



Lerneinheit 3: „Aufbau von Funknetzen (WLAN) und Mobilfunknetzen“

Einleitung

Nachdem die physikalischen Grundlagen im zweiten Kapitel abgehandelt wurden, wollen wir uns nun ansehen, welche Arten von Funknetzen im Einsatz sind, wo ihre jeweiligen Stärken und Schwächen liegen und was die weitere Entwicklung in naher Zukunft bringen wird.

Inhalt

Lerneinheit: „Aufbau von Funknetzen (WLAN) und Mobilfunknetzen“	1
Wireless LAN - WLAN	2
Einsatzmöglichkeiten.....	2
Aufbau eines konventionellen LAN und eines WLAN.....	3
IEEE 802.11	4
Datenzugriff	4
Initiierung und Betrieb einer Funkverbindung.....	9
Roaming	9
Ad-hoc Netzwerke	10
Vertreter des WLAN	11
Bluetooth.....	11
IrDA 11	
HiperLAN	12
Wireless Local Loop - WLL.....	12
Mobilfunknetze	13
Private Mobile Radio - PMR.....	13
Zellulare Mobilfunknetze	14
Literatur.....	21

Wireless LAN - WLAN

„A wireless LAN (WLAN) is a data transmission system designed to provide location independent network access between computing devices by using radio waves rather than a cable infrastructure.“ (3com 2000)

Wireless LAN bietet zurzeit für mobile User die einzige effiziente Möglichkeit, größere Datenpakete unabhängig von bestehenden Kabelnetzinfrastrukturen auszutauschen. Es nutzt das weltweit freigegebene 2,4-2,4835 GHz-ISM-Band (Industrial-, Scientific-, Medical-Band) zur Datenübertragung mittels Funkwellen. Dabei werden Geschwindigkeiten von bis zu 11 bzw. 54 MBit/s bei Nutzung von IEEE 802.11b bzw. IEEE 802.11g über Entfernungen von maximal 15 km (mittels Richtfunk) realisiert. Somit ermöglicht es die Inanspruchnahme mobiler Geobasisdienste wie etwa die Versorgung mit digitalem Kartenmaterial oder Satellitenbildern im freien Feld. Die Einsatzmöglichkeiten beschränken sich jedoch keineswegs auf geowissenschaftliche Fragestellungen. Wie Mobilfunknetze auch kommen sie vermehrt im Alltag als Überbrückungsmöglichkeit der im Kapitel zwei diskutierten letzten Meile zwischen Internet Provider und Nutzer zum Einsatz. Heimische Rechner, mittels einer kleinen Zusatzkarte in ein WLAN integriert, verfügen i. d. R. über einen deutlich schnelleren Netzanschluss, als dies beispielsweise der ISDN-Anschluss zulässt.

Einsatzmöglichkeiten

Wireless LAN wird vor allem dort eingesetzt, wo eine vollständige Verkabelung von Netzwerkknoten im Hinblick auf den Kosten- und/oder Zeitaufwand zu teuer wäre oder auch schlichtweg unerwünscht ist. Im Folgenden sollen einige Beispiele genannt werden, um ein Gefühl für die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von WLAN zu gewinnen.

Orte wie z.B. Flughäfen, Häfen oder auch Räume in Hochhäusern oder denkmal-geschützten Gebäuden, die für die Installation eines LAN nicht geeignet oder genehmigt sind, können über WLAN mit relativ geringem Aufwand vernetzt werden. Der Installationsaufwand für ein Funknetzwerk ist dabei geringer als bei der Vernetzung mit Kabeln.

Neben den fest installierten WLAN kommen auch temporäre Netzwerke zum Einsatz, die z.B. bei Ausstellungen, Katastropheneinsätzen und Militäreinsätzen benutzt werden. Von besonderem Interesse ist dabei die Kopplung von WLAN mit mobilen Endgeräten, welche z.B. in Krankenhäusern, in der Industrie oder auch im Geobereich eingesetzt werden können. Mit ihnen lassen sich - just-in-time - Daten abrufen (z.B. das Krankenblatt eines Patienten oder - im Geobereich - Kartenlayer vom Datenserver des Instituts oder der Firma) bzw. speichern (wie z.B. Standortdaten gleich nach Beendigung der Erhebung im Gelände).

Im Bereich geowissenschaftlicher Fragestellungen sind die Einsatzmöglichkeiten eines Wireless LAN im Outdoorbereich sehr stark von den topographischen und topologischen Bedingungen abhängig. Unter der Prämisse einer freien Sichtverbindung (*Line of Sight*) lassen sich maximale Datenraten von 20 MBit/sek über eine Entfernung von bis zu 15km zwischen mobilen Klienten und quasi-stationären (Relais-) Stationen realisieren. Dies setzt jedoch den Gebrauch von Richtstrahlantennen voraus, deren dynamische Justierung im freien Feld technisch sehr aufwendig und teuer ist. Hierzu müssen Trackingdaten des mobilen Klienten zur automatischen Kalibrierung der Basisantenne genutzt werden, während sich mobile Anwender mittels eines Voltmeter selbst ausrichten könnten. Dieses Prinzip restringiert jedoch die Anzahl der mobilen Klienten.

Die Verwendung von omnidirektionalen oder Sektorantennen beschränkt den Einsatzradius auf maximal einige Kilometer. Diese Antennen erlauben eine einfache Ausrichtung und lassen sich ohne weiteres am mobilen Gerät selbst oder aber am Rucksack befestigen.

Die folgende Übersicht gibt einen ersten Einblick in die Vor- und Nachteile des WLAN:

Vorteile:

- erhöhte Mobilität der Nutzer und des Netzwerkes
- höhere Flexibilität
- Zeit- und Kostenersparnis beim Aufbau eines Netzwerkes

Nachteile:

- geringere Übertragungsraten als in einem LAN
- geringere Reichweite
- Wireless LANs sind störanfälliger als konventionelle LANs
- Funksignale breiten sich aus, können also auch von nicht-autorisierten Stationen empfangen werden

Bevor man jedoch den Einsatz eines WLAN anstelle eines konventionellen LAN in Erwägung zieht, sollte man sich ein grundlegendes Verständnis der technischen Unterschiede, der möglichen Fehlerquellen und der dem WLAN zugrundeliegenden Standards verschafft haben. Dies soll im folgenden geschehen.

Aufbau eines konventionellen LAN und eines WLAN

Der grundlegende Unterschied zwischen einem konventionellen LAN und einem WLAN besteht darin, dass die Stationen eines LAN Daten über Kupfer- oder Glasfaserkabel austauschen, während die Stationen eines Wireless LAN die Daten mittels Funkwellen oder Infrarot übertragen.

Ein LAN verbindet die einzelnen Stationen des Netzwerkes (PC, Drucker, File-Server, etc.) über Kupfer- oder Glasfaserkabel. Um die Stationen zu verbinden und die Daten korrekt zu übertragen, werden *interconnecting devices* benutzt (HUBs, Switches und Router). Verschiedene LANs können dabei über *Bridges* miteinander verbunden werden. So lassen sich auch größere Netzwerke bilden. Diese sind dann allerdings über ein *Backbone* miteinander verbunden - also ein zusätzliches Netzwerk, an das verschiedene LANs angeschlossen werden können. Ein Netzwerk, welches über Backbones LANs im Gebiet einer ganzen Stadt verbindet, wird auch als *MAN (Metropolitan Area Network)* bezeichnet. Für inter-city, nationale oder auch internationale Verbindungen von Netzwerken hingegen benutzt man die Bezeichnung des *WAN (Wide Area Network)*.

Aufbau eines konventionellen LAN:

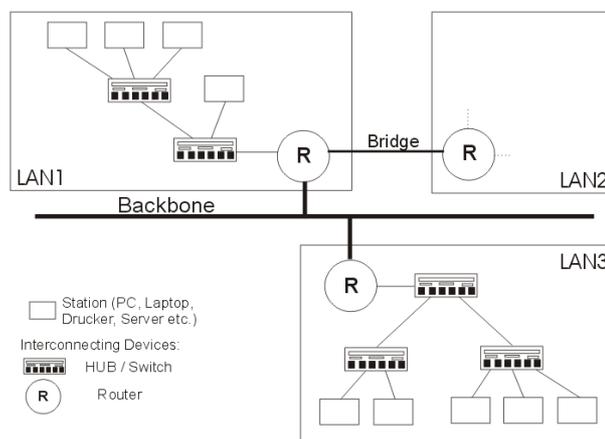


Abbildung 1: Aufbau eines LAN

IEEE 802.11

Anfangs verzögerte eine fehlende Standardisierung die Ausbreitung von Funknetzwerken. Funknetzwerkarten des einen Anbieters ließen sich nicht mit Basisstationen des anderen Anbieters verbinden. Erst die Verabschiedung der IEEE 802.11-Spezifikation durch das amerikanische *Institute for Electrical and Electronic Engineering (IEEE)* im Juni 1997 sorgte für eine standardisierte Grundlage: Der Standard IEEE 802.11.

