

Scriptum zur Lehrveranstaltung

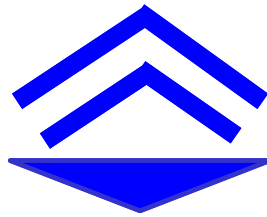
# Mobilkommunikation

Mobile Computing: Ubiquitous Computing, mobile IP, Dienstvermittlung  
Mobilfunksysteme: Funkkanal, Standards, Funknetze, Positionierung

Teil 2  
(Mobilfunksysteme)

*- Draft -*

Anm.: Diese Script ist gegenwärtig nicht in allen Teilen aktuell überarbeitet.  
Die Aktualisierung erfolgt erst bei entsprechenden Anforderungen.



Studiengang Mobilkommunikation (BA)  
Umfang: 4 SWS  
15 Wochen

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Irmischer  
Universität Leipzig  
Institut für Informatik  
Lehrstuhl Rechnernetze und Verteilte Systeme (em.)

Dresden, den 05. August 2008

**Inhaltsverzeichnis**

**Teil 1 (Mobile / Ubiquitous / Nomadic Computing): Kap. 1 ... 6**

**Teil 2 (Mobilfunksysteme): Kap. 7 ... 14**

1	Telematik - Neue Kommunikationstechnologien und Teledienste .....	4
2	Entwicklung der modernen Kommunikationsinfrastruktur .....	4
3	Mobile Computing (Ubiquitous Computing) .....	4
4	Mobile Verteilte Systeme (Nomadic Computing) .....	4
5	Mobilfunknetze: Dienste und Netze .....	4
6	Weitere landesweite Mobilfunksysteme .....	4
7	Funkübertragung (Funkwellen und Funkkanäle) .....	5
7.1	Drahtlose Kommunikationssysteme .....	5
7.1.1	Elemente eines elektrischen Kommunikationssystems .....	5
7.1.2	Digitale Kommunikationssysteme .....	6
7.1.3	Kommunikationskanäle .....	8
7.1.4	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen .....	10
7.2	Funkwellen und Charakteristika der Übertragung .....	12
7.3	Technische Systemaspekte (Auswahl) .....	17
7.3.1	Zuteilung der Funkkanäle .....	17
7.3.2	Kanalvergabestrategien .....	21
7.3.3	Aspekte der Fehlersicherung .....	22
8	Mobilfunknetze 2G (Mobiltelefonie, GSM, GPRS u.a.) .....	23
8.1	GSM - Global System for Mobile Communications .....	23
8.1.1	Überblick: Empfehlungen, Aufbau und Komponenten .....	23
8.1.2	Daten- und Anwendungsdienste im GSM .....	25
8.1.3	Architektur des GSM-Systems .....	29
8.1.4	Funkschnittstelle am Bezugspunkt $U_m$ .....	34
8.1.5	Handover und Roaming .....	37
8.1.6	Standardisierte Dienste in GSM Mobilfunknetzen .....	42
8.1.7	Neuere Sprachdienste (ASCI) und Datendienste (HSCSD) .....	45
8.1.8	General Packet Radio Service (GPRS) .....	49
8.1.9	Netzübergangsfunktionen (IWF) und Sicherheitsaspekte .....	56
8.1.10	GSM in Deutschland und Übersee .....	58
8.2	Mobilfunksystem ETSI/DCS1800 .....	59
8.3	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) .....	60
8.4	Weitere zelluläre 2G Mobilfunksysteme .....	61
8.4.1	Flugtelefonnetz für Luft-Boden-Kommunikation (TFTS) .....	61
8.4.2	US Digital Cellular System (USCD) .....	63
8.4.3	CDMA-Zellularfunk gemäß IS-95-CDMA .....	64
8.4.4	Japanisches Personal Digital Cellular System (PDC) .....	64
9	Mobilfunknetze 3G (UMTS, IMT-2000) .....	66
9.1	Ursprung UMTS und Einordnung in IMT-2000 .....	66
9.1.1	Standards IMT-2000 und UMTS .....	66
9.1.2	UMTS (MFN 3G) .....	66
9.2	Merkmale und Dienste der 3. Mobilfunkgeneration .....	69
9.2.1	Charakteristika der 3. Mobilfunkgeneration .....	69
9.2.2	UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) .....	70
9.2.3	IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000 MHz) .....	70
9.2.4	Dienste für UMTS und IMT-2000 .....	71
9.3	Grundlagen UMTS (3GPP) .....	73
9.3.1	Basiskonzepte UMTS .....	73

9.3.2	Architektur und Schichtenstruktur UMTS .....	75
9.3.3	UMTS-Kernnetz .....	76
9.3.4	UMTS-Zugangsnetz (UTRAN).....	77
9.3.5	UMTS-Endgeräte (USIM-Karte).....	79
9.4	Implementation UMTS .....	80
9.4.1	UMTS in Deutschland.....	80
9.4.2	Implementationen (Lizenz, Einsatz).....	82
9.5	Architektur Standard ETSI/UMTS.....	83
9.5.1	Global Multimedia Mobility (GMM).....	83
9.5.2	Zugangsebene (Access Stratum) und Kernnetz.....	85
9.5.3	Funkschnittstelle am Bezugspunkt $U_u$ .....	87
9.5.4	Aspekte der Schichtenarchitektur.....	88
10	Drahtlose lokale Netze (Wireless LAN) .....	92
10.1	Drahtlose lokale Netze im Überblick.....	92
10.1.1	Einordnung und Merkmale.....	92
10.1.2	Bekannt Standards .....	93
10.2	Wireless LAN nach IEEE 802.11 .....	94
10.2.1	WLAN und Protokollarchitektur.....	94
10.2.2	Betriebsmodi für WLAN nach IEEE 802.11.....	95
10.2.3	Bitübertragungsschicht in IEEE 802.11 .....	96
10.2.4	Zugriff auf das Funkmedium (MAC-Subschicht).....	97
10.2.5	Weitere Funktionen der MAC-Schicht.....	99
10.2.6	Weiterentwicklung von IEEE 802.11 .....	101
10.3	ETSI HIPERLAN.....	101
10.3.1	HIPERLAN/1 .....	101
10.3.2	HIPERLAN/2 .....	102
10.4	Wireless ATM (W-ATM) .....	104
10.4.1	Motivation .....	104
10.4.2	Standard W-ATM.....	104
10.5	HomeRF und SWAP .....	105
10.6	Vergleich drahtloser lokaler Netze.....	107
11	Wireless Personal Area Networks (WPAN) .....	108
11.1	Nahbereichskommunikation.....	108
11.2	Infrarot-Netze (IrDA).....	108
11.3	Bluetooth.....	111
11.3.1	Nahbereichs-Funktechnologie für portable Geräte .....	111
11.3.2	Architektur von Bluetooth.....	113
11.3.3	Sicherheitsmechanismen von Bluetooth.....	115
11.4	Neue Entwicklungen der drahtlosen Geräteanbindung.....	117
11.4.1	Drahtlose Identifikationstechniken (RFID, NFC).....	117
11.4.2	Weitere Entwicklungen .....	117
11.4.3	UWB (Ultra Wideband) .....	120
11.4.4	Wireless USB .....	120
11.4.5	WLAN und FritzBox-WLAN.....	120
12	Plattformen für Wireless Applications.....	122
12.1	Drahtloser Datenaustausch in mobilen Umgebungen (OBEX, SyncML, Versit)..	122
12.2	WAP (Wireless Application Protocol).....	126
12.2.1	Drahtloser Internet-Zugang zu Web-Inhalten .....	126
12.2.2	WAP Konzeption und Funktionsweise .....	127
12.2.3	WAP-Architektur .....	128
12.2.4	WML und WMLScript.....	130

12.3	i-Mode und cHTML .....	133
12.3.1	i-Mode .....	133
12.3.2	cHTML .....	133
13	Satellitennetze .....	135
13.1	Satellitenkommunikation .....	135
13.2	Kanalzuordnung .....	136
13.3	Anwendungen von Satellitensystemen (Auswahl).....	137
14	Positionierung und Navigation.....	139
14.1	Verfahren zur Positionsbestimmung .....	139
14.1.1	Grundlagen zur Positionierung.....	139
14.1.2	Verfahren und Systeme .....	140
14.2	Satellitennavigation.....	141
14.2.1	Grundlagen der Satellitennavigation .....	141
14.2.2	Global Positioning System (GPS) .....	142
14.2.3	Differential GPS (DGPS) .....	146
14.2.4	Wide Area Augmentation System (WAAS) .....	147
14.2.5	Weitere Systeme zur Satellitennavigation.....	147
14.3	Positionsbestimmung in Gebäuden.....	148
14.3.1	Dilemma Satellitennavigation .....	148
14.3.2	Infrarot-Baken .....	149
14.3.3	Funk-Baken .....	150
14.3.4	Ultraschall-Verfahren .....	151
14.3.5	Visuelle Positionsbestimmung .....	152
14.4	Netzwerkgestützte Positionsbestimmung.....	152
14.4.1	Einsatz drahtloser Netzwerke .....	152
14.4.2	Positionierung auf Basis GSM .....	152
14.4.3	Positionierung auf Basis WLAN .....	154
14.5	Geografische Adressierung .....	155
14.5.1	Geocast .....	155
14.5.2	Ansatz für Geo-Routing .....	156
14.5.3	Ansatz für Multicasting .....	158
14.5.4	Geografische Adressierung mit Domain Name Service.....	159
15	Abbildungsverzeichnis (Teil 2).....	160
16	Literaturverzeichnis.....	162

## **Teil 1: Mobile / Ubiquitous / Nomadic Computing**

- 1 Telematik - Neue Kommunikationstechnologien und Teledienste**
- 2 Entwicklung der modernen Kommunikationsinfrastruktur**
- 3 Mobile Computing (Ubiquitous Computing)**
- 4 Mobile Verteilte Systeme (Nomadic Computing)**
- 5 Mobilfunknetze: Dienste und Netze**
- 6 Weitere landesweite Mobilfunksysteme**

## Teil 2: Mobilfunksysteme

### 7 Funkübertragung (Funkwellen und Funkkanäle)

#### 7.1 Drahtlose Kommunikationssysteme

##### 7.1.1 Elemente eines elektrischen Kommunikationssystems

###### Elektrische Kommunikationssysteme

Aufgabe: Von Informationsquellen erzeugte Nachrichtensignale sind von einem Sender zu einem oder mehreren Empfängern zu übertragen.

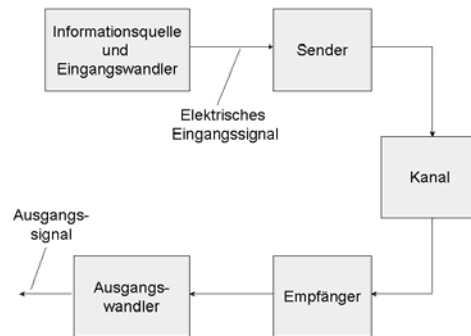


Abbildung 7.1: Kommunikationssystem (Blockdiagramm)

*Informationsquelle:* Erzeugt Informationssignale: Ton (Tonquelle), Bild (Bildquelle), Text. Quellausgangssignal ist stochastischer Natur (sonst kein Grund für Nachrichtenübertragung).

*Wandler:* i.allg. erforderlich, um den Ausgang einer Quelle in ein für die Übertragung geeignetes elektrisches Signal zu wandeln. Beispiele: Mikrophon (akustische -> elektrische Signale), Videokamera (Bilder -> elektrische Signale). Beim Empfänger ähnliche Wandler, um das elektrische Signal in ein für den Benutzer passendes Format zu konvertieren.

Haupt-Elemente des Kommunikationssystems: Sender, Kommunikationskanal, Empfänger.

###### Sender

Wandelt elektrische Signale in passende Signalart für den Kanal um. Sender muss Frequenz des Informationssignals umsetzen, um im zugeteilten Frequenzbereich zu übertragen.

*Festlegung der Frequenzbereiche*, z.B. Federal Communications Commission (FCC) in USA für Rundfunk/Fernsehen, WARC für Funkfrequenzen. Ermöglicht parallele Übertragungen.

Sender übernimmt *Anpassung der Nachrichtensignale* an den Kanal, sog. Modulation: Variation der Amplitude, Frequenz oder Phase eines monochromatischen Trägersignals, um ein Informationssignal mit Hilfe eines Trägersignals zu übertragen (Amplituden-, Frequenz- der Phasenmodulation, und Kombinationen). Auswahl bestimmt durch verfügbare Bandbreite, Störungen, Verstärkungsmöglichkeit udgl.

Modulation ermöglicht Übertragung von gleichzeitig gesandten Signalen über denselben physikalischen Kanal. Weitere Funktionen des Senders, u.a. Filtern und Verstärken der modulierten Signale und im Falle der drahtlosen Übertragung das Ausstrahlen mittels einer Antenne.

###### Kommunikationskanal

Physisches Medium, durch das ein Signal vom Sender zum Empfänger übertragen wird :

- kabelgebunden: Drahtleitungen (Kupferkabel, Koaxialkabel), Glasfaserkabel oder
- drahtlos: Atmosphäre (Funkwellen, Mikrowellenrichtfunk), Infrarot (Millimeterwellen).

Signal kann auf Kanal von unzähligen Störfaktoren beeinträchtigt werden. Üblichste Form der Signalverfälschung ist das additive Rauschen, das am Eingang des Empfängers entsteht (wo Signalverstärkung stattfindet). In drahtlosen Übertragung gibt es zusätzliche Rauschquellen:

- durch Menschen hervorgerufenes Rauschen („man-made-noise“), z.B. Automotoren,
- atmosphärisches Rauschen einer Empfangsantenne, z.B. Blitzeinschlag.

Fremdstörungen durch andere Benutzer des Kanals ist eine weitere Form des additiven Rauschens (sowohl bei drahtlosen als auch drahtgebundenen Kanälen).

Bei einigen Funkkanälen (z.B. ionosphärischer Kanal für Kurzwellenübertragung über große Entfernungen) ist die Mehrwegeausbreitung eine Form der Signaldegradation. Diese Signalverzerrung wird als nicht-additive Signalstörung bezeichnet, die sich als Zeitvariation in der Signalamplitude zeigt (sog. Fading). Additive und nicht-additive Signalverzerrungen sind *stochastische Vorgänge* und werden über statistische Verfahren beschrieben.

### **Empfänger**

Aufgabe: Wiederherstellung des Nachrichtensignals. Dazu führt der Empfänger eine Trägerdemodulation durch, um die Nachricht aus dem monochromatischen Träger zu gewinnen. Da die Signaldemodulation in Anwesenheit von additivem Rauschen und ggf. anderer Signalverzerrungen erfolgt, wird das demodulierte Nachrichtensignal i.allg. verschlechtert sein. Genauigkeit des empfangenen Nachrichtensignals ist abhängig von der Art der Modulation, der Stärke des additiven Rauschens sowie von anderen additiven und nicht-additiven Störungen. Weitere Funktionen des Empfängers (sog. *Randfunktionen*): Filtern von Signalen, Rauschunterdrückung udgl.

