1600 Hopps/s



## Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM ist ein Verfahren, bei dem mehrere zueinander orthogonale Subträger  $f_1, \dots, f_n$  verwendet werden (siehe Abb. 9.34). Das OFDM-Verfahren wird auch DMT (Discrete Multi Tone)- Verfahren genannt. Das Prinzip ist ein Multiträgermodulations-Verfahren.



Einsatz: ADSL  
Rechenintensive Signalverarbeitung, unempfindlich gegenüber Fading  
Resultierende Verbindung weniger durch Echo und Reflexion beeinträchtigt.

## Duplexverfahren

### Frequency Division Duplex (FDD)

Hin- und Rückkanal mit FDMA realisiert.  
Anwendung: GSM (je 124 Up und Down Kanäle um 900 MHz)  
(höhere Trägerfrequenz hat kleinere Reichweite) -> Uplink tiefere F

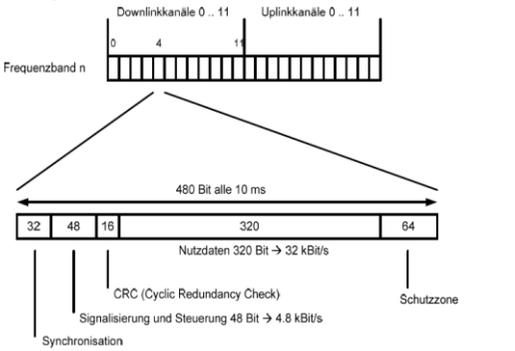
## Time Division Duplex (TDD)

Zeitmultiplex verfahren. -> Schutzzeit nötig  
Anwendung: DECT

## Zwei Anwendungsbeispiele der Funktechnik

### Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT)

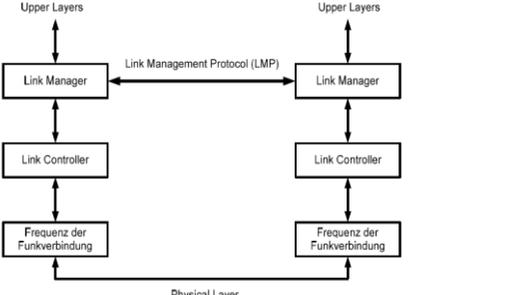
Überbrückung von kurzen Distanzen von Engerät zu Basisstation  
Zugangstechnologie (keine Beschreibung des Netzwerk)  
10 Kanäle mit je 12 Up- und 12 Downlinkkanäle  
Kanäle können für Datenübertragung gebündelt werden.  
Frequenzband (1880-1900MHz) Kanal 1: 1897.344 ; Differenz immer 1.728 MHz  
DCS (Dynamic Channel Selection) Wahl aus 120 Kanälen



Zeitschlitz für einen der 24 Kanäle dauert rund 416,7 Mikrosekunden

## Bluetooth

Verwendet ISM Band  
Standardreichweite: 10m  
LMP: Verbindungsaufbau mit Verbindungscodes, Authentifizierung, Verschlüsselung, Aushandlung Basisband-Packetgröße  
Frametyp: ACL (Asynch. Connection Less) oder SCO (Synchr. Conn. Orientated)



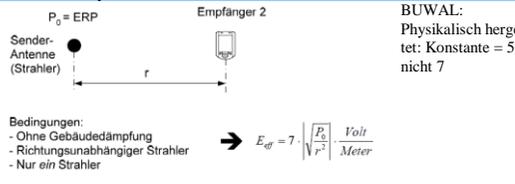
Symmetric ACL: 433.9 kBit/s ; Asymmetric ACL: 723.2 kBit/s / 57.6 kBit/s  
Klasse1: 100mW (Industrie) ; Klasse2: 5mW ; Klasse3: 1mW (Handy)

## Elektrosmog, Umweltverträglichkeit

### NIS-Verordnung

Funkdienst	Immissionsgrenzwert für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke (Volt pro Meter)
GSM 900, GSM-Rail	42 V/m
GSM 1800	58 V/m
UMTS	61 V/m

## Zahlenbeispiel für GSM



## Praxis: Emittierte Strahlungsleistungen von WLAN

Die Emission von Access Points	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
Abstand des Messpunkts zum Access Point bei freier Sicht		
1.0 m	7.4 Milliwatt/m <sup>2</sup>	4.1 Milliwatt/m <sup>2</sup>
1.5 m	1.6 Milliwatt/m <sup>2</sup>	0.9 Milliwatt/m <sup>2</sup>
2.0 m	1.4 Milliwatt/m <sup>2</sup>	0.9 Milliwatt/m <sup>2</sup>
2.5 m	2.2 Milliwatt/m <sup>2</sup>	0.3 Milliwatt/m <sup>2</sup>
3.0 m	1.9 Milliwatt/m <sup>2</sup>	0.7 Milliwatt/m <sup>2</sup>