Der 1997 verabschiedete Standard unterstützte Datenraten von 1 und 2 MBit/s, was den Funknetzwerken zunächst den Ruf einer kostenintensiven und leistungsschwachen Nischentechnologie einbrachte und die Akzeptanz deutlich verzögerte. Die Ratifizierung der IEEE 802.11b Erweiterung „High Rate“, die Datenraten von 5 und 11 MBit/s hinzufügte, sorgte für den Durchbruch der Funknetze. Dem mobilen Anwender steht nun hinsichtlich Performanz, Datendurchsatz und Verfügbarkeit ein dem Ethernet ebenbürtiges, drahtloses LAN zur Verfügung. Mit der IEEE 802.11a- bzw. IEEE 802.11g-Spezifikation lassen sich sogar Datenraten von bis zu 54 MBit/s erreichen.

Ein Wireless LAN weist gemäß IEEE 802.11 (nachfolgend 802.11) eine zellulare Struktur auf. Das gesamte Netz ist in einzelne Zellen gegliedert und jede Zelle durch den von einem Access Point ausgeleuchteten Bereich definiert. Die 802.11-Nomenklatur bezeichnet die Zellen als *Basic Service Sets (BSS)*. Die einzelnen Access Points selbst werden gängigerweise über einen Backbone, das sogenannte *Distribution System (DS)*, miteinander verbunden und lassen sich beliebig kaskadieren. Sie agieren als Bridges zwischen dem Kabel- und dem drahtlosen Netz. Das Gesamtsystem aus Zellen, respektive Access Points und Distribution System entspricht in den Schichten des OSI-Modells (ISO-7498) einem beliebigen 802-Netzwerk und wird als *Extended Service Set (ESS)* bezeichnet. Alternativ zu diesem *infrastructure mode* lässt sich ein Netzwerk auch im *ad hoc mode* betreiben, bei dem einzelne Stationen eine drahtlose Direktkommunikation ohne zwischengeschalteten Accesspoint und ohne Verbindung an ein kabelgebundenes Netz aufbauen (*Independent Basic Service Set*).

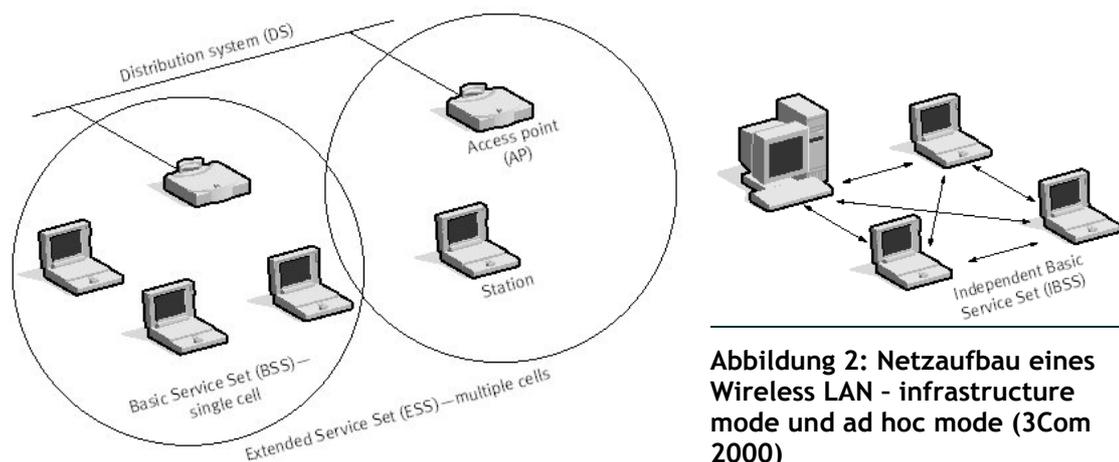


Abbildung 2: Netzaufbau eines Wireless LAN - infrastructure mode und ad hoc mode (3Com 2000)

Datenzugriff

Im Folgenden wollen wir diskutieren, wie der Datenzugriff innerhalb eines WLAN geregelt wird, welche Schichten des OSI-Modells im Rahmen des 802.11-Standards spezifiziert sind und auf welche Weise die Auswirkungen von Störsignalen in einem Funknetz verringert werden können. Weiterhin geht es darum, wie eine sichere Funkstrecke etabliert und auf welche Weise eine geregelte Kommunikation zwischen den in einem Basic Service Set vorhandenen Stationen geregelt werden kann.

Das 802.11-Protokoll beschreibt wie jedes andere, aus der 802.x-Familie stammende Protokoll den *Media Access Layer (MAC)* und den *Physical Layer (PHY)*, also die beiden untersten Schichten im OSI-Schichtenmodell. Auf diesen Ebenen erfolgt die Codierung und Übertragung von Information. Um das verstehen zu können muss man sich zunächst das OSI-Schichtenmodell ansehen.

OSI-Schichtenmodell

„OSI“ ist eine Abkürzung für "Open System Interconnection" oder "Open Systems Interconnect". Es wurde seit den 70er Jahren entwickelt und Anfang der 80er Jahre standardisiert (u. a. ISO 7498-1 (DIN ISO 7498)). Ein Schichtenmodell versucht die verschiedenen Problembereiche der computervermittelten Kommunikation auf Schichten klar zu verteilen, welche aufeinander aufsetzen. Einzelne technische Realisierungen der jeweiligen Schichten sollten sich dabei problemlos austauschen lassen. Man kann sich das vereinfacht so vorstellen: Ganz oben sitzt die Anwendungsschicht. Diese nutzt Funktionalitäten der darunter liegenden Präsentationsschicht, ohne sich explizit darum zu kümmern, was diese intern macht. Sie gibt lediglich die zu übertragenden Daten weiter. Der darunter liegenden Schicht, der Präsentationsschicht, ist es auf der anderen Seite egal, welche Art von Anwendung gerade ausgeführt wird (ob beispielsweise ein Browser oder ein GIS geöffnet ist), sie verrichtet ihre Arbeit davon unabhängig. Dringt man ganz tief in das OSI-Schichtenmodell (auch OSI-Referenzmodell genannt) ein, kann man sich vorstellen, dass es für beide Schichten irrelevant ist, welche Art von Netzwerkkarte genutzt wird, so lange diese die erforderlichen Funktionalitäten bereitstellt.

Das OSI-Referenzmodell besteht aus sieben Schichten (*layer*), wie in Abbildung 3 gezeigt. Diese Schichten sind keine Protokolle, sondern geben Funktionen wieder. OSI selbst definiert die Dienste und Funktionen, die auf den einzelnen Schichten erfüllt werden sollen. OSI definiert aber nicht die Standards, die diese Dienste und Funktionen verwirklichen. So können die Funktionen einer Schicht u. U. durch unterschiedliche Protokolle erfüllt werden. IEEE 802.11 definiert beispielsweise ein Protokoll für den *physical layer*. Weitere Layerspezifikationen werden von anderen IEEE-Standards übernommen. So wird der *Logical Link Layer (LLC)*, neben dem MAC der zweite Sublayer des *Data Link Layers*, vom 802.11 Protokoll nicht spezifiziert, sondern aus dem IEEE 802.2-Standard übernommen.

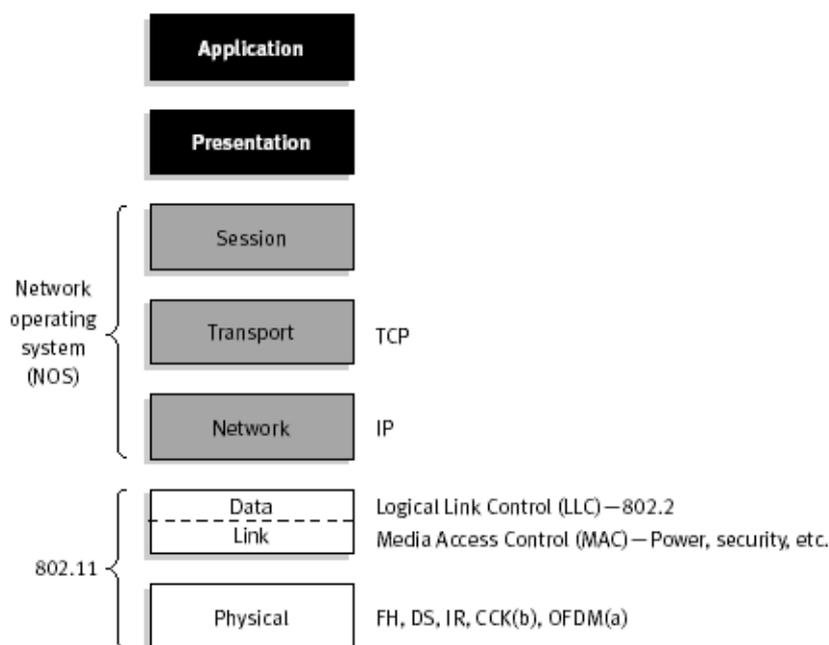


Abbildung 3: OSI-Schichtenmodell (3Com 2000)

Die einzelnen Schichten des OSI-Schichtenmodells im Überblick:

- **Application Layer:** Die Anwendungsschicht dient dem Zugriff von Programmen auf Netzwerkdienste.
- **Presentation Layer:** Die Darstellungsschicht sorgt für die Übersetzung und Verschlüsselung von Daten.
- **Session Layer:** Die Kommunikationssteuerungsschicht bietet leistungsfähigere Funktionen für die Interprozesskommunikation als die Transportschicht, beispielsweise zur Synchronisation.
- **Transportation Layer:** Die Transportschicht hat die Aufgabe, Verbindungen zwischen Anwendungsprozessen auf unterschiedlichen Rechnern zu ermöglichen.
- **Network Layer:** Die Netzwerkschicht sorgt für die Übertragung von Datenpaketen über mehrere Teilstrecken hinweg.
- **Data Link Layer:** Die Verbindungsschicht ist zwischen die Blockübertragung benachbarter Rechner zuständig. Sie muss beispielsweise Übertragungsfehler erkennen und gegebenenfalls korrigieren.
- **Physical Layer:** Die Bitübertragungsschicht befasst sich mit der Übertragung von Bitströmen zwischen Rechner und Schnittstelle des Übertragungsmediums.