## **7.1.2 Digitale Kommunikationssysteme**

### **Digitalisierung der Übertragung**

Analoge Kommunikationssysteme:

Nachrichtensignal hat eine konstante zeitabhängige Form (sog. analoges Signal). Analoge Quellen erzeugen analoge Signale, z.B. Sprachsignale. Sie können direkt durch Trägermodulation über den Kanal gesendet und entsprechend am Empfänger demoduliert werden.

Digitalisierung:

Ausgang der analogen Quelle kann in eine digitale Form konvertiert werden, so dass Nachricht über digitale Modulation gesendet und als digitales Signal am Empfänger demoduliert werden kann. *Vorteile der digitalen Übertragung*:

- Signalgenauigkeit durch digitale Übertragung besser steuerbar,
- Signale über große Distanzen besser regenerierbar,
- Störfaktoren besser zu beseitigen (bei analoger Übertragung wird bei der Verstärkung das Nutzsignal zusammen mit dem hinzukommenden Rauschen verstärkt).
- Analoges Signal enthält viel Redundanz, die durch die digitale Bearbeitung vor dem Modulationsprozess beseitigt werden kann. Dadurch bleibt Bandbreite des Kanals erhalten.
- Digitale Systeme i.d.R. erheblich billiger.

Diskrete Quelle:

In einigen Anwendungen ist die zu sendende Information von Natur aus digital, z.B. Texte, Rechnerdaten. Erzeugende Quelle als diskrete (digitale) Quelle bezeichnet.

Digitale Kommunikationssysteme:

Erweiterung der funktionellen Vorgänge gegenüber dem analogen System: Diskretisierung des Signals am Sender sowie Synthese oder Interpolation des Signals am Empfänger. Zusätzlich: Redundanzbeseitigung und Codieren / Decodieren eines Kanals.

### **Grundelemente eines digitalen Kommunikationssysteme**

Ausgang einer Quelle:

- analoges Signal, z.B. Audio- oder Videosignal, oder
- digitales Signal, z.B. Ausgang eines Rechners, der zeitlich diskret ist und eine endliche Anzahl von Ausgangssymbolen hat.

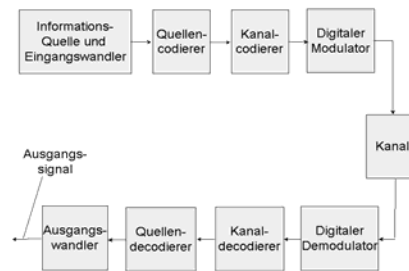


Abbildung 7.2: Digitales Kommunikationssystem (Blockdiagramm)

In digitalen Kommunikationssystemen werden die von einer Quelle erzeugten Informationen i.d.R. in eine *Folge von Binärzeichen* konvertiert, wobei die Nachricht mit so wenig wie möglichen Binärzeichen darzustellen ist.

#### *Quellencodierer:*

Erzeugung einer effizienten Darstellung des Quellenausgangs mit minimalen Redundanzen. Prozess der effizienten Konvertierung einer analogen oder digitalen Quelle in eine Folge von Binärzeichen wird als Quellencodierung oder auch Datenkompression bezeichnet.

#### *Kanalcodierer:*

Führt in kontrollierter Weise etwas Redundanz in die Binärinformationssequenz ein, die am Empfänger verwendet wird, um Rauschen und andere Störungen zu überwinden ~> Erhöhung der Sicherheit und Verbesserung der Genauigkeit der empfangenen Signale. Redundanz hilft Empfänger beim Entschlüsseln der ausgewählten Informationssequenz.

Triviale Form des Codierens: Wiederholen jedes Binärzeichens  $m$ -mal ( $m$  ganz); Entwickeltere Form:  $k$  Informationsbits werden zu einer  $n$ -Bitsequenz („Codewort“) aufgelistet, wobei Quotient  $k/n$  die beigefügte Redundanz misst.

#### *Digitaler Modulator:*

Dient als Schnittstelle zum Informationskanal. Da nahezu alle Kanäle elektrische Signale übertragen können, muss Modulator die Binärinformationssequenz in elektrische Signale ausarbeiten.

Annahme: codierte Informationssequenz wird mit einer Bitrate  $R$  [Bit/sek] übertragen. Durch digitalen Modulator kann das Binärzeichen  $0$  durch ein Signal  $s_0(t)$  und das Binärzeichen  $1$  durch ein Signal  $s_1(t)$  dargestellt werden. Auf diese Weise wird jedes Bit vom Kanalcodierer getrennt übertragen (Vorgang als *Binärmodulation* bezeichnet). Alternativ kann der Modulator Sequenzen von  $b$  Informationsbits zusammenfassen.

Dabei entstehen  $M = 2^b$  mögliche  $b$ -Bitsequenzen, die der Modulator durch die gleiche Anzahl an unterschiedlichen Signalen  $s_i(t)$ ,  $i = 0, 1, \dots, M-1$  darstellt (ein Signal für jede Sequenz), sog. *M-äre-Modulation* ( $M > 2$ ).

#### *Digitaler Demodulator:*

Verarbeitet die vom Kanal evtl. verfälschten Codesymbole und erzeugt damit eine Zahl, die eine Einschätzung für das übertragene Codesymbol (binär oder  $M$ -är) darstellt. Wenn binäre Modulation angewendet, muss Modulator entscheiden, ob das gesendete Bit eine  $0$  oder  $1$  ist (sog. binäre Entscheidung). Oder Modulator trifft ternäre Entscheidung: Bit entweder eine  $0$ ,  $1$  oder keine Entscheidung, abhängig von Qualität des empfangenen Signals (falls keine Entscheidung: „Demodulator hat eine Ausradierung in die demodulierten Daten eingefügt“). Bei Redundanz in Sendedaten versucht Decodierer, die ausradierten Stellen wieder auszufüllen.

#### *Kanaldecodierer:*

Versucht die ursprüngliche Informationssequenz aus den Informationen des Codes zu rekonstruieren, die einerseits vom Kanalcodierer benutzt wurden und andererseits in der Redundanz der empfangenen Daten vorhanden sind.

### Quellendecodierer:

Falls ein analoger Ausgang gefordert, akzeptiert der Quellendecodierer die Ausgangssequenz des Kanalcodierers und versucht, mit den Informationen, die beim Verfahren der Quellencodierung benutzt wurden, das ursprüngliche Signal der Quelle zu rekonstruieren.

Aufgrund von Kanaldecodierfehlern und möglicher Verzerrungen durch den Quellcodierer ist das Signal am Ausgang des Quellendecodierers eine Näherung zum originalen Quellenausgang. Die Differenz zwischen originalen und rekonstruierten Signal ist ein Maß für die Verzerrung durch das digitale Kommunikationssystem.

### Basisarbeiten

Morse (1840): Erstes elektrisches digitales Kommunikationssystem (Telegrafie).

Nyquist (1924): Ermittlung der maximal übertragbaren Signalisierungsrate über einen Telegrafkanal mit begrenzter Bandbreite ohne Entstehen von Intersymbolinterferenzen (größtmögliche Pulsfrequenz liegt bei doppeltem Wert der Bandbreite, sog. *Nyquist-Frequenz*. Ermöglicht Wiederherstellen der Daten ohne Intersymbolinterferenzen).

Shannon (1948): formulierte daraus das sog. *Abtasttheorem* für bandbegrenzte Signale:

*Verlustfreie* Rekonstruktion eines Signals  $s(t)$  mit der Bandbreite  $W$  aus Abtastwerten, die mit der Abtastfrequenz  $2W$  von Abtastwerten/sek. entnommen werden.

Hartley (1928): Ermittlung der Datenmenge, die zuverlässig über einen bandbegrenzten Kanal übertragen werden können, wenn viele Amplitudenstufen benutzt werden.

Wiener (1942): Signaluntersuchung bei Anwesenheit von additivem Rauschen. (mittels Signaldemodulation, sog. optimales lineares Wiener-Filter).

Shannon (1948): Schuf auf Basis der Arbeiten von Nyquist und Hartley über die maximalen Übertragungsfrequenzen die mathematischen Grundlagen der Informationstheorie:

- Wkt.-theoretische Untersuchung der zuverlässigen Informationsübertragung am Modell des gestörten Übertragungskanals,
- Formulierung des Zusammenhangs zwischen Sendeleistung, Bandbreitenbeschränkung und additivem Rauschen,
- Definition des Parameters der Kanalkapazität.

Kotelnikov (1947): Geometrische Beschreibung eines digitalen Kommunikationssystems.

Hamming (1950): Arbeiten zu Fehlererkennung und Fehlerkorrekturcodes zur Beseitigung der Wirkung des Kanalrauschens („Hamming-Abstand“).

## 7.1.3 Kommunikationskanäle

### Eigenschaften

Kommunikationskanal stellt die Verbindung zwischen Sender und Empfänger dar. Ein physikalischer Kanal kann sein:

- *Drahtleitungskanal* (Kupferkabel, Koaxialkabel): Übertragung elektrischer Signale,
- *Glasfaserkabel*: überträgt Informationen auf einem modulierten Lichtstrahl,
- *Unterwasserozeankanal*: überträgt Informationen akustisch,
- *Atmosphäre*: Informationstragende Signale werden über Antennen ausgestrahlt,
- *Datenspeicher* (offline-Kanal): Magnetband, Magnetspeicher, optische Speicherplatten.

Signifikantes Problem der Signalübertragung: Additives Rauschen. Dies i.allg. durch die Systemkomponenten des Kommunikationssystems (Widerstände, Halbleiter) erzeugt, sog. thermisches Rauschen. Andere Rausch- und Störquellen können außerhalb des Systems entstehen. Negative Auswirkungen durch Störungen im gleichen Frequenzbereich können durch geeigneten Entwurf des Signals und durch den Demodulator am Empfänger minimiert werden.

Andere Arten von Signaldegradationen bei Übertragung über den Kanal: Signalabschwächung, Amplituden- und Phasenverzerrung, Mehrwegeausbreitung.



Die Auswirkungen des Rauschens können durch Erhöhung der Leistung im gesendeten Signal minimiert werden. Es gibt aber weitere Begrenzungen der Leistung durch praktische Beschränkungen. Grundlegende Beschränkung: vorhandene Kanalbandbreite.

- Entsteht i.d.R. durch die physikalischen Beschränkungen des Mediums und durch elektronische Bestandteile, die für das Senden und Empfangen verantwortlich sind.
- Beide begrenzen die Datenmenge, die zuverlässig über einen Kanal übertragen werden können (Shannon, Kanalkapazität).

### Drahtleitungskanäle

Wichtigste Anwendung: Telefonnetz (auch konventionelle Daten/Rechnernetze). Übertragung von Sprachsignalen sowie Daten und Videos. Verdrillte Kupferkabel und Koaxialkabel sind elektromagnetisch führende Kanäle, die relativ geringe Bandbreiten anbieten:

Telefonleitung zwischen Kunde und Vermittlungsstelle einige 100 kHz (Kilohertz; Sprache bis 4 kHz, höhere Frequenzen für Daten (xDSL)), Koaxialkabel einige MHz (Megahertz). Übertragene Signale werden sowohl in der Amplitude als auch in der Phase verzerrt und dazu von additivem Rauschen beeinträchtigt. Hohe Bedeutung der Fernsprechanäle im nationalen und internationalen Maße. Es wird erwartet, dass die bisherigen Kabel in Fernsprechnetze in den nächsten Jahren durch Glasfaserkabel ersetzt werden.

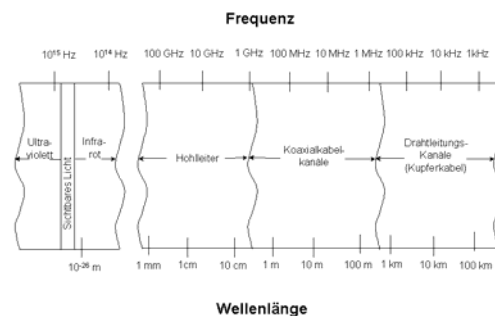


Abbildung 7.3: Frequenzbereich der Drahtleitungskanäle

### Glasfaserkanäle

Bieten erheblich größere Kanalbandbreite als Drahtleitungskanäle. In letzten Jahren Glasfaserkabel mit geringer Signalabschwächung und Lasertechniken für Signalerzeugung und Signaldetektion (optische Übertragung) entwickelt. Einsatz in Telekommunikation für Ton-, Daten-, Fax- und Videoübertragung.

Sender oder Modulator ist eine Lichtquelle: Leuchtdiode (LED) oder Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Information wird durch Variieren (Modulieren) der Intensität der Lichtquelle mittels des Nachrichtensignals gesandt (Lichtfarbe). Das Licht breitet sich als Lichtwelle durch die Faser aus und wird entlang des Übertragungsweges periodisch regeneriert (bei digitaler Übertragung wird es demoduliert und von Verstärkern regeneriert), um Signalabschwächungen auszugleichen. Am Empfänger wird Lichtintensität von einer Fotodiode erfasst, die ein elektrisches Signal erzeugt, das von der Lichtenergie bestimmt wird. Moderne Lasertechnologien verwenden optische Multiplexoren und Add/Drop-Schalter.

### Drahtlose elektromagnetische Kanäle

In Funksystemen ist die elektromagnetische Energie mit dem Ausbreitungsmedium durch eine Antenne eng gekoppelt, die als Strahler fungiert. Größe und Konfiguration der Antenne stark von Frequenz des Vorgangs abhängig. Um effiziente Strahlung elektromagnetischer Energie zu ermöglichen, muss die Antenne länger als 1/10 der Wellenlänge sein.

Die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen in der Atmosphäre kann in 3 Kategorien unterteilt werden: *Bodenwellenausbreitung*, *Raumwellenausbreitung*, *Sichtlinienausbreitung*

(LOS, Direktausbreitung). Wichtige Problemstellungen der Funkausbreitung: Dämpfung, Beugung, Fading, Mehrwegeausbreitung, Fremdstörungen, Sicherheit

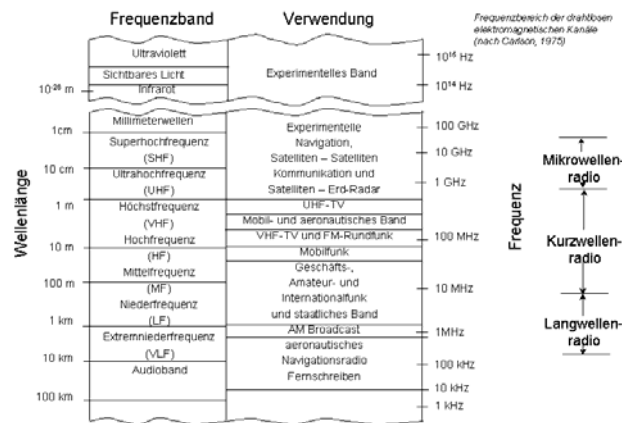


Abbildung 7.4: Frequenzbereiche drahtloser elektromagnetischer Kanäle

### Akustische Unterwasserkanäle

Aufgaben:

- Ozeanforschung: Datensammlung (Sensoren) unter Wasser, Transport an Oberfläche, Weitertransport mittels Satellit.
- Entwicklung von akustischen Unterwasserkanälen über große Entfernungen.