MAC-Layer

Der 802.11-MAC-Layer ist konzeptionell dem IEEE 802.3 (Ethernet) ähnlich. Er übernimmt allerdings typische Funktionen, die häufig auf höheren Schichten angesiedelt sind, wie etwa Fragmentierung (*Packet Fragmentation*), Kontrollsummen (*CRC Checksum*), Paketwiederholung (*Packet Retransmission*) und die Bestätigung von einzelnen Paketen (*Acknowledgements*).

Innerhalb des 802.11-MAC unterscheidet man zwei Methoden des Netzzugriffs. Zum einen existiert ein zentralistischer Ansatz, auch *Point Coordination Function (PCF)* genannt, bei dem die Übertragungskontrolle der Stationen in einem BSS beim zugehörigen Access Point liegt, zum anderen die *Distributed Coordination Function (DCF)*, bei der alle beteiligten Stationen Kontrollfunktionen übernehmen.

Distributed Coordination Function - DCF

In Anlehnung an Ethernet (IEEE 802.3) benutzt das 802.11-MAC-Protokoll als Basiszugriffsmethode in der DCF ein *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)*-Paradigma. Da sich zum einen Kollisionen innerhalb des drahtlosen Kanals nicht von anderen Störungen differenzieren lassen und zum anderen Funkstationen nicht simultan senden und „hören“ können, wird auf eine Kollisionserkennung (*Collision Detection, CD*) verzichtet. Stattdessen setzt man eine Kollisionsvermeidung (*Collision Avoidance, CA*) ein. Eine Sendestation überprüft, ob aktuell Datenpakete „on air“ sind. Ist dies nicht der Fall, wartet sie noch eine zufällige Zeitspanne ab und sendet, wenn das Medium weiterhin frei ist, die Daten. Bei vollständiger Rezeption der Datenpakete antwortet der Empfänger mit einem *acknowledgement frame* (ACK Frame). Der Erhalt eines intakten ACK Frames bestätigt dem Sender die erfolgreiche Kommunikation.

Die CSMA/CA-Technik hat sich in der Praxis als robust und performant erwiesen. Natürlich führt sie einen gewissen Overhead mit sich, so dass die Performanz von Ethernet nicht ganz erreicht wird.

Hidden Terminal Problem

Zu großen Performanzeinbußen kann es bei drahtlosen Systemen durch das so genannte Hidden-Terminal-Problem kommen. Darunter versteht man das fälschliche Erkennen eines freien

Kanals, obwohl er bereits belegt ist. Dies tritt genau dann ein, wenn die sendende Station außerhalb der Reichweite der prüfenden Station liegt.



Abbildung 4: Hidden Terminal Problem (Boris Jakubaschk 2003)

Zur Vermeidung dieses Effekts wurde im MAC-Layer ein optionales RTS/CTS-Protokoll (*Ready To Send/Clear To Send*) spezifiziert. Dabei schickt ein Sender A nach Erkennen eines freien Kanals zunächst ein RTS-Signal zum Empfänger B, das den gewünschten Umfang der Sendung ankündigt. Danach überträgt der Empfänger bei freiem Kanal ein CTS-Signal zur Bestätigung der Sendedauer. Dieses CTS-Signal wird von allen Stationen innerhalb der Zelle des Empfängers empfangen; folglich auch von Station C, die ihrerseits A nicht hören kann. Nach Anmeldung dieser dezidierten temporalen Kanalbelegung werden Kollisionen auf dem Medium präventiv vermieden. Es kollidieren höchstens noch die Frames der RTS/CTS-Signalisierung, aber keine Datenübertragungen mehr. Durch die temporäre Kanalreservierung tritt ein weiterer Overhead auf. Daher wird das RTS/CTS-Protokoll nur bei sehr großen Datenpaketen genutzt, bei denen eine eventuelle Retransmission den Reservierungsoverhead überkompensiert.

Zwei weitere Features auf der Ebene des MAC-Layers sorgen für zusätzliche Robustheit in der Datentransmission. Zum einen ein checksum-Mechanismus, der bei der Übertragung entstandene Korruptionen an Paketen ohne dezidierte Überprüfung der Paketstruktur sichtbar macht und eine Retransmission einleiten kann; sowie eine *packet-fragmentation*-Methode. Bei dieser werden größere Datenpakete in kleinere Einheiten gesplittet, gesendet und empfängerseitig wieder zusammengefügt.

Point Coordination Function - PCF

Die zweite Methode des MAC-Layers ist die Point Coordination Function. Da im Gegensatz zur Distributed Coordination Function hier die Kontrolle bei einem singulären Access Point liegt, können QoS-Funktionalitäten (*Quality of Service*) unterstützt werden, also garantierte Charakteristiken der Übertragung für eine bestimmte Kommunikationsanforderung. Die PCF erledigt dies mittels einer Kanalreservierung, die sie durch Vergabe eines Senderechts vom Access Point an den mobilen Host erreicht. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Polling*, da der Access Point die einzelnen Hosts in seiner Zelle nacheinander abfragt, ob sie Daten zu versenden haben. DCF und PCF lassen sich auch parallel betreiben, PCF hat in einem solchen Fall allerdings eine höhere Priorität.

Physical Layer - PHY

Zur Zeit ist ein einziger MAC definiert, der im 2,4 GHz-Band mit zwei spezifizierten unterschiedlichen Physical Layern zusammenarbeitet: *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)* und *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)* (außerhalb des 2,4 GHz-Bandes kommt noch die im 400-428 GHz-Bereich angesiedelte Infrarot-Lichtwellentechnik *Infrared Pulse Position Modulation* hinzu). Im IEEE 802.11b baut das *Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)* nur noch auf der Direct Sequence Spread Spectrum-Technik auf. Daher soll im Weiteren näher auf diese Technik eingegangen werden.

Bei beiden Techniken handelt es sich um eine Spreizung der eigentlich zur Übertragung nötigen Bandbreite (Spread Spectrum). Dies hat zum einen den Vorteil, dass im Gegensatz zum schmalbandigen Senden mit hoher Leistung ein breiterer Frequenzbereich mit kleinerer Sendeleistung nutzbar ist (die Gesamtsendeleistung bleibt dabei konstant). Da sich Störsignale meist nur auf eine sehr geringe Bandbreite beschränken, wirken sie sich nur auf einen Teil des Signals aus. Die Störanfälligkeit des Gesamtsignals sinkt beträchtlich. Zum anderen sind Systeme mit Spread Spectrum Technologie unempfindlich gegenüber sonst im Mikrowellenbereich auftretenden Multipath Fading-Problemen (Mehrwegausbreitung), die entstehen, wenn ein gesendetes Mikrowellensignal durch Reflexion zeitversetzt redundant beim Empfänger eintrifft.

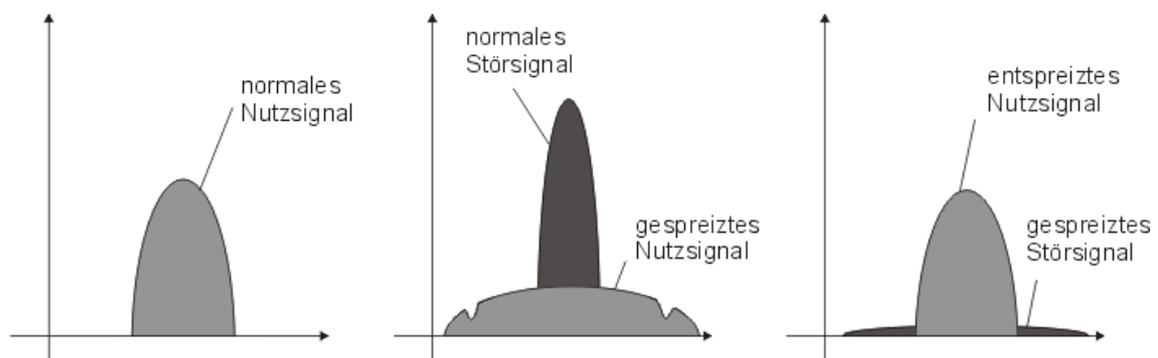


Abbildung 5: Direct Sequence Spread Spectrum

Die Direct Sequence Spread Spectrum-Technik unterteilt das 2,4 - 2,4835 GHz Band in vierzehn 22-MHz-Kanäle. Die entstehenden Kanalüberlappungen lassen dabei lediglich drei trennscharfe Kanäle übrig.

Die Daten werden mittels *chipping*-Technik über einen dieser Subkanäle übertragen. Dazu wird bei einer Datenrate von 1 MBit/s das Spreizsignal - eine redundante elf-Bit-Sequenz (Barker Code) - direkt auf jedes einzelne Datenbit abgebildet, was zu einzelnen „chips“ führt. Im Falle von 2MBit/s wird ebenfalls vom elf Bit langen Barker Code Gebrauch gemacht, während bei 5,5 und 11MBit/s ein Set aus 64 acht Bit Codewörtern genutzt wird (*Complementary Code Keying*). Auf Seiten des Senders wird somit ein breites Spektrum erzeugt, das an allen Stellen die gesamte digitale Information enthält. Die einzelnen Chips werden in sendefähige „symbols“ konvertiert und mittels verschiedener Modularisierungstechniken (Quadrature Phase Shift Keying und Binary Phase Shift Keying) transmittiert. Empfängerseitig wird das gespreizte Signal wieder durch einen Autokorrelationsprozess verdichtet und unerwünschte Störsignale auf diese Weise unterdrückt.

Data Rate	Code Length	Modulation	Symbol Rate	Bits/Symbol
1 Mbps	11 (Barker Sequence)	BPSK	1 MSps	1
2 Mbps	11 (Barker Sequence)	QPSK	1 MSps	2
5.5 Mbps	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	4
11 Mbps	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	8

Abbildung 6: Spread Spectrum Technik Übersicht

Initiierung und Betrieb einer Funkverbindung

In vorangegangenen Abschnitt wurden die wichtigsten Techniken vorgestellt, die zur Vermeidung von Fehlern während der Datenübertragung eingesetzt werden. Im Folgenden soll aufgezeigt werden, wie sich eine mobile Station (z.B. ein Notebook mit PCMCIA-Karte) in einem Basic Service Set anmeldet und wie eine permanente Verbindung zum Netzwerk gewährleistet werden kann, während sich die Station im Extended Service Set bewegt.

Zum Aufbau einer Netzwerkverbindung verschafft sich die Netzwerkkarte zunächst durch das Versenden von Broadcasts (*Probe Requests*) einen Überblick über die Access Point-Infrastruktur. Danach meldet sich die Karte je nach vorgegebenen Netzwerknamen und AP-Signalstärke bei einem Access Point an und stellt sich auf dessen Kanal ein. Dazu muss sie sich beim AP authentifizieren. AP-seitig kann die MAC-Adresse der Netzwerkkarte anhand einer Berechtigungsliste überprüft werden. Zusätzlich sind Shared-Key-Authentifizierungen spezifiziert, die weitere Sicherheit bei der login-Prozedur gewährleisten.

Roaming

Die Netzwerkkarte einer mobilen Station überprüft periodisch die Charakteristiken der sie umgebenden Access Points. Diese sind zum einen abhängig von der sich bei Bewegung einer Station im Netzwerk ständig ändernden Signalstärke der einzelnen Access Points, zum anderen von der maximalen Übertragungsgeschwindigkeit der Access Points, welche wiederum von der gerade herrschenden Netzlast im Basic Service Set abhängt. Letzteres dient dem „load balancing“, da hierdurch die Netzlast möglichst effizient verteilt wird. Sollte ein anderer AP eine bessere Charakteristik als der bislang benutzte AP bieten, meldet sich die Station bei diesem AP mit einem *Reassociation Request* an. Akzeptiert der neue AP die Verbindung, sendet er einen *Reassociation Response* an die Station und meldet dies dem alten AP und dem Distribution System, welches daraufhin seinen Datenbestand aktualisiert. Die Netzwerkverbindung wird dabei ohne Unterbrechung aufrechterhalten, so dass beim Wechsel von einem Basic Service Set zum nächsten eine durchgängige Datenübertragung gewährleistet wird - „Roaming“.

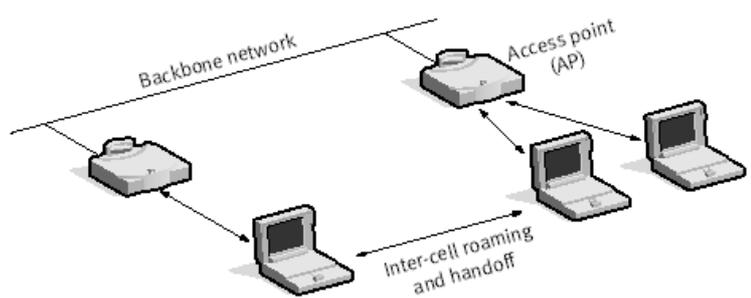


Abbildung 7: Roaming im ESS (3Com 2000)

Wie bereits erwähnt, bleiben bei Nutzung der Direct Sequence Spread Spectrum-Technik drei trennscharfe Kanäle zur Datenübertragung übrig. Mit diesen drei Kanälen lässt sich bereits eine lücken- und interferenzlose Gebietsabdeckung erreichen, so dass Roaming im gesamten Netzwerk möglich wird. Somit lässt sich das von einem Netzwerk abgedeckte Gebiet problemlos erweitern.

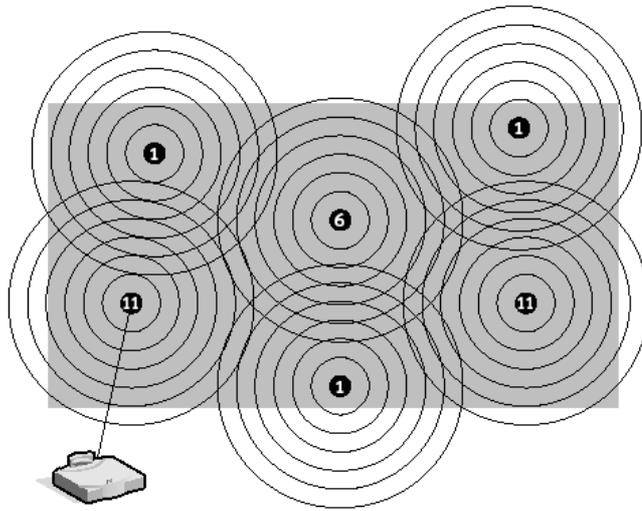


Abbildung 8: unbegrenzte Abdeckung (3Com 2000)

In diesem Abschnitt wurde erklärt, auf welche Weise die Kommunikation zwischen Stationen in einem Netzwerk, das im infrastructure mode läuft, geregelt wird. Doch wie gestaltet sich die Kommunikation in Ad-hoc Netzwerken? Netzwerke, die einer ständigen Änderung ihrer Topologie unterworfen sind, müssen andere Formen der Datenübertragung wählen. Diese sollen nachfolgend kurz vorgestellt werden.

Ad-hoc Netzwerke

Die Kommunikation in Ad-hoc Netzwerken, die ohne Access Points und Verbindung zu einem kabelgebundenem Netz auskommen, erfordert gewisse Überlegungen bzgl. des Datentransportes. Ein grundlegendes Merkmal von Ad-hoc Netzwerken ist die verwendete *hopping*-Technik.

In *Single-hop*-Netzwerken können Daten nur zu den im Sendebereich einer Station gelegenen Empfängern geleitet werden. Diese Technik ist nur für ein statisches Netzwerk sinnvoll zu gebrauchen, in dem jede Station im Send- und Empfangsbereich aller anderen Stationen liegt. Routing wird hierbei nicht benötigt.

Multihop-Netzwerke weisen diese Beschränkungen nicht auf. Hier können auch weit entfernte Stationen kommunizieren, indem mehrere Zwischenstationen zur Übertragung der Daten benutzt werden. Die Bewegung der Stationen oder auch Unterbrechungen der Funkübertragung zwischen Stationen (z.B. durch das Schließen einer Tür) kann jedoch ständig zu Änderungen in der Topologie des Netzwerkes führen, so dass die Wege zur Datenübertragung neu gesucht werden müssen. Um dies zu kompensieren, gibt es verschiedene Ansätze des Ad-hoc-Routing, wie z.B. tabellenorientiertes Routing oder on-demand Routing, die im Kapitel 7 näher erläutert werden.

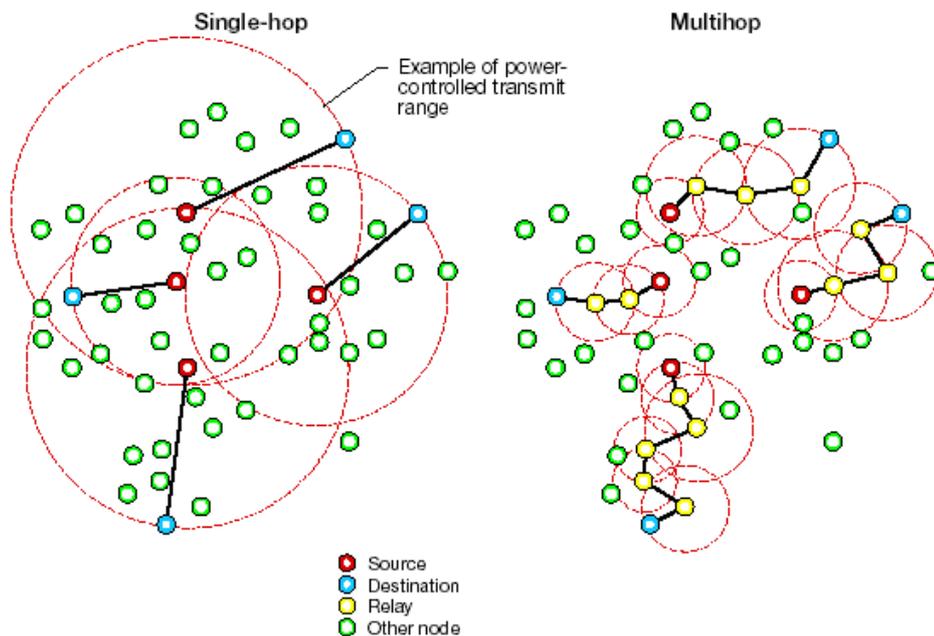


Abbildung 9: Single-hop und Multihop (Ericsson 2000)

Vertreter des WLAN

Zu Wireless LAN stehen als drahtlose Übertragungsverfahren zahlreiche Alternativen zur Verfügung. Sie finden jedoch aufgrund der im Folgenden kurz angesprochenen Restriktionen im Zielbereich mobiler Datenkommunikation im großflächigen Raum kaum bis keine Anwendung.