Elektromagnetische Wellen können sich unter Wasser nicht über große Entfernungen ausbreiten. Ausnahme: sehr langwellige – dafür aber leistungsstarke Sender erforderlich.

Abschwächung elektromagnetischer Wellen im Wasser kann in Abhängigkeit der Eindringtiefe ausgedrückt werden. Sie ist die Strecke, in der ein Signal um 1/e abgeschwächt wird.

Im Gegensatz breiten sich akustische Signale über Entfernungen von 10 ... 100 km aus. Ein akustischer Küstenwasserkanal wird wegen der Signalreflexion des Meeresbodens und der Meeroberfläche als ein Mehrwegekanal charakterisiert. Infolge Wellengängen erfahren Anteile des Mehrwegekanals zeitveränderliche Ausbreitungsverzögerungen ~> bewirkt Signalabschwächungen. Außerdem frequenzabhängige Abschwächungen.

Akustisches Umgebungsrauschen im Ozean wird durch Fische, Garnelen und verschiedene Säugetiere verursacht. In Hafennähe kommt noch das akustische „Man-made“ Rauschen hinzu. Dennoch ist es möglich, effiziente und höchst zuverlässige akustische Unterwasser Kommunikationssysteme zu entwickeln, die für die Übertragung digitaler Signale über große Entfernungen geeignet sind.

### Speicherkanäle

Systeme für Datenspeicherung und Informationsretrieval. Verwendete Medien: Magnetbänder (Rechnerdaten), Digitale Audio- und Videobänder, Magnetplatten (Rechnerdaten), Optische Speicherplatten (Rechnerdaten, Musik (CD), Video (DVD, Blue-ray, HD-DVD)).

Ebenfalls als Kommunikationskanäle charakterisierbar (offline-Kanal): Vorgang der Speicherung entspricht dem Senden und Übertragen über TK-Kanal, Vorgang der Signalverarbeitung im Speicher und Informationswiederherstellung entspricht dem Empfangen der Signale.

#### 7.1.4 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen

Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen in der Atmosphäre als *Bodenwellen*, *Raumwellen*, *Sichtlinienausbreitung (LOS, Direktwellen)*.

##### Bodenwellen (Oberflächenwellen)

In niederfrequenten VLF- und LF-Bereichen mit Wellenlängen > 10 km sorgen Erde und Ionosphäre als Wellenleiter für die elektromagnetische Ausbreitung. In diesen Bereichen breiten sich die Signale um ganzen Globus aus. Anwendung i.w. bei Schiffsnavigation. Allerdings

hier kleine Kanalbreiten  $\leadsto$  somit langsame Geschwindigkeiten. Übliches Rauschen: Gewitter. Störungen: große Benutzungsdichte dieser Frequenzen.

Bodenwellenausbreitung dominant für Frequenzen im MF-Bereich (0,3 ... 3 MHz), u.a. für AM-Rundfunk und Seerundfunk. Reichweite bei AM-Rundfunk auf ca. 100 Meilen beschränkt. Störfaktoren der MF-Signalübertragung: atmosphärisches Rauschen, „Man-made“-Rauschen und thermisches Rauschen der elektronischen Bauelemente des Empfängers.

### Raumwellen

Raumwellenausbreitung erfolgt durch Signale, die von der Ionosphäre reflektiert (gebogen oder gebrochen) werden.

Ionosphäre: Schichten beladener Teilchen, Höhe 30 – 250 Meilen über Erdoberfläche. Erhitzung der tiefer gelegenen Atmosphäre tagsüber verursacht Verformung der niederen Schichten unter 75 Meilen. Diese Unterschichten (insbes. sog. D-Schicht) absorbieren Frequenzen unter 2 MHz, und begrenzen somit die Raumwellenausbreitung von AM-Rundfunkwellen. Allerdings sinkt nachts die Elektronendichte in den Unterschichten der Ionosphäre. Dadurch nimmt die Frequenzabsorption, die tagsüber die AM-Übertragung verhindert, deutlich ab. Leistungsstarke AM-Rundfunkübertragungsstationen sind aber in der Lage, bei größeren Entfernungen mittels Raumwellen über die F-Schicht der Ionosphäre auszustrahlen, die in Höhe 90 – 250 Meilen über der Erdoberfläche liegt.

Häufiges Problem bei Raumwellen im HF-Frequenzbereich: *Mehrwegeausbreitung*. Entsteht, wenn das ausgesendete Signal über mehrere Ausbreitungswege in unterschiedlichen Zeitabständen beim Empfänger ankommt. Bewirkt i.allg. Intersymbolinterferenzen. Außerdem können durch die auf unterschiedlichen Ausbreitungswegen gesandten Einzelinformationen durch destruktive Überlagerungen den unerwünschten Effekt des Signalfadings hervorrufen. Dieser entsteht z.B. beim nächtlichen Hören einer weit entfernten Funkstelle, wenn Raumwellen den dominierenden Ausbreitungsanteil ausmachen. Additives Rauschen ist bei HF eine Mischung aus atmosphärischen und thermischen Rauschen.

Ionosphärische Raumwellenausbreitung existiert bis zu einer Frequenz von 30 MHz (entspricht Ende des HF-Bereiches), infolge Signalstreuung auch in niederen Schichten der Ionosphäre bei Frequenzen von 30 – 60 MHz. Außerdem möglich, über große Entfernungen (einige 100 Meilen) mit Hilfe der troposphärischen Streuung in Frequenzbereichen von 40 – 300 MHz zu übertragen. Troposphärische Streuung resultiert aus der Signalstreuung auf Grund von Teilchen in der Atmosphäre in Höhen von 10 Meilen und weniger.

Ionosphärische und troposphärische Streuungen sind i.allg. mit großen Ausbreitungsverlusten verbunden und benötigen sehr große Sendeleistung sowie relativ große Antennen.

### Sichtlinienausbreitung

Für Frequenzen des VHF-Bereiches und höher ist die Sichtlinienausbreitung (LOS: Line of Sight, Direktwellen) die vorherrschende Art der elektromagnetischen Ausbreitung. Frequenzen oberhalb 30 MHz breiten sich durch die Ionosphäre mit relativ kleinen Verlusten aus und ermöglichen Satelliten- und außerirdischen Nachrichtentechnik. Für terrestrische Mobilfunksysteme bedeutet dies, dass die Sende- und Empfangsantennen in Sichtlinie mit wenigen Behinderungen sein müssen.

Deshalb stellen Fernsehstationen, die im VHF- und UHF-Bereich übertragen, ihre Antennen auf hohe Türme, um eine große Flächenabdeckung zu erzielen. I.allg. wird das Flächenabdeckungsgebiet der LOS-Ausbreitung von der Krümmung der Erde beschränkt.

Näherung für geradlinige unbehinderte Entfernung  $d$  [Meilen] zum Rundfunkhorizont, wenn Antenne in Höhe von  $h$  [Fuß] aufgestellt ist:  $d = \sqrt{2h}$

In Frequenzen über dem SHF-Bereich werden die Bereiche des infraroten und sichtbaren Lichts des elektromagnetischen Spektrums benutzt, um optische Sichtlinienkommunikation in der Atmosphäre zu ermöglichen (z.B. bei der Satellitenverbindung).

### Primäre Rauschquellen

Primäre Rauschquellen in den VHF- und UHF-Frequenzbereichen sind einerseits thermisches Rauschen, hervorgerufen an der Vorderseite des Empfängers, und andererseits kosmisches Rauschen, das von der Antenne aufgenommen wird.

Bei Frequenzen im SHF-Bereich über 10 GHz spielen atmosphärische Bedingungen eine größere Rolle in der Signalausbreitung. Signalabschwächung (in dB/Meile) aufgrund von Niederschlägen für Frequenzen im Bereich von 10 – 100 GHz. Schwerer Regen kann zu sehr hohen Ausbreitungsverlusten führen, bis zu Totalausfall.

## 7.2 Funkwellen und Charakteristika der Übertragung

### Funkwellen

Funkwellen (elektromagnetische Wellen): Elektromagnetische Signale werden in Mobilfunksystemen im freien Raum übertragen (vs. kabelgebundene Netze). Entwicklung von MFN erfordert genaue Kenntnis der *Ausbreitungseigenschaften* von Funkwellen (elektromagnetische Wellen). Maxwell'sche Gleichungen hierbei nicht ausreichend, Geometrie und Materialkonstanten müssen genau bekannt sein.

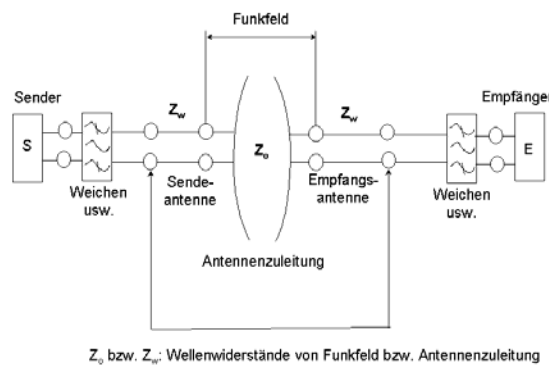


Abbildung 7.5: Funkübertragungsstrecke Sender – Empfänger

Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im freien Raum ist sehr komplex. In Abhängigkeit von der Frequenz und der damit verbundenen Wellenlänge breiten sich elektromagnetische Wellen als Boden- oder Oberflächen-, Raum- und Direktwellen aus. Von der Ausbreitungsart hängt auch die Reichweite (Entfernung) ab, in der das Signal noch empfangen werden kann. Allgemein gilt: Je höher die Frequenz der zu übertragenden Welle, desto geringer ist die Reichweite.

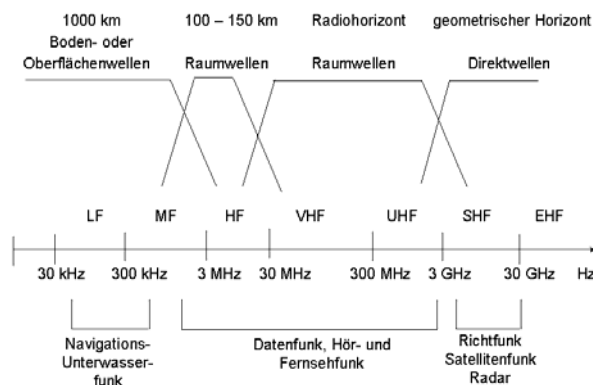


Abbildung 7.6: Ausbreitung und Reichweite elektromagnetischer Wellen

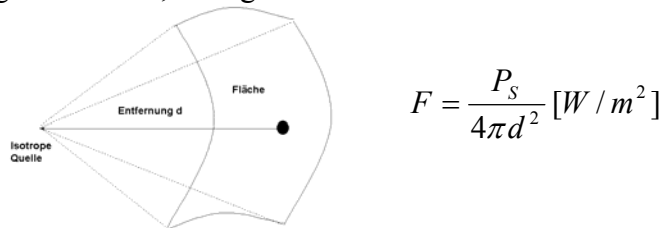
Wellen *niedriger Frequenz*, d.h. großer Wellenlänge, breiten sich der Erdkrümmung folgend als Boden- oder Oberflächenwellen aus ~> können noch in großer Entfernung und sogar in Tunneln empfangen werden.

Bei *höheren Frequenzen* bilden sich vorwiegend Raumwellen aus. Neben der direkten Strahlung, die abhängig von der Rauigkeit und Leitfähigkeit der Erdoberfläche schnell gedämpft wird, werden diese Wellen abhängig von ihrer Frequenz in der Troposphäre oder Ionosphäre gebeugt und reflektiert.

Reichweiten *mittelgroßer Frequenzen* liegen bei 100 bis 150 km, während bei höheren Frequenzen die Reichweite geringer wird, da die Ionosphäre hier zunehmend durchlässiger wird (sog. Radiohorizont). Raumwellen können bei verstärkter Sonnenaktivität durch mehrfache Reflexion an den leitenden Schichten der Ionosphäre und der Erdoberfläche mehrere tausend Kilometer zurücklegen. Wellen mit *Frequenz oberhalb von 3 GHz* breiten sich als Direktwellen aus und sind somit näherungsweise nur innerhalb des geometrischen (optischen) Horizonts zu empfangen. Ein weiterer Faktor, der die Reichweite elektromagnetischer Wellen bestimmt, ist deren Leistung. Die Feldstärke einer elektromagnetischen Welle im freien Raum nimmt umgekehrt proportional mit der Entfernung zum Sender ab, und Empfängereingangsleistung schwindet daher mit dem Quadrat der Entfernung.

### Antennenleistung

Eine ideale punktförmige Strahlungsquelle sendet ihre Leistung  $P_s$  gleich verteilt in alle Richtungen aus. Eine idealisierte Quelle dieser Art (sog. *isotroper Strahler*) kann jedoch physikalisch nicht realisiert werden. Die Leistungsflussdichte  $F$ , die in einer Entfernung  $d$  vom Kugelstrahler die Oberfläche der Kugel durchtritt, beträgt:



$$F = \frac{P_s}{4\pi d^2} [W / m^2]$$

Abbildung 7.7: Leistungsflussdichte  $F$  eines isotropen Strahlers

In Praxis werden Antennen benutzt, die die abgestrahlte Leistung in eine Richtung bündeln. Die maximale Leistung der Antenne wird in Richtung der Hauptkeule abgestrahlt. Der maximale Antennengewinn gibt die Verstärkung der Antenne, bezogen auf isotropen Strahler an.

### Dämpfung

Infolge Wetterbedingungen verändert die Atmosphäre ihre Eigenschaften. Damit ändern sich auch die Ausbreitungsbedingungen der Wellen. Dämpfung ist frequenzabhängig und wirkt sich bei einigen Frequenzen sehr stark aus, bei anderen kaum. So tritt z.B. in den höheren Frequenzbereichen ab etwa 12 GHz bei *Nebel* oder *Regen*, durch Streuung und Absorption der elektromagnetischen Wellen an Wassertropfen eine starke Dämpfung ein.