Bluetooth

Bluetooth nutzt wie das WLAN auch das Mikrowellenband 2,4 GHz und setzt daher keine direkte Sichtverbindung voraus. Hardwareseitig basiert es auf kleinsten, extrem wenig Energie verbrauchenden Nahbereichstransceivern, die direkt in die mobilen Devices eingebaut werden können. Aufgrund der geringen Abmessungen unterstützt Bluetooth maximal Entfernungen von zehn Metern (durch Steigerung der Sendeleistung könnten bis zu hundert Meter erreicht werden). Es erreicht Datenübertragungen mit bis zu 721 KBit/s und unterstützt zusätzlich drei Sprachkanäle. Bluetooth wird vor allem im indoor-Bereich zur Unterstützung von Ad-hoc Netzen und der Verbindung sowohl von Peripheriegeräten als auch von Netzwerken eingesetzt.

IrDA

Als Veteran der drahtlosen Technologien wurde der IrDA 1.0-Standard im Juni 1994 durch die Infrared Data Association verabschiedet. Er sah eine Übertragungsrate von 115,2 KBit/s vor, was dem maximalen Datendurchsatz der seriellen Schnittstelle eines Rechners entspricht. Mittels der Infrarot-Lichtwellenübertragung lassen sich im Nahbereich gemäß der neuesten Standarderweiterung VFIR (Very Fast InfraRed) nunmehr (beachtliche) 16 MBit/s über kurze Entfernungen erzielen.

Der IrDA-Standard bringt zwei schwerwiegende Handicaps mit sich: Zum einen die essentielle Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger, zum anderen die Restriktion auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Die günstige und heute weit verbreitete IrDA-Technologie wird wohl in Zukunft durch Bluetooth abgelöst werden, da die erforderliche Sichtverbindung im Alltag häufig Probleme hervorruft.

HiperLAN

High Performance Radio LAN (HiperLAN) wird mittelfristig die einzig echte Alternative zum Wireless LAN darstellen. Auf dem 5 GHz-Band basierend, ermöglicht der vom European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelte und schon seit mehreren Jahren vorliegende HiperLAN Type 1 Standard hohe Übertragungsraten von 24 MBit/s, Quality of Service (QoS-) Parameter sowie isochronen Datenverkehr. Dennoch konnte sich das auf dem Gauss'schen Minimum-Shift-Keying Modulationsverfahren (GMSK) beruhende System in der Industrie bislang nicht durchsetzen. Dies liegt unter anderem an dem extrem hohen Energieverbrauch und der technisch bedingten Größe der verwendeten Komponenten, wie auch an bisher nur unzureichend gelösten Dämpfungproblemen im Bereich des 5 GHz-Signals.

Die Weiterentwicklung HiperLAN/2 unterstützt neben den bereits in HiperLAN/1 realisierten Features auch eine automatische Frequenzbestimmung (Dynamic Frequency Select), Ad-hoc Netzwerke, Transferprioritäten, zahlreiche Sicherheits- und Authentifizierungs-Services, Power-Saving-Services und Hand-over (vergleichbar mit dem Roaming im Mobilfunkbereich). HiperLAN/2 erreicht mit der neuen Modularisierungsmethode Orthogonal-Frequency-Digital-Multiplexing (OFDM) eine Übertragungsrate von 54 MBit/s auf dem physikalischen Layer und bis zu 25 MBit/s auf dem Netzwerklayer.

Der neuere Standard HIPERLINK, der im 17 GHz-Band arbeitet, erreicht sogar Übertragungsraten von 155 MBit/s, jedoch nur mit einer Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen stationären Antennen, bei einer Reichweite von unter 200m.

Wireless Local Loop - WLL

Wireless Local Loop fasst unterschiedliche Funktechniken zusammen, die in den Frequenzbändern 3,4 und 26 GHz liegen und Übertragungsraten von 2 bis 3 respektive 30 bis 40 MBit/s über mehrere Kilometer Entfernung erzielen. In beiden Bändern wird allerdings Punkt-zu-Multipunkt Mikrowellenrichtfunk eingesetzt, was das System für mobile User unbrauchbar macht.

Fazit

Wenn in abgegrenzten Gebieten gearbeitet wird, bietet WLAN sicherlich eine geeignete Möglichkeit, um in angemessener Zeit ein Netzwerk zu etablieren, das eine ausreichende Datenübertragungsrate zur Verfügung stellt. Sind für den Datentransfer während der Arbeit jedoch Strecken von über 20 KM zu bewältigen, wird der Einsatz eines WLAN unrealistisch. Will man z.B. während einer Reise in Europa ständig Daten empfangen und auch senden können, so bietet der Mobilfunk eine geeignete Alternative an. Die Gebietsabdeckung für den Mobilfunk ist in den meisten Industriestaaten für die wichtigen Standards flächendeckend vorhanden. Mit den neuesten Standards lassen sich zudem passable Datenraten von durchschnittlichen 50Kbit/s bis zu (theoretisch!) maximalen 2Mbit/s erreichen. Im folgenden Abschnitt sollen einige dieser Standards kurz vorgestellt werden.

Mobilfunknetze

Der Einsatz des Mobilfunks ist mittlerweile ein unverzichtbarer Bestandteil der mobilen Gesellschaft geworden. Handys, SMS und der Einsatz von Funkgeräten gehören zum Alltag. Mit der Weiterentwicklung der Mobilfunkgeräte und dem Erreichen immer höherer Datenraten lassen sich nun jedoch auch Dienste wie z.B. der Zugang zum Internet sowie das Senden und Empfangen von Echtzeit-Videoübertragungen realisieren. Um den individuellen Bedarf eines jeden Nutzers decken zu können, bieten die Mobilfunkbetreiber viele unterschiedliche Vertragsmodelle an. In diesem Abschnitt sollen sowohl die Eigenschaften als auch die Vor- und Nachteile der gängigen Mobilfunkstandards vorgestellt werden.

Der Bereich der Mobilfunknetze lässt sich in zwei Bereiche aufteilen: Zellulare Funknetze und *Private Mobile Radio* (PMR), auf das hier nur kurz eingegangen werden soll. Zu beachten ist, dass es sich bei den angegebenen maximalen Datenraten in der Regel um theoretisch mögliche Datenraten handelt, die in der Realität nicht erreicht werden können. Im Falle von UMTS ist beispielsweise davon auszugehen, dass die viel umworbenen 2 MBit/sek im ländlichen Bereich maximal zu 10%, in urbanen Kerngebieten zu 70% erreicht werden können.

Private Mobile Radio - PMR

Unter dem Begriff der PMR fasst man den Bündelfunk und die schnurlose Telefonie zusammen. Bündelfunk wird oft von Taxi- und Fuhrunternehmen und in Behörden eingesetzt. Die hochzuverlässigen Systeme sind relativ kostengünstig. Sie nutzen einen jeweils eigenen Frequenzbereich und müssen deshalb angemeldet werden. Unter der schnurlosen Telefonie versteht man die im Nahbereich eingesetzten Mobiltelefone, z.B. als Ersatz eines kabelgebundenen Telefonanschlusses zu Hause oder im Büro.

Terrestrial Trunked Radio - TETRA

Ein Standard für den Bündelfunk ist TETRA, der 1991 vom European Telecommunications Standard Institute (ETSI) ins Leben gerufen wurde. Er nutzt Frequenzen im Bereich von 380-430 MHz. Die mit TETRA nutzbaren Dienste sind zum einen der auf die Übertragung von Sprache und Daten ausgerichtete Voice + Data (V+D)-Dienst, zum anderen der paketorientierte Packet Data Optimized (PDO)-Dienst. Mit letzterem lässt sich Punkt-zu-Punkt und Punkt-zu-Mehrpunkt Kommunikation erreichen. Leider liegen die mit TETRA realisierten Datenraten nur im Bereich von 28,8 Kbit/s (ungeschützt) bis 9,6 Kbit/s (geschützt). Trotz der für den intensiven Datenaustausch zu geringen Datenraten bietet TETRA einige besondere Eigenschaften, wie z.B. den schnellen Rufaufbau (in ca. 300 ms), den open-channel-mode, der das Mithören einer Verbindung ermöglicht, und den direct-mode, mit dem sich eine direkte Verbindung zwischen zwei Endgeräten realisieren lässt, so dass eine gewisse Unabhängigkeit von der Infrastruktur erreicht werden kann.