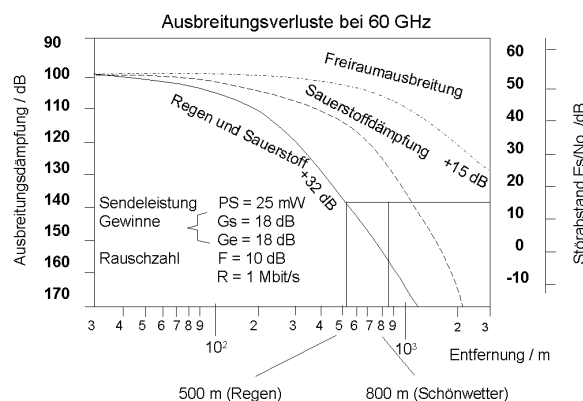


Abbildung 7.8: Dämpfung aufgrund von Wittereinflüssen

Bei der frequenzabhängigen Dämpfung von Funkwellen mit horizontaler Freiraumausbreitung ist somit zu berücksichtigen, dass zur gasbedingten Dämpfung ggf. noch die entsprechenden Dämpfungswerte für Nebel bzw. Regen unterschiedlicher Intensität addiert werden müssen. Bemerkenswert sind die durch Wasserdampf (bei 23, 150 usw. GHz) bzw. Sauerstoff (bei 60 und 110 GHz) auftretenden, resonanzbedingten lokalen Dämpfungsmaxima. Erzielbare Reichweiten sind 800 m bei Schönwetter und 500 m bei Regen (50 mm/h).

### Ausbreitung über einer Ebene

Freiraumausbreitung hat für Mobilkommunikation wenig praktische Bedeutung, da in der Realität immer Hindernisse und reflektierende Oberflächen im Ausbreitungspfad auftreten. Neben der entfernungsabhängigen Dämpfung verliert die ausgestrahlte Welle noch Energie durch Reflexion, Transmission und Beugung an Hindernissen.

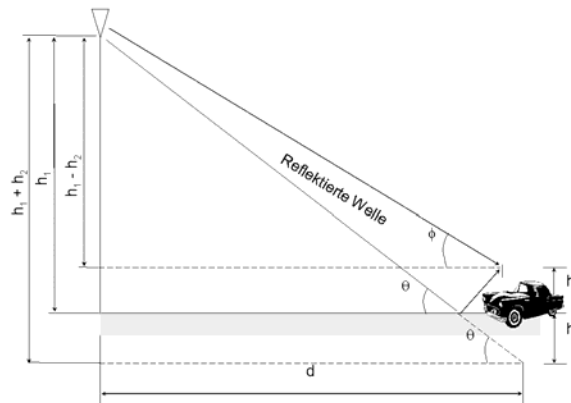


Abbildung 7.9: Modell der Zweiwegeausbreitung

Für den einfachen Fall einer Zweiwegeausbreitung über einer reflektierenden Ebenen lässt sich eine einfache Berechnung durchführen. In diesem Modell nimmt die Empfangsleistung viel schneller ab ( $\sim 1/d^4$ ) als bei der Freiraumausbreitung ( $\sim 1/d^2$ ). Man erhält eine bessere Annäherung an die Realität der Mobilfunkumgebung, berücksichtigt aber nicht, dass reale Geländeoberflächen rauh sind und dadurch neben Reflexion auch eine Streuung der Welle bewirken. Außerdem haben Hindernisse im Ausbreitungsweg und der Bebauungstyp des Geländes Einfluss auf die Dämpfung. Für die Berechnung des Pfadverlustes abhängig von diesen Parametern existiert eine Reihe von Modellen.

### Mehrwegeausbreitung (Schwund bei Ausbreitung mit vielen Reflektoren)

Fading bzw. Schwund bezeichnet die Schwankungen der Amplitude des Empfangssignals, die durch ausbreitungsbedingte Störungen entstehen. Mehrwegeausbreitung durch Reflexion und Streuung von Funkwellen bewirkt, dass gesendete Signale über verschiedene lange Pfade phasen verschoben beim Empfänger ankommen und sich dort überlagern. Diese Interferenz kann das empfangene Signal verstärken, verzerren oder sogar auslöschen. Es gibt viele Ursachen, die zum Schwund beitragen:

1. In der realen Funkumgebung erreicht die Welle den Empfänger nicht nur auf direktem Weg, sondern auch über Umwege. Typisch für die Mehrwegeausbreitung sind (bei breitbandigen Signalen Frequenz selektive) Pegelbrüche und -anhebungen innerhalb der Kanalbandbreite, die u.U. unter die Empfindlichkeitsschwelle des Empfängers reichen oder ihn über seinen linearen Bereich hinaus aussteuern.
2. Die einzelnen Teilwellen können sich dabei konstruktiv oder destruktiv überlagern und erzeugen näherungsweise einen ortsfesten, als Mehrwegeschwund (*Multipath-Fading*) bezeichneten Pegelverlauf, der bei Bewegung des Empfängers zu einem typischen Pegelverlauf entlang einer Strecke führt, dem sog. Kurzzeitschwund (*Short-Term Fading*).

3. Durch die unterschiedlichen Laufzeiten der Teilwellen ergibt sich eine Verbreiterung der Stoßantwort des Kanals. Diese Laufzeitspreizung (*Dispersion* bzw. *Delay Spread*) kann zu Interferenz zwischen übertragenen Symbolen führen (*Intersymbol Interference*).
4. Außerdem ergibt sich beim bewegten Empfänger, je nach Einfallsrichtung der Teilwelle, eine positive oder negative *Dopplerverschiebung*, die zu einer Verbreiterung des Frequenzspektrums führt.

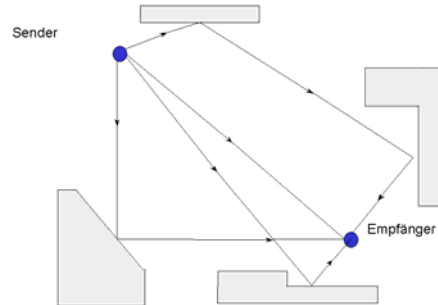


Abbildung 7.10: Mehrwegeausbreitung

Durch einen sog. Diversity-Empfänger mit zwei Antennen, die in geringem Abstand ( $n \cdot \lambda/2$ ;  $n = 1, 2, \dots$ ) voneinander angebracht sind, kann man den Empfangspegel u.U. erheblich verbessern: Aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungspfade der Funkwellen treten die schwundbedingten Empfangsminima und -maxima beider Antennen an unterschiedlichen Orten im Funkfeld auf, so dass der Empfänger immer den gerade stärksten Empfangspegel auswählen kann. Bei *Scanning Diversity* wird die Antenne bei Unterschreiten des Pegels an der aktuellen Antenne gewechselt. Bei *Selection Diversity* wird stets die Antenne mit dem höchsten Signalpegel benutzt.

### Reflexion

Die Wellen werden bei glatten Oberflächen vollständig, sonst infolge partieller Absorption teilweise reflektiert  $\leadsto$  führt zu unerwünschten Phasensprüngen. Trifft eine sich ausbreitende Welle auf eine Wand, so wird ein Teil reflektiert und ein Teil transmittiert. Der Reflexionsanteil ergibt sich aus der direkten Reflexion und unendlich vielen Mehrfachreflexionen im Inneren der Wand. Genauso besteht der gesamte transmittierte Anteil aus einer direkt durchgehenden Welle und vielen in der Schicht reflektierten Teilwellen.

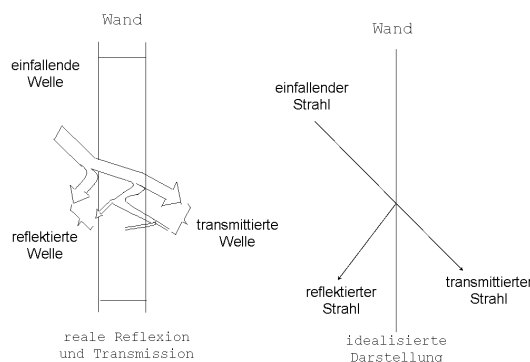


Abbildung 7.11: Reflexion an einer Schicht

Die Summe von reflektierter und transmittierter Welle unterscheidet sich von der eingefallenen Welle, da bei den Mehrfachreflexionen innerhalb der Wand Dämpfungsverluste entstehen. Bei Prädiktion (Voraussage) der tatsächlichen Funkausbreitung (z.B. mit Strahlenverfolgungsverfahren) werden meist die geometrischen Bedingungen von Reflexion und Transmission an einer Wand (allerdings in der idealisierten Darstellungsform) betrachtet. Aus folgenden Gründen treten dabei geometrische Fehler auf:

- Die durchgehende Welle wird im Inneren der Wand zum Lot hin gebrochen. Dadurch entsteht nach dem Durchgang durch die Wand ein Versatz zum Austrittspunkt, der in der vereinfachten Darstellung nicht berücksichtigt wird.
- Die Anteile, die durch Mehrfachreflexionen entstehen, treten in der Realität nicht an derselben Stelle aus der Schicht aus wie die direkte Welle.

*Der Reflexionspunkt wird an der idealisierten Wand bestimmt und liegt daher um die halbe Wanddicke versetzt zum wirklichen Reflexionspunkt.*

### Beugung

Mit Beugung bezeichnet man die Beeinflussung sich ausbreitender Wellen an Hindernissen. Eine Welle wird in den Abschattungsraum des Hindernisses hinein gebeugt, kann also einen Bereich erreichen, in den sie sonst nur auf direktem Weg durch Transmission gelangen könnte. Der Einfluss der Beugung ist umso stärker, je größer das Verhältnis von Wellenlänge zu Abmessungen des Hindernisses ist. Ab Frequenzen oberhalb von etwa 5 GHz kann die Beugung vernachlässigt werden.

### RMS Delay-Spread

Der Wert RMS Delay-Spread (*Root Mean Square*) beschreibt die Dispersion (Aufspreizung) eines Signals durch Mehrwegeausbreitung und berücksichtigt die zeitliche Verzögerung aller eintreffender Pfade bzgl. des ersten Pfades. Die jeweiligen Pfade werden mit dem Empfangspegel gewichtet. Überschreitet der Wert des RMS Delay-Spreads eine systemabhängige Größe, so wird angenommen, dass kein fehlerfreier Empfang mehr möglich ist. Dann treffen Wellen über erheblich längere Pfade ein, deren Pegel nicht vernachlässigbar klein sind. Ist die resultierende Zeitverschiebung größer als die Symboldauer bei der Übertragung, kommt es zu Intersymbol-Interferenzen und Bitfehlern im Empfänger.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i} \sum_{i=1}^n (\tau_i^2 P_i) - \tau_d^2} \quad \text{mit} \quad \tau_d = \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$\tau_{rms}$	RMS Delay Spread	$P_i$	Empfangspegel des i-ten Pfades
$\tau_i$	Zeitverzögerung des i-ten Pfades	$n$	Anzahl eintreffender Pfade im Raumpunkt

### Abschattung

Hindernisse in der Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger im Freien (Berge und Gebäude) bzw. in Gebäuden (Wände) verhindern eine direkte Wellenausbreitung und unterbinden so den kürzesten, häufig ungestörten Weg zwischen Sender und Empfänger und verursachen eine zusätzliche Dämpfung des Pegels, die sog. Abschattung (*Shadowing*).

Durch Abschattung variiert der Signalpegel über eine Entfernung, die z.B. bei 900 MHz in der Größenordnung von etwa 25 bis 100 m liegt. Man spricht beim bewegten Empfänger von Langzeitschwund (*Longterm-Fading*), weil er sich längere Zeit im Funkschatten aufhält.

### Störungen durch Fremdsysteme

Zu den bereits beschriebenen Störungen der Funkwellenausbreitung kommen noch externe Störungen hinzu, wie

- wechselseitige Beeinflussungen von im Spektrum benachbarten Funkssystemen oder
- elektromagnetische Impulse durch z.B. Fremdsysteme auf Nachbarkanälen, Autoanlasser, Generatoren und PCs (sog. *Man-made-Noise*).



## 7.3 Technische Systemaspekte (Auswahl)

### 7.3.1 Zuteilung der Funkkanäle

#### Multiplexverfahren

Zur besseren Ausnutzung der Kapazität eines Übertragungsmediums gibt es verschiedene Methoden, um mehrere Verbindungen gleichzeitig im Multiplex zu übertragen. Multiplexverfahren ist ein Algorithmus, der die Mehrfachnutzung der Übertragungskapazität eines Mediums erlaubt. Bei Funksystemen i.w. folgende *Multiplexverfahren* angewandt (oft kombiniert):

- *Frequency Division Multiplexing* (FDM, Frequenzmultiplex),
- *Time Division Multiplexing* (TDM, Zeitmultiplex),
- *Code Division Multiplexing* (CDM, Codemultiplex),
- *Space Division Multiplexing* (SDM, Raummultiplex),

Neben diesen Multiplexverfahren gibt es Zugriffsverfahren zu den jeweiligen Frequenz-, Zeit-Code- und Raumkanälen:

- *Frequency Division Multiple Access* (FDMA)
- *Time Division Multiple Access* (TDMA)
- *Code Division Multiple Access* (CDMA)
- *Space Division Multiple Access* (SDMA)

Die Zugriffsverfahren sind als Schicht-2-Protokolle (OSI-Referenzmodell) spezifiziert.

#### Frequenzmultiplex (FDM)

Beim Frequenzmultiplex-Verfahren wird das für das Funksystem zur Verfügung stehende Spektrum in mehrere Frequenzbänder unterteilt, die gleichzeitig genutzt werden können.

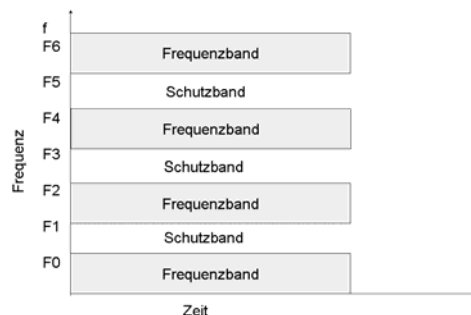


Abbildung 7.12: Frequenzmultiplexverfahren FDM

Jedes Frequenzband wird als physikalischer Kanal gesehen, der jeweils zwei oder mehr Stationen exklusiv zur Kommunikation zugewiesen wird. Jede Station kann mit der vollen verfügbaren Übertragungsrate des Frequenzbandes senden bzw. empfangen. Eine Einteilung des Frequenzspektrums in Frequenzbänder wird erreicht, indem man unterschiedliche Trägerfrequenzen mit den jeweils zu übertragenden Nachrichten moduliert.

Empfangsseitig erfolgt die Trennung der Signale durch entsprechende Filterung. Da reale Filter nur eine endliche Flankensteilheit aufweisen, sind Schutzbänder (*Guard Band*) nötig, um Interfrequenzen (Übersprechen) zu vermeiden. Deshalb ist die vollständige Nutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzbandes nicht möglich. Anwendung des Frequenzmultiplex-Verfahrens bei Mobilfunksystemen der 1. und 2. Generation (z.B. C-, D- und E-Netz) oder Bündelfunksystemen.

#### Zeitmultiplex (TDM)

Die Kapazität eines FDM-Kanals ist u.U. größer, als für eine Kommunikationsbeziehung benötigt. Man kann dann den Frequenzkanal periodisch abwechselnd mehreren Kommunikationsbeziehungen zuteilen.

Diese Idee liegt dem Zeitmultiplex-Verfahren zu Grunde, bei dem ein Funkkanal in seiner gesamten Bandbreite genutzt wird, aber in Zeitschlitze (*Slots*) unterteilt wird, die dann jeder Station periodisch für die Dauer der Verbindung fest zugewiesen werden.

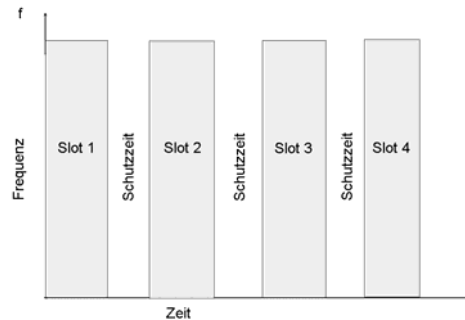


Abbildung 7.13: Zeitmultiplexverfahren TDM

In einem Slot kann die übertragende Station eine bestimmte Anzahl Datenbits unterbringen. Die Folge der durch eine Station genutzten Slots bildet einen Zeitkanal.

In einigen Anwendungen ist eine feste Zuweisung der Zeitschlitze („*synchron*“) an Stationen und die damit verbundene ständige Belegung des Übertragungsmediums nachteilig, wenn große Übertragungspausen auftreten  $\sim$  deshalb Zeitschlitze den einzelnen Benutzern nach Bedarf zentral oder dezentral zugewiesen („*asynchron*“). TDM-Verfahren erfordert für den Zugang zum Übertragungsmedium einen Multiplexer bzw. empfangsseitig einen Demultiplexer, die zueinander genau synchron arbeiten müssen, damit die übertragenen Nachrichten den richtigen Zeitkanälen zugeordnet werden. Ähnlich wie beim FDM-Verfahren muss auch in TDM-Systemen eine Schutzzeit (*Guard Time*), jetzt zwischen den einzelnen Slots, vorgesehen werden, um Synchronisationsfehler und Signallaufzeitunterschiede und damit Interferenzen der Signale zu vermeiden. Diese Schutzzeit verhindert die Realisierung beliebig kurzer Zeitschlitze und reduziert somit die theoretisch mögliche Kapazitätsausnutzung.

TDM ist zwar frequenzökonomischer als FDM, erfordert aber eine sehr genaue Synchronisation der beteiligten Parteien und deshalb höheren Aufwand als FDM. Alle digital übertragenden MFN 2G wenden neben dem FDM- auch das TDM-Verfahren an.

### Codemultiplex (CDM)

Kennzeichnend für dieses Verfahren ist die Übertragung eines schmalbandigen Funksignals in einem breiten Frequenzspektrum, wobei das schmalbandige Signal durch eine geeignete Codiervorschrift auf ein breitbandiges Signal abgebildet wird (sog. *Codespreizung*). Jedem Nutzer des Funkkommunikationssystems wird jeweils eine geeignete Codiervorschrift zugewiesen, durch die das zu übertragende Signalspektrum auf ein Vielfaches seiner Originalbandbreite gespreizt wird. Die so erhaltenen Signale werden dann von den Sendern zeitgleich im gleichen Frequenzband übertragen.

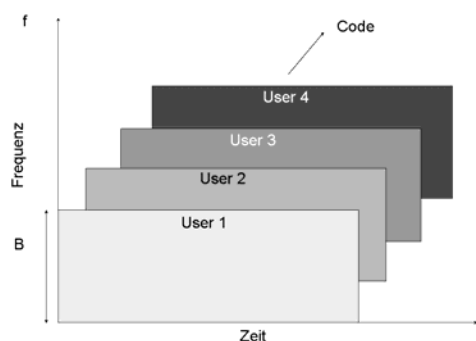


Abbildung 7.14: Codemultiplexverfahren CDM

Die von den Sendern verwendeten Codiervorschriften müssen so gewählt werden, dass die Interferenzen bei den Empfängern trotz zeitgleicher Übertragung minimal bleiben. Die Anwendung eines orthogonalen *Pseudo Noise* (PN) Code zur Trägermodulation der zu übertragenden Informationen erfüllt diese Bedingung. Der Empfänger, der die Codiervorschrift des Senders kennen muss, sucht das breitbandige Signal nach dem Bitmuster der PN-Sequenz des Senders ab. Durch Bildung der Autokorrelationsfunktion (AKF) kann sich der Empfänger auf den Codekanal des Senders synchronisieren und das Signal auf seine Originalbandbreite reduzieren. Die jeweiligen Signale der anderen Sender, deren Codes mit der ausgewählten PN-Folge nicht übereinstimmen, werden nicht auf die Originalbreite zurück transformiert und tragen somit nur zum Rauschpegel des empfangenen Signals bei.

Bei einer bestimmten Anzahl von Codekanälen auf dem selben Frequenzkanal kann das Signal-zu-Rausch Verhältnis (*Signal to Noise Ratio*, SNR) den zum Empfang mit dem Korrelator erforderlichen Wert unterschreiten. Somit ist auch beim CDM-Verfahren die Anzahl der Teilnehmer begrenzt, die denselben Kanal benutzen können. Zur Realisierung der spektralen Spreizung eines Signals werden in der Praxis i.w. zwei Verfahren angewandt: *Direct Sequence* (DS) und *Frequency Hopping* (FH).

Ein Vorteil des CDM-Verfahrens ist, dass durch die Codierung die Teilnehmerdaten vertraulich bleiben und deshalb ein kryptographisches Verfahren zum Schutz der übertragenen Daten u.U. entfallen kann. Systeme in denen CDM angewandt wird (z.B. IS-95, UMTS Phase 2), sind störsicherer als FDM- und TDM-Systeme. Dies gilt sowohl für atmosphärische als auch für gezielte Störung der Kommunikation.

Ein Störsender verfügt in der Regel über keine ausreichende Sendeleistung, um das gesamte Frequenzspektrum zu überdecken und nicht die notwendigen Informationen, um eine bestimmte zu störende Verbindung detektieren zu können. Ein weiterer Vorteil gegenüber dem TDM-Verfahren ist, dass in CDM-Systemen keine Zeitsynchronisation der verschiedenen Sender erforderlich ist. Sie sind aufgrund des Codes selbstsynchronisierend.

### ***Direct Sequence***

Das *Direct-Sequence*-Verfahren ist eine Spreiztechnik, bei der die zu übertragenden binären Signale mit dem binären Ausgangssignal eines Pseudo-Noise-Generators modulo zwei addiert und anschließend z.B. zur Phasenmodulation des Trägersignals verwendet werden. Das Verknüpfen der Datenbits mit der Pseudozufallsbitfolge (*Chip Sequence*) transformiert das schmalbandige Informationssignal auf die große Bandbreite des PN-Signals und erzeugt so einen sog. Codekanal. Durch die Spreizung mit verschiedenen, orthogonalen Chipsequenzen entstehen orthogonale Codekanäle, deren Summensignal Null ist. In der praktischen Realisierung wird die Orthogonalität nur näherungsweise erreicht, weil die Chipsequenzen vom gleichen Pseudo-Noise-Generator durch Vergabe verschiedener Startwerte abgeleitet werden.

### ***Frequency Hopping***

Beim Frequenzsprungverfahren (*Frequency Hopping*) wechseln Sender und Empfänger in schneller Folge synchron die Übertragungsfrequenz. Dabei wird das bereits modulierte Informationssignal zu dem Signal eines Codegenerators, der einen Frequenzsynthesizer steuert, modulo zwei addiert, wodurch sich eine Ausweitung der originalen Bandbreite auf ein Vielfaches ergibt. Der Frequenzsprung erfolgt entweder schnell (viele *hops* je Informationsbit) oder langsam (ein *hop* für viele Informationsbits).

Im verfügbaren Frequenzbereich können mehrere Übertragungen gleichzeitig stattfinden, wobei Kollision auftreten können, falls zwei oder mehr Sender zufällig gleichzeitig die gleiche Frequenz benutzen. Solche Kollision, die beim Empfänger den Störabstand evtl. unzulässig verkleinern, können bei Anwendung von orthogonalen Codes vermieden werden.

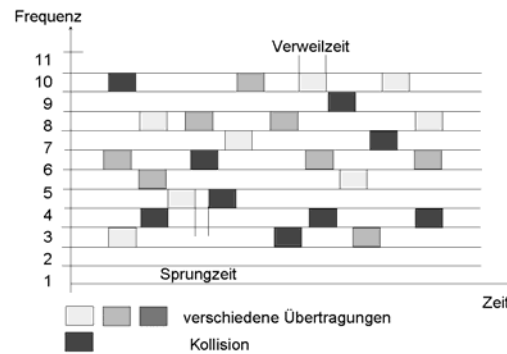


Abbildung 7.15: Frequency Hopping (Spreiztechnik)

### Raummultiplex (SDM)

Bei Raummultiplex werden die zur Übertragung verwendeten Frequenzen in geeigneten geometrischen Abständen erneut verwendet. Man erreicht somit, dass trotz des begrenzten Frequenzspektrums theoretisch in einer unendlich ausgedehnten Fläche unendlich viel Verkehr getragen werden kann. Verfahren dadurch ermöglicht, dass die Feldstärke des Funksignals mit wachsendem Abstand vom Sender abnimmt. Raummultiplexverfahren nutzt die *Ausbreitungsdämpfung* elektromagnetischer Wellen.

Bei einem genügend großen Abstand vom Sender ist das Signal so abgeschwächt, dass die Störungen durch Interferenz bei Wiederverwendung dieser Frequenz durch einen anderen Sender toleriert werden können (Clusterprinzip). Raummultiplex liefert den Grundgedanken der Clusterbildung, mit dessen Hilfe zelluläre Systeme eine nur durch Kostenüberlegung eingeschränkte, sonst praktisch unbegrenzte Verkehrskapazität verfügbar machen. Sektorisierung des Versorgungsbereiches einer Basisstation ist eine weitere zugehörige Maßnahme. Neuerdings wird diskutiert, durch Phased-Array Antennen elektronisch schwenkbare, stark fokussierende Diagramme einzusetzen, wobei von derselben Basisstation verschiedene Antennenkeulen (*Spot Beam*), die in unterschiedliche Richtungen geschwenkt werden, gleichzeitig denselben Frequenzkanal nutzen können. Dann läge Raummultiplex in derselben Zelle vor und die Kapazität könnte drastisch gesteigert werden. Spot Beam Antennen reduzieren die Einfallswinkel beim Empfänger für Signalumwege und reduzieren deshalb die Signalinterferenz, d.h. die Dispersion, und erlauben vereinfachte (leistungsarme) Entzerrer.

### Hybride Verfahren

Um eine möglichst gute Ausnutzung des Frequenzspektrums zu erreichen, werden in der Praxis meistens hybride Multiplexverfahren angewandt. Dabei werden in einem System eine Kombination von zwei oder mehreren Multiplexverfahren verwendet. Durch Kombination erreicht man, unter Ausnutzung der jeweiligen Vorteile des einzelnen Multiplexverfahrens, einen sehr ökonomischen Einsatz der Funkkanäle.

Anwendungen:

- In den öffentlichen Mobilfunknetzen (MFN 2G, wie GSM, USDC oder PDC) wird z.B. neben dem zellularen Aufbau (Raummultiplex) sowohl Frequenzmultiplex als auch Zeitmultiplex angewandt.
- In DECT-System wird eine Kombination der Verfahren FDM und TDM eingesetzt.
- Mobilfunknetze 3G verwenden neben Raummultiplex (zellulärer Aufbau) das Codemultiplex in Kombination mit Frequenz- bzw. Zeitmultiplex.

### Kanalzuteilung mit CDMA-Technik im zellularen Mobilfunk

CDMA wird seit Anfang der 80er Jahre für Experimente zur drahtlosen Kommunikation in Gebäuden und außerhalb sowie über Satelliten benutzt. Anfang 1991 entstand besonderes Interesse wegen der Ankündigung eines zellularen CDMA-Systems durch *QUALCOMM* USA (San Diego) mit dem Anspruch besonders großer spektraler Effizienz des Verfahrens für

Zellularfunk. Inzwischen liegt ein Telecommunications Industry Association (TIA) *Interim Standard 95 (IS-95)* vor.

Charakteristika:

- ein Frequenzband für alle Codekanäle,
- viele gleichzeitige digitale Signale im selben Band,
- Verwendung (nahezu) orthogonaler Signalsequenzen,
- jede Signalfolge eines Kanals kann im Empfänger, bei Kenntnis der benutzten Codesequenz detektiert und decodiert werden,
- interferenzlimitiertes System: die Zahl gleichzeitiger Sender ist aufgrund ihrer gegenseitigen Störung beim Empfänger begrenzt.

CDMA in Zellularsystemen

Alle Frequenzbänder sind in jeder Zelle nutzbar, im Nachbarschaftsbereich zweier Zellen ist es wegen des resultierenden Störabstandes  $C/I$  üblich, gleichzeitig zwei Kanäle (je einen pro BS) zu betreiben. Die Leistungsregelung muss schnell sein: 1 kbit/s-Kanal nötig bei IS-95: jedes übertragene 1-bit bedeutet 1 Leistungsstufe mehr, jedes 0-bit bedeutet 1 Leistungsstufe weniger. Es gibt sehr viele Stufen.

Es gelingt damit, den *schnellen* Mehrwegeschwund auszuregeln. Sprachübertragung mit variabler Bitrate: 1 kbit/s bis ca. 13 kbit/s, je nach Sprachaktivität und gewähltem Sprachcodec, mit zunehmender Verkehrsbelastung sinkt systembedingt die Dienstgüte, z.B. die Sprachqualität (*Graceful Degradation*).

### 7.3.2 Kanalvergabestrategien

#### Kanalvergabestrategien

Strategien zur Kanalvergabe sind für die Leistungsfähigkeit eines Mobilfunknetzes von großer Bedeutung. Dabei sind die vorhandenen Frequenzressourcen so einzusetzen, dass eine maximale Kapazität des Systems bei geforderter Dienstgüte erreicht wird. Die Strategien unterscheiden sich durch die bei der Vergabe von Kanälen gewählten Bewertungskriterien. Aufgrund unterschiedlicher Funknetzarchitekturen und daraus resultierender Eigenschaften werden in den bestehenden Systemen verschiedene Kanalvergabestrategien eingesetzt. Beispielsweise wird im GSM-System eine statische Kanalvergabe (FCA), im DECT-System eine dynamische Kanalvergabe (DCA) angewandt.

#### Klassifizierung der Kanalvergabeverfahren

Kanalvergabeverfahren für zellulare Netze können in vier Kategorien eingeteilt werden.