Digital Enhanced Cordless Telecommunications - DECT

DECT ist der wohl bekannteste Standard im Bereich der schnurlosen Telefonie, die vor allem im Indoorbereich zur Realisierung eines mobilen Telefonanschlusses genutzt wird. Der ursprünglich vom ETSI als flexibler High-End-Standard für mikrozellulare Funknetzwerke entworfene Standard arbeitet im Frequenzband von 1,9 GHz. Die Reichweite ist auf maximal einen Kilometer beschränkt, in Gebäuden werden teilweise nur 50 m erreicht. Mittels DECT bzw. der um Datendienste erweiterten Variante DMAP (DECT Multimedia Access Profile) lassen sich Audio- und Videosignale mit bis zu 128 Kbit/s austauschen. Vorteile von DECT sind zum einen die erreichbare Teilnehmerdichte (10000 Tln/km²), zum anderen eine für den Nahbereich sicherlich erwünschte geringe Sendeleistung, die im Bereich von 10 bis maximal 250mW liegt. Im Standard ist außerdem die Verschlüsselung der Sprach- und Steuersignale vorgesehen, so dass ein optimaler Grad an Abhörsicherheit erreicht werden kann.

Zellulare Mobilfunknetze

Zellulare Mobilfunknetze stellen mittlerweile in vielen Ländern der Welt die Grundlage der Kommunikationstechnik dar, vor allem in den Industriestaaten. Länder, in denen kein flächendeckendes drahtgebundenes Telefonnetz existiert (die meisten Dritt-Welt-Staaten), bauen vermehrt mobile Lösungen auf, da diese wesentlich kostengünstiger zu errichten sind.

Im Folgenden soll nach einer kurzen Einführung in die vorhandenen Übertragungsverfahren des Mobilfunk ein Überblick über gängige Standards in ihrer geschichtlichen Entwicklung, ihren Eigenschaften sowie vorhandenen Vor- und Nachteilen gegeben werden.

Die sich in einer Mobilfunkzelle befindlichen Nutzer müssen sich die Kanäle des Frequenzbandes, welches von der zugehörigen Basisstation zur Datenübermittlung benutzt wird, teilen. Die Basisstation bestimmt dabei, welchen Kanal ein Nutzer zum jeweiligen Zeitpunkt zugeteilt bekommt. Die Methode des *multiple access* bestimmt, wie das Frequenzband in Kanäle geteilt wird und wie diese Kanäle den Nutzern zugeteilt werden. Es gibt drei hauptsächlich angewandte Methoden zur Realisierung des multiple access:

- Frequency Division Multiple Access (FDMA): FDMA teilt das Frequenzspektrum in fixe Kanäle, einen für jedes Gespräch.
- Time Division Multiple Access (TDMA): TDMA teilt das Spektrum in sog. *carrier*, die wiederum in sog. Zeitschlitze (engl. *time slots*) aufgeteilt sind. Zu jedem Zeitpunkt bekommt nur ein Nutzer den Zugriff auf einen dieser time slots und erhält so einen logischen Übertragungskanal.
- Code Division Multiple Access (CDMA): Hier werden eindeutige Codes benutzt, um die Signale mehrerer Nutzer zu unterscheiden, die alle den gleichen Kanal benutzen.

Die Mobilfunknetze der ersten Generation:

Die erste Generation (1G) zellulärer Mobilfunknetze nutzte noch FDMA. Die Daten wurden analog codiert. Mit dem A-Netz (1958-1977) kam das erste 1G-Mobilfunknetz in Deutschland auf den Markt, die Funktionen waren jedoch stark eingeschränkt und mit heutigen Systemen nicht zu vergleichen. Verbindungen konnten nur von Mobiltelefonen aus aufgebaut werden und mussten noch von Hand im Verteilerzentrum weitervermittelt werden. An einen Handover beim Wechsel zwischen benachbarten Funkzellen war noch nicht zu denken. Das B-Netz (1972-1994) ermöglichte immerhin schon die Anwahl eines Mobilfunkteilnehmers. Jedoch musste dessen gegenwärtiger Aufenthaltsort bekannt sein und mit der Telefonnummer eingegeben werden (z.B. 0611-05-Rufnummer für einen Teilnehmer, der sich in Frankfurt aufhält). Mit Einführung des C-Netzes (1985-2000) konnte man einen Mobilfunkteilnehmer auch ohne Regionenvorwahl im gesamten Bundesgebiet erreichen. Auch der Handover wurde realisiert, eine SIM-Karte zur Verhinderung unberechtigter Benutzung eingeführt und tragbare Geräte entwickelt. Das C-Netz ermöglichte neben Gesprächen auch die Übertragung von Daten wie FAX und E-Mails.

Jedes Land entwickelte eigene analoge Systeme, die untereinander inkompatibel waren und dadurch den Markt stark einschränkten. Schon 1982 wurde dieser Missstand erkannt und eine Fachgruppe aufgestellt, welche die Spezifikationen für ein europaweites digitales Mobilkommunikationsnetz festlegen sollte, den internationalen Mobilfunkstandard *Global System for Mobile Communication (GSM)*.

Global System for Mobile Communication - GSM

Das auf GSM basierende Mobilfunknetz sollte nicht mehr die Nachteile analoger Systeme der ersten Generation besitzen, die nur geringe Nutzerzahlen zuließen und ohne Datenkompression arbeiteten. Vielmehr wurden Eigenschaften wie z.B. gute Sprachqualität, geringe Geräte- und Servicekosten, Länder-unabhängige Funktionalitäten, Spektraleffizienz, Sicherung vor

unerlaubter Benutzung und ISDN-Kompatibilität gefordert. Da diese Eigenschaften eine erhebliche Verbesserung gegenüber den 1G-Systemen darstellen, nennt man Systeme, die auf GSM basieren, auch Systeme der zweiten Generation (2G). 1992 wurden die ersten auf GSM basierenden, voll digitalen Systeme eingeführt, in Deutschland das D1-Netz der Deutschen Telekom und das D2-Netz von Mannesmann/Vodafone. Diese arbeiten im 900 MHz-Band. 1994 kam das im 1800 MHz-Band arbeitende E-Netz hinzu.

GSM nutzt eine Kombination aus FDMA und TDMA. Es unterteilt das zur Verfügung stehende Frequenzband mit FDMA in 125 Kanäle von 200kHz Bandbreite und unterteilt jede dieser Trägerfrequenzen durch TDMA in acht time slots.

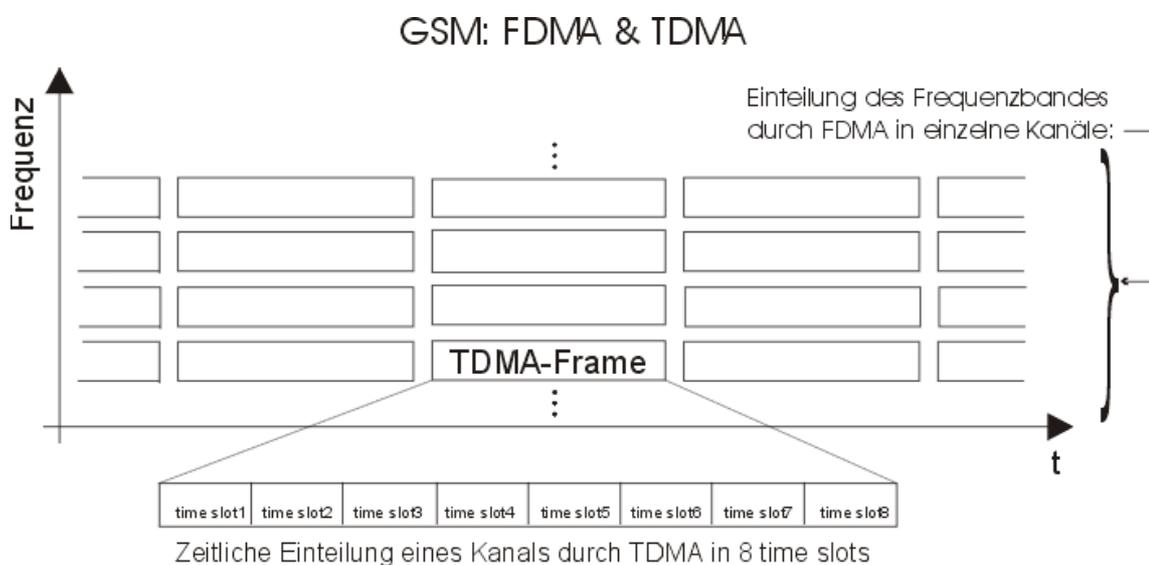


Abbildung 10: GSM - FDMA & TDMA im Zusammenspiel (IFGI 2003)

Jeder time slot hat eine Dauer von 577 μ s, ein kompletter TDMA-Frame dauert 4,615 ms. Der Übertragungskanal ist dann durch seine Trägerfrequenzen und seinem zur Verfügung stehenden, periodisch wiederkehrenden Zeitschlitz charakterisiert.

TDMA	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7	TS8
Frame1	User1	User2	User3	Idle	User5	Idle	Idle	Idle
Frame2	User1	User2	User3 Ende	Idle	User5	Idle	Idle	Idle
Frame3	User1	User2	Idle	Idle	User5	Idle	Idle	Idle
Frame4	User1 Ende	User2	Idle	User4 Beginn	User5	Idle	Idle	Idle
Frame5	Idle	User2	Idle	User4	User5	User3 Beginn	Idle	Idle
				⋮				

Abbildung 11: Nutzung des TDMA-Interfaces in GSM (IFGI 2003)

Dadurch, dass ein Nutzer immer nur in jedem achten Zeitschlitz senden darf, nimmt auch die effektive Sendeleistung um den Faktor acht ab, was wiederum Akkuleistung spart. Die Basisstation sendet immer drei Zeitslitze vor der Mobilstation, so dass diese nicht gleichzeitig senden und empfangen muss. In den verbleibenden sechs Zeitschlitzten kann sich die Mobilstation in dem sie umgebenden Funkfeld orientieren.