- Feste (statische) Kanalvergabe (*Fixed Channel Allocation, FCA*),
- Feste Kanalvergabe mit Verleihen von Kanälen an Nachbarzellen (*Borrowing Channel Allocation, BCA*),
- Hybride Kanalvergabe (*Hybrid Channel Allocation, HCA*),
- Dynamische Kanalvergabe (*Dynamic Channel Allocation, DCA*).

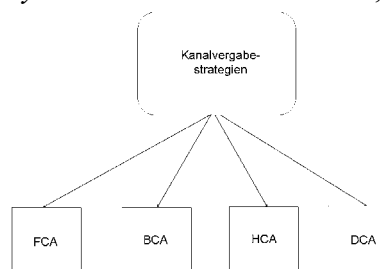


Abbildung 7.16: Unterteilung der Kanalvergabeverfahren

Während bei FCA-Verfahren (statisch) nur Frequenzkanäle mit ihren zugehörigen Zeitkanälen gemeinsam an Funkzellen vergeben werden, können bei DCA-Verfahren (dyna-

misch) die Zeitkanäle einzeln vergeben werden, unabhängig von der jeweiligen Trägerfrequenz.

Man unterscheidet zwei Ansätze für die Vergabe von Frequenzkanälen. Der erste basiert auf dem geforderten Gleichkanalabstand, dem minimalen erlaubten Abstand für die Wiederverwendung eines Kanals in einer zellularen Struktur. Der zweite Ansatz basiert auf der Bewertung von Signalqualität und Signalpegel. Die Signalqualität entspricht der Bitfehlerhäufigkeit der Verbindung. Die minimal erforderliche Nutzsignalleistung hängt vom verwendeten Empfänger ab. Die maximal zulässige Bitfehlerhäufigkeit hängt vom verwendeten Modulationsverfahren ab. Kanalvergabe-strategien, die unter diesen Gesichtspunkten ihre Frequenzkanäle vergeben, benötigen keine Annahmen über das zu erwartende Verkehrsaufkommen.

### 7.3.3 Aspekte der Fehlersicherung

#### Verkehrsaufkommen

Normalerweise schwankt die örtliche Belastung eines Kommunikationsnetzes im Verlaufe eines Tages. Durch die Analyse der Belastung und Adaption der Kanalvergabe-Verfahren an das Verkehrsaufkommen kann die Leistungsfähigkeit der BCA/HCA-Verfahren weiter erhöht werden, indem das Verhältnis der statischen zu den dynamischen Kanälen ständig dem Verkehr optimal angepasst wird.

#### Besonderheiten der Fehlersicherung bei Funkkanälen

Die Kanalcodierung dient der Sicherung der gesendeten Daten gegen fehlerhafte Übertragung. Aufgrund der charakteristischen Pegelabfälle (*Fading*) beim Mobilfunk schwankt die Abschattung sehr stark in Abhängigkeit von der Entfernung, Geschwindigkeit und Abschattung der miteinander kommunizierenden Stationen.

#### Fehlererkennung

Durch Fehlererkennung kann man feststellen, ob ein empfangenes Datenwort ein gültiges Codewort ist. Als falsche erkannte Datenwörter können jedoch nicht korrigiert werden. Im GSM werden für die Fehlererkennung Prüfsummen zyklischer Codes eingesetzt. (CRC = *Cyclic Redundancy Check*). Es handelt sich dabei meist um BCH-Codes (BCH = *Bose-Chaudhuri-Hocquenhem-Codes*). Die Restfehlerwahrscheinlichkeit hängt demnach nur von der Anzahl der Prüfbits ab. Es ist also gleichgültig, ob ein Datenwort mit 50 bit oder eines mit 3000 bit durch eine 24 bit lange CRC-Sequenz gesichert wird, die Restfehler-Wkt. ist in beiden Fällen gleich groß. Für den vorgestellten (240,216)-BCH-Code, der im Protokoll RLP verwendet wird, beträgt die Restfehler-Wkt. näherungsweise  $P_e = 2^{-(240-216)} = 2^{-24} \sim 5,96 \cdot 10^{-8}$ . Eine Restfehler-Wkt. in dieser Größenordnung ist für die meisten Anwendungen mobiler Datenübertragung ausreichend.

#### Fehlerkorrektur

Bei fehlerkorrigierender Codierung spricht man auch von Vorwärtsfehlerkorrektur (*Forward Error Correction*, FEC). Dabei fügt der Sender einem Datenwort soviel Redundanz hinzu, dass der Empfänger eine bestimmte Anzahl von Fehlern korrigieren kann. Im Unterschied zum ARQ-Verfahren wird kein Rückkanal vom Empfänger zum Sender benötigt. Man unterscheidet zwei Codefamilien, die sich zur Vorwärtsfehlerkorrektur eignen: lineare Blockcodes und Faltungscodes.

Lineare Blockcodes sind *systematische Codes*, d.h. es werden eine bestimmte Anzahl von redundanten Bits aus dem zu codierenden Datenwort berechnet und mit übertragen. Das codierte Datenwort lässt sich daher in einen redundanten und in einen nicht-redundanten Anteil aufteilen. Die Faltungscodes sind hingegen *nicht-systematische Codes*.

## 8 Mobilfunknetze 2G (Mobiltelefonie, GSM, GPRS u.a.)

### 8.1 GSM - Global System for Mobile Communications

#### 8.1.1 Überblick: Empfehlungen, Aufbau und Komponenten

##### GSM-System: MoU und Start

Entscheidung 1987 für einen Prototyp auf Basis des CEPT-Beschlusses (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications) für ein digitales zelluläres Funksystem im Frequenzband bei 900 MHz.

7. September 1987: 13 europäische Staaten unterzeichnen MoU (Memorandum of Understanding on the Introduction of the Pan-European Digital Mobile Communication Service): Erklärung zur Einführung digitaler Mobilfunk nach GSM-Standard.

März 1989: Übernahme der GSM-Arbeitsgruppe durch die ETSI als Special Mobile Group (SMG). Kürzel GSM steht heute wegen des weltweiten Standards für *Global System for Mobile Communications*.

Inzwischen haben alle europäischen Staaten sowie viele Staaten weltweit den GSM-MoU-Vertrag unterzeichnet und werden ein GSM-System aufbauen. Start GSM: 1. Juli 1991

Standard: GSM-Empfehlung: 13 Serien mit detaillierten Spezifikationen für die Funkschnittstelle, angelehnt an analogen nationalen Zellularstandard und an ITU-TS X.25 sowie angepasst an ISDN, IP, jedoch spezifisch für das GSM-System.

##### Wesentliche GSM-Merkmale

###### Frequenzband:

Frequenzbereich 935 - 960 MHz: Festnetz-Sendefrequenz (Downlink),

Frequenzbereich 890 - 915 MHz: Festnetz-Empfangsfrequenz (Uplink).

Frequenzen der FDM-Funkkanäle mit Abstand von 200 kHz ~> insges. 124 FDM-Kanäle.

Pro FDM-Kanal im Zeitmultiplex (TDM) jeweils 8 Nutzkanäle (Zeitschlitze) unterstützt.

###### Gesprächsweiterleitung (Handover):

Durch Gesprächsweiterleitung zwischen Feststationen wird die Aufrechterhaltung der Verbindungsqualität für Teilnehmerverbindungen, die Minimierung von Störungen und die Lenkung der Verkehrsverteilung ermöglicht. Zusätzlich sind bei fehlgeschlagenen Handovers Prozeduren zur Wiederherstellung der Verbindung definiert.

##### Standardisierung

ETSI: European Telecommunications Standards Institute ~> Standards für zelluläre Mobilfunksysteme, u.a.

GSM: Global System for Mobile Communications 900 MHz ~> GSM-Netze: D1, D2

DCS-1800: Digital Cellular System 1800 MHz ~> DCS-Netze: E1, E2

Trend zu 1.8 GHz -> kleinere Funkzellen, bessere Mehrfachverwendung der Frequenzen.

###### Netzübergänge (Interworking Function, IWF):

PSTN, ISDN, Breitbandnetze, andere Mobilfunknetze, IP-Netze, Lokale Netze nach IEEE 802.11 und ETSI HIPERLAN, Satellitennetze.

Erweiterungen: Datenpaketfunk GPRS (General Packet Radio Service), EDGE ~> MFN 2.5G  
Zusätzliche Protokolle: WAP, HDML, WML (Card, Deck).

##### Zelluläre Mobilkommunikation

Zentrales zu lösendes technisches Problem: Mangel an Funk-Frequenzen in den für Mobilfunk vorgesehenen Frequenzbändern des elektronischen Spektrums.

Grundsätzliche Lösung: Funkzellenprinzip (*Raummultiplexing*): Unterteilung des abzudeckenden Funkgebietes in einzelne Funkzellen mit einem festen Vorrat an Frequenzen (Frequenzgruppen). Für einen ankommenden oder abgehenden Teilnehmerruf wird eine dieser

Frequenzen für die Dauer der Kommunikation zugeteilt. Verteilung der Frequenzgruppen: benachbarte Funkzellen nutzen unterschiedliche Frequenzbereiche, in weiter entfernten Zellen können die Frequenzen einer Gruppe erneut benutzt (Nutzung Dämpfungseffekt).

### Komponenten von Zellularfunknetzen nach ETSI/GSM

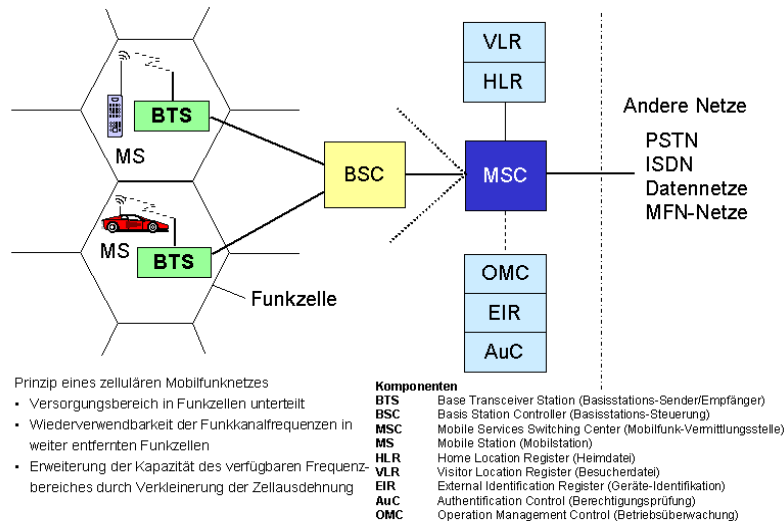


Abbildung 8.1: Aufbau Zellularfunknetz (GSM)

#### *Basisstations-Sender/Empfänger (Base Transceiver Station, BTS):*

- \* Zentrum einer Funkzelle. Über BTS sind die sich in der Funkzelle aufhaltenden Mobilstationen (Mobile Station, MS) über die „Luftschnittstelle“ (air interface) angeschlossen.
- \* Messung der Funkintensität zwischen BTS und Mobilgerät (Maß für die Zuordnung zur Funkzelle, verwendet für Handover-Entscheidung/-Prozedur).

#### *Basisstations-Steuerung (Basis Station Controller, BSC):*

- \* An BSC sind mehrere BTS-Einrichtungen angeschlossen (bilden Basisstationssystem).
- \* Über einen Kanal des Anschlussnetzes sind Mobilteilnehmer an die Mobilfunk-Vermittlungsstelle MSC angeschlossen.

#### *Mobilfunk-Vermittlungsstelle (Mobile Switching Center, MSC)*

- \* Anschluss und Vermittlung zwischen Basisstationssystemen und anderen Netzen (z.B. öffentliche Datennetze, ISDN, andere Mobilnetze).
- \* MSC besitzt für die Teilnehmerverwaltung 2 Datenbankeinrichtungen:
  - **Heimdatei** (Home Location Register, HLR): Daten über die Anschluss- und momentanen Aufenthalts-Koordinaten der bei dieser MSC registrierten Mobilteilnehmer.
  - **Besucherdatei** (Visitor Location Register, VLR)  
Daten der sich momentan im Versorgungsbereich aufhaltenden Mobilteilnehmer.
- \* Bei Anrufen einer Mobilstation läuft zunächst über Signalisierungsnetz eine Anfrage im HLR der Heimat-MSC, um den momentanen Aufenthaltsort des gerufenen Mobil-TN zu erfahren (Roaming). Danach kann die Verbindung über die zugehörige MSC zur BTS des Zielteilnehmers geschaltet werden.
- \* Wechselt eine Mobilstation während einer Verbindung in eine andere Funkzelle, wird der Aufbau der neuen Verbindung (Handover) automatisch eingeleitet, so dass i.w. eine nahtlose Kommunikation aufrecht erhalten werden kann. Über Roaming erfolgt das automatische Erkennen der aktuellen Funkzelle
- \* Über die MSC erfolgt ferner
  - der Zugriff auf Einrichtungen der Geräteidentifikation (EIR)
  - die Berechtigungsprüfung (AuC)
  - die Betriebsüberwachung (OMC)
  - der Zugang zu anderen Netzen (IWF: Interworking Functions).



### 8.1.2 Daten- und Anwendungsdienste im GSM

#### GSM-Dienste im Überblick (MFN 2G, ETSI)

- GSM-Telefonie: leitungs (kanal-) vermittelter Dienst (9,6 kbit/s). Ergänzung durch
  - Kurznachrichtendienst (SMS: Short Message Service),
  - Datendienst mit niedriger Übertragungsrate.
- Weiterentwicklung für Datendienste (theoretisch bis 171 kbit/s)
  - im leitungsvermittelten Modus: HSCSD (High Speed Circuit Switched Data),
  - im paketvermittelten Modus: GPRS (General Packet Radio Service).
- Weiterentwicklung zur EDGE-Modulation (Enhanced Data Rates for GSM Evolution):  
Bei günstigen Funkbedingungen und langsamer Eigenbewegung kann komplette GSM-Trägerfrequenz zur Verfügung gestellt werden. Theoretisches Maximum: 345,6 kbit/s.

#### Folgeentwicklungen für MFN 3G

Aus IMT-2000-Vorschlägen gingen 2 Entwicklungen für terrestrische MFN (3G) hervor:

- UMTS: Entwicklung durch die Organisation 3GPP (Kontinuität zu GSM).
- CDMA2000: Entwicklung durch Organisation 3GPP2 (Kontinuität zu IS-95-CDMA).

#### Datenkommunikation

GSM-Netz (D/E) realisiert digitalen mobilen Datenaustausch bei europaweiter Flächendeckung über die Luftschnittstelle und angeschlossene Festnetze (Tel., PVN). Anschluss von Modems und FAX-Geräten des analogen Fernsprechnetzes an ein Mobiltelefon erfordert spezielle Hardware im Netz, bedingt durch den im GSM verwendeten Sprachcodec (nutzt bei der Kompression spezielle Eigenschaften der menschlichen Sprache aus).

Für Datenkommunikation benötigt Mobilfunk-Teilnehmer (z.B. beim Telefax-Dienst) ein spezielles GSM-taugliches Datenendgerät oder einen Terminaladapter, an den für das analoge Fernsprechnetzkonstruierte Geräte angeschlossen werden können. Adapter korrespondieren mit entsprechenden Partnergeräten am Übergangsknoten zum Festnetz (im Mobile Switching Center) und setzen dort Umsetzfunktionen (interworking functions) voraus --> ermöglichen die Kompatibilität zu Endgeräten an Datennetzen, ISDN und über Modem an analoges Fernsprechnetzkonstruierten Telefax-Geräten.

Seit 2. Ausbaustufe auch Übergänge der GSM-Netze zu paketvermittelten Datennetzen mit Schnittstelle nach Standard X.25 und Internet sowie zu ISDN.

#### Weitere Entwicklungen

- Protokolle zum mobilen Anschluss an WWW (Surfen im Internet): WAP: Wireless Application Protocol (Start 1999). Entwicklung WAP-fähiger Handys (i.w. textliche Darstellung, aber auch eingeschränkte MM-Darstellungen).
- Datenstrukturen zum Aufbau von Mobilfunkanwendungen:
  - WML: Wireless Markup Language (Berücksichtigung der Übertragung und des Energieverbrauchs: Deck, Cards).
  - HDML: Handheld Device Markup Language.
- Entwicklung Paketfunk (Paketvermittlung, Erweiterung GSM): GPRS General Packet Radio Services 40 - 115 - 171,2<sub>max</sub> kbit/s (2.5G MFN, DE ab 2000). GPRS-fähige Handys.

#### Verbesserte Datendienste im GSM

##### HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)

Verbesserung Datenübertragung im leitungsvermittelten Dienst in GSM Phase 2 gegenüber Basisdienst (9,6 kbit/s). GSM: jeder Frequenzkanal in 8 Zeitschlitze unterteilt. Infolge spezieller Kanalkodierung je max. 14,4 kbit/s. Klassische Telefonie: jedes Endgerät nutzt nur einen der Kanäle. HSCSD erlaubt Bündelung von bis zu 8 Kanälen, somit theoretische Übertragungskapazität von  $8 * 14,4 \text{ kbit/s} = 115,2 \text{ kbit/s}$ .

Außerdem: bei DÜ im nicht-transparenten Modus kann Anzahl der verwendeten Kanäle verändert werden ~> wichtig für Handover-Prozess. Aber: Vorgang der Veränderung der Kanal-

anzahl durch Verwendung des traditionellen Zuteilungs- und Abschaltungsmechanismus sehr träge und langsam. Somit für viele Internet-Anwendungen mit zwar niedrigen Datenraten aber hohen Spitzengeschwindigkeiten nicht geeignet.

*GPRS (General Packet Radio Service)*

Nutzung HSCSD und Paketvermittlungstechnik. Anwendung für Internet-Applikationen. Beseitigung der Unzulänglichkeiten der Zuteilungsmechanismen bei Verbindungen fixer Kapazität (wie bei HSCSD und GSM-Datendiensten).

Grundprinzip: Aufteilung einer bestimmten Zahl von Basiskanälen einer Zelle auf mehrere Benutzer „nach Bedarf“. 8 Time-Slots eines GSM-Frequenzkanals können für einen bestimmten Zeitpunkt einem Benutzer zugewiesen werden. Mittels spezieller Kanalkodierung (CS-4) lassen sich Spitzenraten von  $8 * 21,4 \text{ kbit/s} = 171,2 \text{ kbit/s}$  erreichen.

*EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)*

Verbesserung GSM mittels neuer Modulation und Kanalkodierungsalgorithmen an der Funkschnittstelle. EDGE ermöglicht DÜ-Rate von bis zu  $43,2 \text{ kbit/s}$  pro GSM-Time-Slot (bei 8 Slots  $\leadsto 8 * 43,2 \text{ kbit/s} = 345,6 \text{ kbit/s}$ ). Wegen GSM-Architektur aber keine Echtzeitdienste.

### **GSM-Funkschnittstelle (air interface)**

Zwischen Mobil- und Feststationen werden Daten digital übertragen. Nutzung der *Frequenzbereiche* (in beiden Richtungen) 890-915 MHz bzw. 935-960 MHz.

Jede Frequenz durch 4,615 ms lange periodische Zeitmultiplex-Rahmen in 8 Zeitschlitze mit je 114 bit Nutzdaten unterteilt. Jeder periodischer Zeitschlitz bildet einen physikalischen Kanal (sog. Verkehrskanal), der dem Teilnehmer als Vollratenkanal  $22,8 \text{ kbit/s}$  bzw. als Halbratenkanal  $11,4 \text{ kbit/s}$  zur Verfügung steht.

Falls Teilnehmer auf seinem Kanal zeitweise keine Daten überträgt, kann der Kanal anderweitig genutzt werden. Teilnehmer wird gesamte Dauer der Verbindung in Rechnung gestellt (Kanalvermittlung).

### **Fehlerkorrekturverfahren**

Empfangsfeldstärke schwankt bewegungsabhängig ca. 30 dB um den Mittelwert. Dabei sinkt zeitweise die Einhüllende des Empfangssignals ab (fading)  $\rightarrow$  führt zu merklicher Abnahme der Empfangsgüte. Bei digitalen Systemen steigt während dieser Zeit die Bitfehlerrate an. Dopplereffekt, Mehrwegeausbreitung und Abschattungseffekte stellen die dominierenden Störeffekte beim Mobilfunk dar.

Verschiedene *Maßnahmen* zur Vermeidung der Beeinflussung durch solche Störeffekte:

- den Daten wird systematische Redundanz zur Vorwärts-Fehler-Korrektur (FEC) zugesetzt,
- ein Frequenzsprungverfahren (ein Sprung je Zeitschlitz) verringert frequenzabhängige Störeffekte,
- Verwürfelung (interleaving) der Daten vor der Übertragung auf verschiedene Zeitschlitze  $\leadsto$  vermeidet das empfangsseitige Auftreten langer, fadingbedingter Fehlerbüschel,
- für Daten mit hoher Anforderung an die zulässige Restbitfehlerrate wird zusätzlich ein fehlererkennender Code (24bit-CRC) eingesetzt, so dass bei Erkennung fehlerhafter Blöcke eine Wiederholung veranlasst werden kann (ARQ: Automatic Repeat reQuest).

Unterschreitet während mehrerer Sekunden die Empfangsqualität eine bestimmte Schranke, wird ein Handover zum Kanalwechsel in derselben Zelle oder zwischen Zellen eingeleitet.

### **Trägerdienste zur Datenübertragung im GSM**

2 unterschiedliche Trägerdienste für Datenübertragung in GSM zur Übermittlung von Signalen zwischen Netzzugangspunkten: transparenter und nicht-transparenter Trägerdienst

#### *1. Transparenter Trägerdienst*

Überträgt Daten mit konstantem Durchsatz und konstanter Verzögerungsdauer. Basiert auf Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) und verzichtet auf ARQ-Verfahren. Qualität der Verbindung

ist von der schwankenden Güte des Funkkanals abhängig. Durch Anwendung unterschiedlich leistungsfähiger Fehlerkorrekturverfahren ergeben sich für den Teilnehmer als mögliche Datenraten: beim Vollratenkanal: 9.6 | 4.8 | 2.4 kbit/s beim Halbratenkanal: 4.8 | 2.4 kbit/s. Zur Vorwärtsfehlerkorrektur werden verschiedene Faltungscoder (1/2, 1/3 und 1/6) eingesetzt und durch Interleaving der Tiefe 19 bzw. 8 unterstützt.

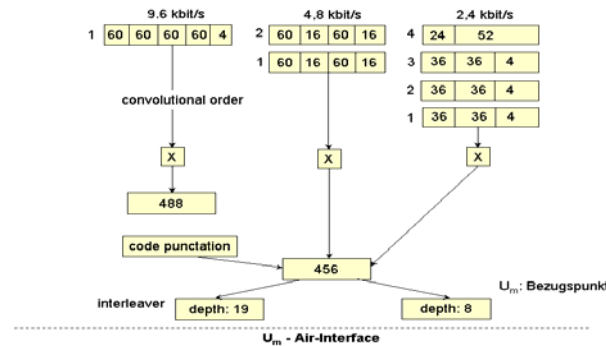


Abbildung 8.2: GSM-Trägerdienste (Faltungscoder)

## 2. Nichttransparenter Trägerdienst

Basiert auf dem transparenten Trägerdienst und verwendet zusätzlich das Radio Link Protocol (RLP): abgeleitet vom HDLC-Protocol (High level Data Link Control), auf Fehlererkennung basierendes ARQ-Protokoll (Automatic Repeat reQuest).

Anwendung des asynchronen gleichberechtigten Betriebsmodus (ABM). Neben Zurückweisung (reject) und Wiederholung ab einer bestimmten Blocknummer ist auch wiederholte Anforderung einzelner Blöcke (selective reject) zulässig. Steuerkommandos werden auch im Informationsblock übertragen (abweichend zu HDLC) Die maximale Fenstergröße ist mit 62 an die Interleaver Verzögerung angepasst. Hybrides ARQ-Protokoll führt zu sehr geringer Restbitfehler-Wahrscheinlichkeit ( $<10^{-9}$ ). Jedoch schwanken hier Durchsatz und Verzögerungsdauer der Übertragung funkfeldabhängig. Das benutzte Fehlerkorrekturverfahren entspricht dem für 9.6 kbit/s Datenrate; der Anschluss von Geräten niedriger Bitrate ist möglich.

## Übertragung von Kurznachrichten (SMS) im GSM-System

Neben den Trägerdiensten Unterstützung eines Punkt-zu-Punkt-Kurznachrichtendienstes:

**SMS (Short Message Service):** Erlaubt Empfang und Versenden von Kurznachrichten mit bis zu 160 Byte Länge über den Signalisierungskanal des Zellularnetzes. Kurznachrichten können verzögert (wenige Sekunden) übertragen werden somit auch bessere Ausnutzung der Signalisierungskanäle. Längere Mitteilungen in Kurznachrichten von 160 Byte zerlegt, aber keine Reihenfolgetreue bei Ankunft gesichert. Hohe Nutzerakzeptanz.

**MMS (Multimedia Message Service):** Erweiterung zur Übertragung von Bildern. Bilder mit Kamera im Handy aufgenommen (Pixel-Darstellung, Format jpeg). Direktausgabe über MMS-fähiges Handy oder indirekt über Internet (Mitteilung einer Web-Adresse).

## Trends

Ausstattung für mobile multimediale Anwendungen

- Vielzahl neuer Dienste mit grafischen Darstellungen.
- Farbiges Display, Touchscreen, Stifteingabe, Zusatztastaturen für Handys (für Texteingaben bei SMS und WAP), tragbare Headset-PC's, Wearables, TV-Handys

Neue Standards für Mobilkommunikationsanwendungen (Internet-Inhalte)

- WML / WAP: Wireless Markup Language / Wireless Application Protocol
- HDML: Handheld Device Markup Language

Mobiler Zugang zum Internet / WWW

- Surfen im Festnetz-Internet, Zugriff vom Handy aus; i.w. Textausgabe (wenig Grafik).

- Handy-Nutzung über WAP: WAP-Protokollstack, Einsatz Kanalbündelungstechnik HSCSD: (43 ... 115,2 kbit/s) und Paketvermittlung (...171,2 kbit/s).
- Funktionstüchtige Internet-Portale (z.B. i-mode) für mobilen Webzugang.
- Zugang auch über Mobile IP (abgesetzte mobile Verarbeitung, z.B. mobile WfMS).

Einsatz Paketfunktechnik GPRS

- Datenraten 40 ... 115 ... 171,2<sub>max</sub> kbit/s ~> Telekom ab 2.HJ 2000 (53,6 kbit/s).
- Einsatz DSP (Digital Signal Processor), hochrasige Kanalbündelungstechnik HSCSD
- Paketvermittlungsprinzip (MFN 2.5 G)

Weiterentwicklung GSM (MFN 2G) zu EDGE (MFN 2.5G, Enhanced Data Rates for GSM Evolution), 345,6 kbit/s, Nutzung GSM/GPRS-Infrastruktur. Angebot T-Mobile. EDGE bei ITU neben UMTS als eine Version für MFN 3G eingereicht und bestätigt.

Aufbau UMTS (MFN 3G), Telefonie-/Datendienste, Betrieb in DE ab ca. 2004. Standard: 384 kbit/s. Erweiterung durch Datenpaketfunk HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) mit 1.8 Mbit/s (2006), später 3.6 bzw. 7.2 Mbit/s.

Ab 2005 neue Multimedia-Dienste (Handy + PDA), z.B. Blackberry, Push-to-Talk. Email über Handy. Voraussetzung Email-fähiges Handy. Emails auf Handy transportiert ~> Push-Dienste, wie Blackberry (RIM) oder Sidekick (Fa. Danger, USA).

Mobiles Büro, Triband-Technologie (GPRS, UMTS, W-LAN).

Handy-TV: Funkstandards für digitales TV über Handy: DVB-H und DMB. Probleme: Angebote, Akkuleistung, Gebühren.

Navigation: Satellitennavigation (GPS), portable Navigationsgeräte. In Kompletgeräten, Minicomputern PDA (wie Falk, Garmin, Tomtom, ...) oder Handys.

Mobile Broadband System: Breitband-MFN, Echtzeit, Übertragung hochauflösender Videos

- W-ATM (-> IP nG), Wimax
- LTE (Long Term Evolution): UMTS-Nachfolge, 100 Mbit/s, ca. 2010 ~> MFN 4G

### Neue Multimedia-Dienste

Neben Sprachkommunikation, Kurznachrichtendienst (SMS, „simsen“) und mobilen Zugriff zu Web-Diensten läuft Trend für Mobiltelefone in USA und Europa auf Entwicklung und Einsatz neuer Multimedia-Dienste:

- Verbesserung der Email-Nutzung: mit Blackberry die Post abholen,
- Ohne Anruf sprechen können: mit Push-to-Talk immer am Draht sein,
- Mit Laptops Digital-TV empfangen,
- Mit Handy fernsehen und navigieren: Handy-TV, mobile Navigation.

Dazu ab 2005 neue Handys mit großen Displays, hinzu DVD-Abspieldienste.

*Blackberry („Brombeere“)*

Kanadische Firma RIM (*Research In Motion*): Handy mit Funktion Telefon, Email, Organizer. Ender der 90er erstes Gerät mit Email-Push-Technologie.

*Push-Prinzip*: Emails automatisch an Handy weitergereicht,

*Pull-Prinzip*: Nutzer muss Postfach auf neue Emails überprüfen.

Mehr als 10 unterstützte Email-Protokolle, u.a. POP3, IMAP4, AOL, MSN, Lotus iNotes.