GSM verwendet digitale *Circuit-Switched*-Verbindungen. Ein Nutzer bekommt für die Dauer einer Verbindung, die von der Etablierung bis zum Abbruch durch den Nutzer währt, einen Übertragungskanal zugewiesen. Er muss also auch für die Zeit bezahlen, in der während einer Verbindung überhaupt keine Daten versandt werden. Hinzu kommt, dass die mit GSM erreichbare maximale Datenrate nur 9,6Kbit/s beträgt. Zumindest das Problem der geringen Datenrate lässt sich durch ein Softwareupgrade des bestehenden GSM-Netzes lösen, durch Einsatz von *High Speed Circuit Switched Data* (HSCSD).

High Speed Circuit Switched Data - HSCSD

HSCSD wurde vom ETSI als Erweiterung des GSM-Netzes zum Standard erhoben. Mit ihm lassen sich erstmals breitbandige Datenübertragungen realisieren. Dies wird im Grunde durch Multiplexing erreicht, also die Zusammenschaltung mehrerer GSM-Übertragungskanäle. Hierbei werden einem Nutzer gleich mehrere Zeitslitze in einem TDMA-Frame zugewiesen. Problematisch gestaltet sich jedoch u.U. der Handover beim Übergang zwischen zwei Funkzellen, denn um eine permanente Verbindung aufrechterhalten zu können, müssten in beiden Funkzellen die gleichen time slots verfügbar sein.

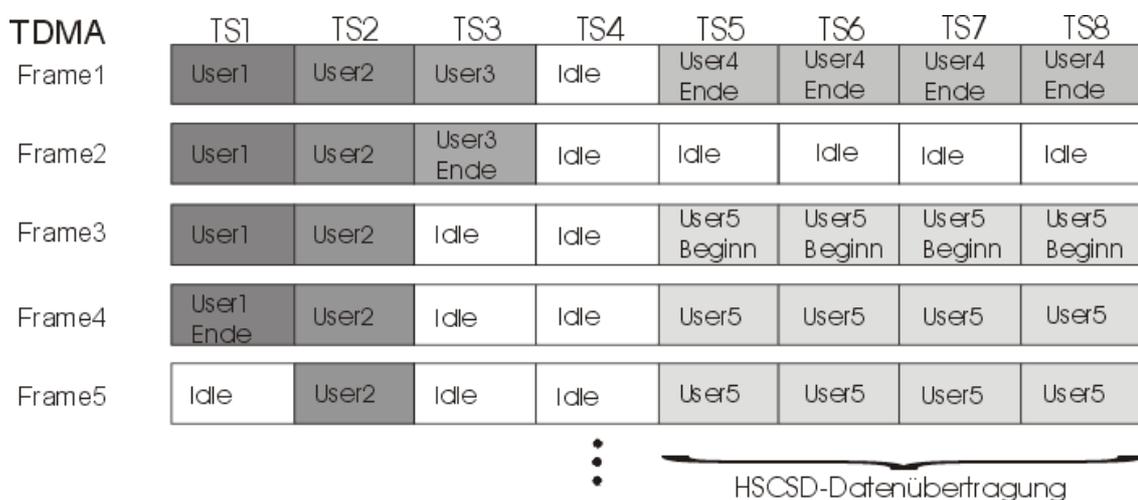


Abbildung 12: Nutzung des TDMA-Interfaces in HSCSD

Bei einer durch verbesserte Fehlerkorrektur erreichbaren Datenrate von 14,4 Kbit/s gegenüber den bisher üblichen 9,6 Kbit/s für einen time slot kann auf diese Weise theoretisch eine Datenrate von $8 * 14,4 \text{ Kbit/s} = 115,2 \text{ Kbit/s}$ erreicht werden. Hierdurch würde ein Teilnehmer jedoch eine gesamte Trägerfrequenz für sich beanspruchen und so die Verfügbarkeit für andere Teilnehmer stark beeinträchtigen. Deshalb beschränken die Netzbetreiber die Maximalzahl gleichzeitig belegbarer Übertragungskanäle meist auf vier, wodurch die Datenrate auf 57,6 Kbit/s beschränkt wird. Die Verteilung der Kanäle für den Downlink (Daten aus dem Netz) und Uplink (Daten ins Netz) erfolgt entweder symmetrisch (2/2) oder asymmetrisch (3/1).

Mit HSCSD lassen sich im Vergleich zu GSM also deutlich höhere Datenraten erzielen, jedoch werden immer noch Circuit-Switched-Verbindungen aufgebaut. Die Gebühren errechnen sich

aus der Gesamtverbindungszeit und der Anzahl genutzter Kanäle, der Nutzer zahlt demnach immer noch für nicht benutzte Verbindungszeit. Für burstartigen Datenverkehr, wie er im Internet vorherrscht, eignet sich deshalb auch HSCSD nicht. Hier kommt der General Packet Radio Service (GPRS) ins Spiel, der mit einer IP-basierten Übertragungstechnik arbeitet.

General Packet Radio Service - GPRS

Mit GPRS kann ein permanenter Internet-Zugang erzielt werden. Anstatt einen oder mehrere time slots eines TDMA-Frames für einen bestimmten Zeitraum zugewiesen zu bekommen, wird eine Mobilstation über eine von der Basisstation dynamisch zugewiesene, temporäre IP-Adresse angesprochen. Diese wird einer Mobilstation immer dann zugewiesen, wenn sie sich bei einer Basisstation anmeldet und kann sich beim Handover ändern. Auf diese Weise kann die zur Verfügung stehende Bandbreite optimal genutzt werden, je nach Bedarf wird sie auf die Nutzer verteilt. Unter idealen Bedingungen, wenn also gerade nur ein Nutzer Daten übertragen möchte, können ihm alle Zeitschlitze eines TDMA-Frames zugewiesen werden.

TDMA	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6	TS7	TS8
Frame1	User1	User1	User1	User2	User4	User4	Idle	Idle
Frame2	User1	User2	User2	User2	User2	User3	Idle	Idle
Frame3	User1	User2	User2	User2	User2	User3	User5	Idle
Frame4	User1	User1	User2	User3	User3	User4	User5	Idle
Frame5	User1	User1	User2	User3	User3	User4	Idle	Idle

Abbildung 13: Nutzung des TDMA-Interfaces in GPRS

GPRS nutzt ferner anstatt des bislang genutzten Gaussian minimum-shift keying (GMSK) vier unterschiedliche *Coding Schemes*, die sich untereinander im Ausmaß der erzielten Übertragungssicherheit und damit auch den erzielten Datenraten unterscheiden. So können theoretisch Übertragungen mit bis zu 171,2 Kbit/s erreicht werden.

Channel Coding Scheme	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Max. Data Rate per TDMA frame timeslot (Kbit/s)	9.05	13.04	15.6	21.4
Max. Data Rate per TDMA frame for 8 timeslots (Kbit/s)	72.4	107.2	124.8	171.2

Abbildung 14: Coding Schemes mit den zugehörigen Datenraten (Nortel Networks 2000)

Mit GPRS kann ein Nutzer always-on sein. Auf diese Weise können verschiedene Dienste realisiert werden, die ständig verfügbar sind, z.B. Location-based-Services (Wetterberichte, Lokalführer, Ortsbeschreibung, Navigationssystem, Touristikführer etc.), Online-Games oder Internet-Dienste wie z.B. E-Mail oder Kartenserver. Hinzu kommt, dass durch die paketbasierte Datenübertragung erstmals eine Abrechnung nach erzielttem Datenvolumen möglich ist. Außerdem können nun erstmals auch Quality of Service (QoS)-Garantien zwischen Netzbetreiber und Kunde festgelegt werden, z.B. bzgl. der Dringlichkeit und Verlässlichkeit einer Übertragung, die maximale Verzögerung und den mittleren bzw. maximalen Datendurchsatz. Problematisch wirken sich jedoch Hauptverkehrszeiten aus, in denen viele Nutzer gleichzeitig in einer Funkzelle Daten übertragen wollen. Dann würde ein Nutzer u.U. mit einer sehr viel geringeren Datenrate auskommen müssen als erwartet. Hier kommen die QoS-Garantien zum Tragen.

GPRS ist in mehrfacher Hinsicht ein wichtiger Schritt von der zweiten Generation der Mobilfunksysteme (GSM) zur dritten Generation (UMTS - Universal Mobile Telecommunication System). Aus kommerzieller Sicht bereitet GPRS den Markt auf die Einführung von UMTS vor. Mit GPRS können z.B. stehende Bilder übertragen werden, während sich UMTS gut für die Übertragung bewegter Bilder eignet. Aus technischer Sicht ist GPRS ein wesentlicher Schritt zu UMTS, da die schon vorhandene Netzinfrastruktur von GSM und GPRS zur Einführung von UMTS wiederverwendet werden kann. Daher bezeichnet man GPRS auch als „zweieinhalbte“ Generation (2,5G).

Universal Mobile Telecommunications System - UMTS

Mit der Einführung des vom ETSI entwickelten UMTS-Standards gelang der Sprung von der zweiten zur dritten Handygeneration. Mit UMTS-Geräten ist nun erstmals globales Roaming möglich, da UMTS Bestandteil des internationalen Standards IMT-2000 (International Mobile Telecommunications by the year 2000) ist, der die kontinentalen Standards aus Europa (GSM), Amerika (PCS) und Japan (PHS) vereint. Die hierzu nötigen Kompromisse werden später dargestellt (es soll nicht unerwähnt bleiben, dass auch UMTS nicht vollständig geschafft hat, was vorher unmöglich war: es ist zwar ein globaler Standard, die volle Funktionalität wird allerdings durch unterschiedliche Spezifikationsauslegung nicht erreicht).

Das Funknetz von UMTS (URAN - UMTS Radio Access Network) ist hierarchisch aufgeteilt. Auf der höchsten Hierarchieebene steht das Satellitensystem von UMTS, welches neben der Vereinheitlichung der bisher genutzten Standards ebenfalls eine wichtige Grundlage für das globale Roaming darstellt. Die darunterliegenden, zellular aufgebauten Hierarchieebenen bilden das erdgestützte Funknetz (UTRAN - UMTS Terrestrial RadioAccess Network). Sie werden in Makro-, Mikro- und Pikoebene unterteilt.

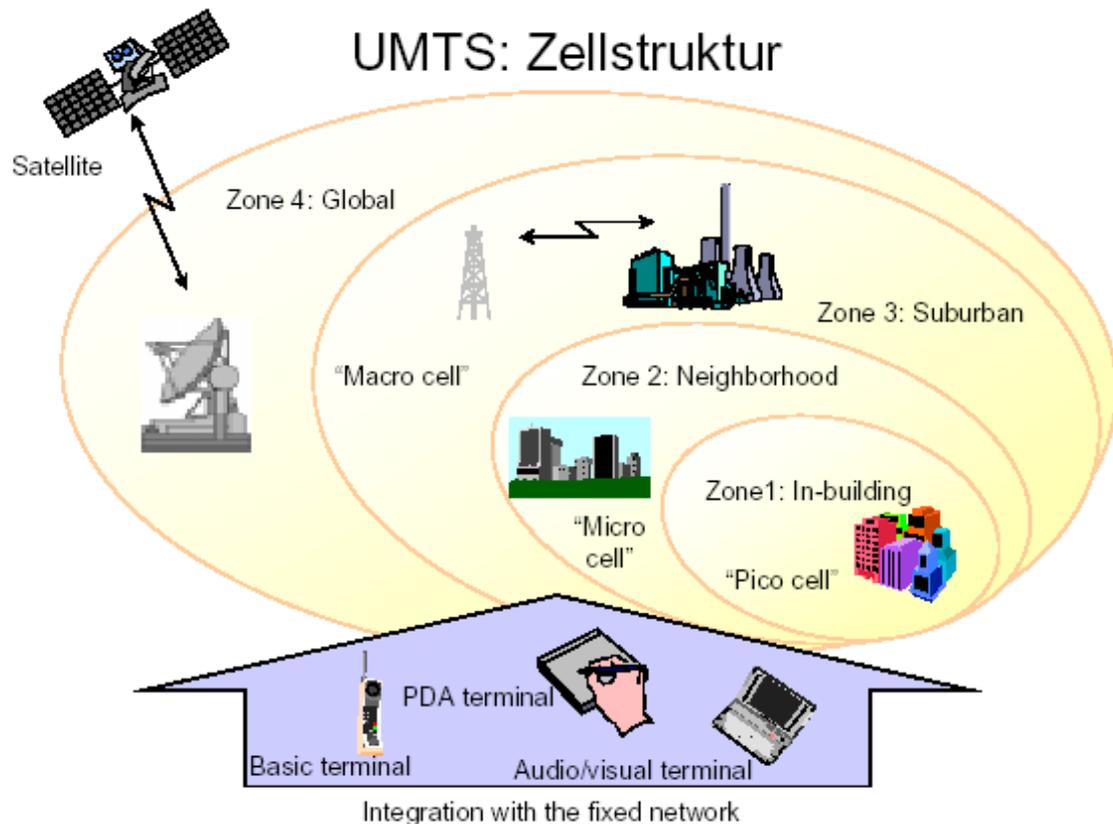


Abbildung 15: Hierarchische Gliederung des UMTS Funknetzes (Schill et al. 2003)

Neben dem globalen Roaming bietet UMTS einen weiteren Vorteil: Datenraten von bis zu 2Mbit/s. Diese werden durch eine Vergrößerung der Bandbreite der einzelnen Kanäle auf 5 MHz gegenüber GSM mit 200 kHz/Kanal und durch Nutzung des CDMA-Übertragungsverfahrens erreicht. 2 Mbit/s lassen sich zwar nur unter theoretischen Bedingungen, also in sehr kleinen UMTS-Funkzellen mit wenigen Funkteilnehmern bei einer geringen Bewegungsrate der Mobilstation (und ohne weitere Störungen) erreichen, jedoch werden die Funknetzbetreiber Datenraten von mindestens 144 Kbit/s garantiert können - ausgenommen bei der Nutzung des Satellitensystems. Diese Datenraten übertreffen selbst die maximal möglichen Datenraten von HSCSD und GPRS. Somit lassen sich auch Multimedia-Anwendungen realisieren. Mit UMTS können neben Sprache, Bildern und Text auch Audio- und Videodaten übertragen werden. Wie GPRS nutzt UMTS den IP-basierten Datenverkehr, unnötige Kosten für die Bereitstellung nicht benutzter Frequenzen können also vermieden werden.

Die Investitionskosten in UMTS sind enorm. So mussten allein in Deutschland die Netzbetreiber annähernd 50 Milliarden € allein für die nötigen Funklizenzen investieren. UMTS-fähige Geräte müssen zudem multimode-Funktionen aufweisen, um globales Roaming gewährleisten zu können. Dies ist auf den Umstand zurückzuführen, dass sich die Mitwirkenden bei der Definition des IMT-2000 Standards auf keinen festen Frequenzbereich einigen konnten. Jeder wollte das schon bestehende Mobilfunksystem der zweiten Generation in möglichst großem Maß wiederverwenden können. Dies führte dazu, dass die für IMT-2000 bzw. UMTS zur Verfügung stehenden Frequenzen international unterschiedlich ausfallen.

Vorteilhaft wird sich die Möglichkeit der durch CDMA wiederverwendbaren Frequenzen auswirken. Da alle Zellen mit den gleichen Frequenzen arbeiten, kann die Netzkapazität einfach durch Hinzufügen weiterer Basisstationen erhöht werden. Die umliegenden Zellen verringern automatisch ihre Reichweite, weshalb man auch von „atmenden“ Zellen spricht. Somit reicht zu Anfang die Installation weniger Basisstationen für eine flächendeckende Verfügbarkeit aus.

Später können sukzessive weitere Stationen nachgeführt werden. Dies sollte die nötigen Installationskosten für UMTS überschaubar halten.

Obwohl sich durch UMTS eine Unmenge verschiedenster Dienste realisieren lassen, wie z.B. Internet-Dienste (E-Mail, WWW etc.), Location-based Services, Unterhaltungsdienste (Audio on Demand, Spiele, Videoclips) oder auch Kommunikationsdiensten (Videotelefon, Videokonferenz), ist mit einem Durchbruch im Consumergeschäft kaum vor 2010 zu rechnen.

Literatur

- (1) 3Com (2000) IEEE 802.11b Wireless LANs - Wireless Freedom at Ethernet Speeds document-type: pdf, accessed: 12.5.2003 <http://www.3com.com>
- (2) 3Sat-online (2001) Die Geschichte der Mobilfunknetze document-type: website, accessed: 10.3.2003 <http://www.3sat.de>
- (3) Dienelt, M. (2001-2002) Dienste und Infrastrukturen für mobile Netze - Zellulare Netze document-type: pdf, accessed: 7.3.2003
- (4) ETH Zürich (2001) Mobile Computing document-type: website, accessed: 10.3.2003 <http://www.inf.ethz.ch/vs/edu/SS2001/MC/>
- (5) Frodigh, M., Johansson, P. and Larsson, P. (2000) Wireless ad hoc networking—The art of networking without a network Ericsson Review no. 04. document-type: pdf <http://www.ericsson.com>
- (6) Hegele, M. (1999) Aufbau von lokalen Funknetzen WLANs document-type: pdf
- (7) Jakubaschk, B. (2003) Datennetze Document-type: website http://www.im.de/home/datennetze/dn_start.htm
- (8) NortelNetworks (2000) Wireless Overview - For Non Wireless Professionals document-type: pdf <http://www.nortelnetworks.com>
- (9) Pearson, C. und Livingston, V. (2003) UMTS to Mobilize the Data World document-type: pdf, accessed: 12.5.2003 <http://www.umts-forum.org/>
- (10) Schill, A., Hochmuth, M. und Ziegert, T. Mobile Kommunikation und Mobile Computing document-type: website accessed: 12.5.2003 <http://www.rn.inf.tu-dresden.de>
- (11) Singer, M. (2002) Mobile Computing document-type: website, accessed: 11.3.2003 <http://www.infosys.tuwien.ac.at/Teaching/Courses/MC/>