Übertragungsvolumen 2 MB (Tarif „Blackberry L“). Nachrichten extrem komprimiert; dadurch auch Anhänge mit Word, Excel, PowerPoint oder PDF übertragbar.

Seit 2005 Gerät Blackberry 7100 verfügbar, mit sog. QWERTZ-Tastatur: Tasten wie bei PC-Tastatur angeordnet. Außerdem jede Taste wie beim normalen Handy mit 2 Buchstaben belegt ~> dafür neues Texterkennungssystem „Sure-Type-Verfahren“.

Seit 2008 Plug-In Funambol Blackberry: Synchronisation (SyncML) und Push von Emails.

*Push-to-Talk*

Sprechen ohne Anruf („somit immer am Draht sein“). Sony Ericsson Z500I: wie bei einem Walkie-Talkie können Mitteilungen netzweit in wenigen Sekunden an einen oder mehrere

Teilnehmer gesendet werden, ohne eine Extraverbindung aufzubauen. Aktivierung der Funktion durch Knopf am Handy, auch wenn Handy geschlossen. Integrierte Kamera.

#### *Digital TV mit Laptop*

In vielen Regionen Deutschlands ist digitale TV-Ausstrahlung (DBV-T) per Antenne gestartet. Nun auch Notebooks, die digitales TV über einen speziellen Mini-Receiver empfangen können. Beispiel: Magic Box DTV USB-Ter (von Twinham): Empfänger für digitales TV: überträgt digitale Fernseh- und Radiosignale, Stromversorgung über Notebook.

### **Mobiles Büro**

Nutzung mobiler Computer während Reise: Zugriff zu Informationen, Post (Emails) an allen Stellen lesen und bearbeiten, Terminabstimmungen, Pressemitteilungen und Nachrichtendienste empfangen, Internet-Zugang, aktuelle Informationen für Besprechungen und Konferenzen, kurzweilige Unterhaltung (z.B. MP3-Player, Spiele, Videos). Technologie:

- Portabler Computer (Laptop, PDA, Handy),
- Online-Verbindung (drahtlos Triband: GPRS, UMTS, W-LAN),
- Handy-Nutzung für TV, Emails (Push-Dienst), Navigation usw.
- Connected / disconnected Mode.

#### *Multimedia Net Card (T-Mobile):*

Einsteckkarte für Laptop mit Windows 2000, XP bzw. Vista, Vienna. Automatisches Einloggen in ein vorhandenes Netz: GPRS, UMTS oder W-LAN (HotSpots).

Unterstützung Triband-Technologie:

- GPRS (General Packet Radio Service): Paketfunkübertragung, max. 53,6 kbit/s.
- *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System): bis 384 kbit/s.*
- W-LAN (Wireless Local Area Network): öffentliches Funknetz, Standard IEEE 802.11, max. 54 Mbit/s; Zugang an speziellen Bereichen, sog. HotSpots (Access Points):  
T-Mobile, T-Com stellen in DE mehr als 3000 HotSpots bereit (in Flughäfen, Hotels, Messen, Kongresszentren, Starbuck-Cafés); weitere in USA und durch andere Netzprovider.

Triband-Technologie unterstützt die automatische Suche nach entsprechenden Netz und Auswahl eines geeigneten Netzes.

Zusätzliche Software auf Laptop: Communication Center. Programm für Emails, Intranet-Informationen und Verbindung zum WWW bzw. Anwendungsprogrammen. Automatischer Ablauf der Authentisierung, Netzanmeldung und Aktivierung der Sicherheitsmechanismen.

Moderne Handys vereinen die Funktionen von Telefon, Organizer, Browser, Kamera und Email-Client. Betriebssystem Windows Mobile™.

#### *web 'n' walk:*

Technologie des Telefonierens, E-Mails, Surfen und Handy-TV (MobileTV).

#### *Tarife*

Unterstützung durch Tarifgestaltung, u.a. Relax XL, Flatrate, z.T. mit exotischen Namen, wie Call & Surf (Flatrate für Telefonie und Internet), T-Home (Fernsehen, Telefonieren, Surfen).

### **8.1.3 Architektur des GSM-Systems**

#### **Funktioneller Aufbau des GSM-Systems**

Teilsysteme des GSM (gemäß GSM-Spezifikation 1.02):

- Funkteilsystem: Radio Subsystem (RSS),
- Vermittlungsteilsystem: Network and Switching Subsystem (NSS),
- Betreiberteilsystem: Operation Subsystem (OSS).

#### **1. Funkteilsystem (Radio Subsystem)**

Komponenten: - Mobile Endgeräte ("Mobilfunkstation/Mobilstation", Mobile Station, MS),  
- Basisstations-Teilsystem (Base Station Subsystem, BSS).

#### **1a. Mobiles Endgerät (Mobile Station)**

### Mobil(funk)station (MS, Mobile Station)

Gesamte physikalische Ausrüstung des PLMN-Teilnehmers; enthält Funkgerät und Benutzerschnittstelle für Zugriff der TN auf PLMN-Dienste.

GSM-Mobilstation besteht aus 2 Teilen:

1. Teil: alle für die Funkschnittstelle spezifischen HW- und SW-Komponenten,
2. Teil (sog. Subscriber Identity Module (SIM)): alle teilnehmerspezifischen Informationen.

**SIM** fest eingebaut oder als Smart-Card (klein (üblich) bzw. in Form einer Kreditkarte), besitzt die Funktion eines Schlüssels. Ohne SIM kann Endgerät nur noch (soweit es das Netz erlaubt) für Notrufe verwendet werden. Mit Hilfe des SIM kann sich Teilnehmer für jede beliebige Mobilstation im Netz identifizieren, und entsprechend kann ein Funkgerät durch das SIM personalisiert werden.

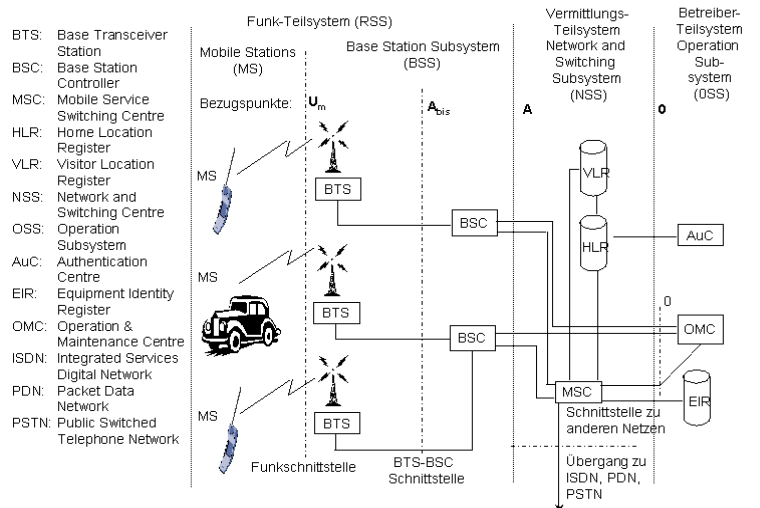


Abbildung 8.3: Funktionelle Architektur eines GSM-MFN

Jede Mobilstation hat ihre Mobilgerätekennungsnummer (Equipment Identity, EI). Für die Verwaltung einer Mobilstation innerhalb des GSM-Netzes sind ihr folgende Nummern bzw. Identitäten zugeordnet:

- International Mobile Station Identity (IMSI),
- Temporary Mobile Station Identity (TMSI),
- Mobile Station International ISDN Number (MSISDN),
- Mobile Station Roaming Number (MSRN).

Mobilstationen können in Fahrzeugen installiert oder als portable / handportable Geräte ausgeführt werden. Gemäß GSM-Richtlinie 2.06 unterteilt nach der zulässigen Sendeleistung in 5 Endgeräte-Klassen.

### Interface

Neben den netzabhängigen Funk- und Protokollfunktionen, die den Betrieb am Netz ermöglichen, hat Mobilfunkstation nach außen hin mindestens eine weitere Schnittstelle (Interface) zum Teilnehmer. Schnittstelle entweder für menschlichen Benutzer (Mensch-Maschine-Schnittstelle) oder für Ankopplung (Adapter-Schnittstelle, Terminal Adaptor) eines weiteren Endgerätes, wie Rechner oder Telefax oder Kombination vorgesehen. GSM-Spezifikationen überlassen Umsetzung und Umfang der Schnittstellentechnik weitgehend dem Hersteller.

Die Benutzerschnittstelle besteht i.allg. aus den Komponenten Mikrophon, Lautsprecher, LCD-Anzeigefeld, alphanumerisches Tastenfeld und sog. Softkeys.

### SIM-Karte

Bei älteren Geräten fest eingebaut, bei neueren als Karte eingelegt, mit zwei Ausführungen:

- Smart Card (auch Standard-SIM-Karte genannt, nach ISO 7816 Standard),

- Plug-in-SIM-Karte (nach GSM-Empfehlung, i.allg. verwendet).  
*Teilnehmerbezogene Daten* werden im nichtflüchtigen Speicher des SIM gehalten. Sie sind statisch, aber auch temporär veränderlich. Zum *unveränderlichen Datenbestand* gehören:
  - SIM-Kartentyp,
  - IC-Kartenidentifikator: Seriennummer des SIM (kennzeichnet Kartenbesitzer),
  - SIM Service Table: Liste der zusätzlich abonnierten Dienste,
  - IMSI International Mobile Subscriber Identity,
  - PIN Personal Identity Number,
  - PUK PIN Unblocking Key,
  - Authentisierungsschlüssel  $K_i$ .

Vor Aushändigung der SIM-Karte wird sie mit diesen Daten initialisiert, erst dann kann sich der Teilnehmer mit ihrer Hilfe ins Netz einbuchen.

Dagegen haben dynamische Daten, die während einer Kommunikationsverbindung permanent aktualisiert werden, den Zweck, Einbuchungsvorgänge schneller abzuwickeln, da entsprechende Informationen bereits dezentral vorliegen und nicht über das Netz abgefragt werden müssen. Zugehörige Datenelemente:

- Aufenthaltsinformationen: bestehend aus TMSI, LAI, ein periodisch veränderlicher Location Updating-Zeitgeber und Aktualisierungsstatus,
- Übertragungsschlüssel  $K_c$  zur Chiffrierung und seine Sequenznummer,
- BCCH-Informationen: Liste der Trägerfrequenzen für Zellenwahl bei Handovern und Verbindungseinrichtungen (Call Setups),
- Liste gesperrter PLMNs,
- HPLMN-Suchphase: Zeitdauer, die die MS bei der Gesprächssuche (Roaming) im Heimatnetz abwartet, bevor sie sich in anderes Netz einzubuchen versucht.

### ***PIN (Personal Identity Number)***

Abgesehen vom Notruf kann mobiles Endgerät nur durch zuvoriges Freischalten der SIM-Karte in Betrieb genommen werden. Dazu muss Teilnehmer nach Einschalten des Gerätes einen PIN-Code eingeben, der zwischen 4 bis 8 Stellen lang sein kann. Bei Aushändigung der SIM-Karte über den Dienstanbieter ist die PIN i.allg. eine vierstellige Nummer, deren Voreinstellung der Teilnehmer beliebig oft verändern darf. Nach korrekter Eingabe der PIN meldet sich das Netz, und das Endgerät bucht sich automatisch ein.

### ***PUK (PIN Unblocking Key)***

Eine gesperrte SIM-Karte kann nur noch durch einen Entsperrschlüssel PUK (PIN Unblocking Key) freigeschaltet werden. Dabei hat der Teilnehmer 10 Versuche, den richtigen PUK-Code einzugeben, bis die Karte permanent gesperrt ist und beim Dienstanbieter entsperrt werden muss. PUK: achtstellige unveränderliche Nummer, die dem Teilnehmer bei Aushändigung der Karte bekannt gegeben wird.

## ***1b. Basisstations-Teilsystem (Base Station Subsystem, BSS)***

### **Base Station Subsystem (BSS)**

BSS umfasst den gesamten funkbezogenen Teil des GSM-Netzes. Funksende- und Empfängergeräten der Basisstationen (BTS: Base Transceiver System) versorgen wegen der begrenzten Sendeleistung nur ein bestimmtes geographisches Gebiet im Netz. Dadurch entstehen Funkzellen (Raummultiplexing), in denen sich der mobile Teilnehmer frei bewegen und kommunizieren kann. Größe der einzelnen Zellen ist von mehreren Parametern abhängig, u.a. Wellenausbreitung, örtliche Morphologie und regional zu erwartende Teilnehmerdichte. Damit BSS einen mobilen Teilnehmer mit einem Teilnehmer im öffentlichen Telefonnetz (PSTN) verbinden kann, verfügt es neben Transceivern über weitere HW/SW-Einrichtungen:

- Signalisierungsprotokolle für die Verbindungssteuerung,

- Sprachcodecs (Codierer/Decodierer) sowie Datenratenadaption (*Transcoder / Rate Adaptor Unit, TRAU*) für den Übergang zum Festnetz,
- digitale Signalverarbeitung zur Codierung von Daten usw.

Zwischen BSS und den GSM-Netzkomponenten und anderen Netzen sind verschiedene *Schnittstellen* festgelegt worden für den Informationsaustausch zwischen Teilnehmern und GSM-Netz bzw. anderen Netzen sowie zwischen BSS und Betreiber- bzw. Vermittlungsteilsystem. Zum mobilen Teilnehmer: sog.  $U_m$ -Schnittstelle. Sie ist gekennzeichnet durch spezifische Parameter der digitalen Funkübertragung, wie GMSK-Modulation, Datenrate, Lage der Trägerfrequenzen im 900-MHz-Band, Kanalraster usw.

Zum Festnetz des GSM-Netzes ist BSS über die A-Schnittstelle mit MSCs verbunden (Vermittlungsstelle des NSS), über die der Teilnehmer das externe Netz erreicht. A-Schnittstelle ist ebenfalls durch spezifische, digitale Übertragungsparameter gekennzeichnet, u.a. PCM (*Puls Code Modulation*), eine Datenrate von 64 kbit/s und eine Bandbreite von 4 kHz.

### **Komponenten des BSS:**

#### ***Funkbasisstation (BTS, Base Transceiver Station)***

BTS umfasst Sende- und Empfangsanlagen einschließlich der Antennen und der gesamten, für die Funkschnittstelle spezifischen Signalverarbeitung. Je nach Antennentyp versorgt sie eine oder mehrere Zellen, so können z.B. sektorisierte Antennen drei in 120° zueinander angeordnete Zellen bedienen. Die TRAU (Transcoder / Rate Adaptor Unit) ist in der standardisierten GSM-Struktur Teil der BTS. Sie verfügt sowohl über GSM-spezifische Sprachcodierung/-decodierung als auch über Ratenanpassung im Fall von Datenübertragungen.

#### ***Basisstationssteuerung (BSC, Base Station Controller)***

BSC ist für die Verwaltung der Funkschnittstelle via BTS verantwortlich, u.a. für Reservierung und Freigabe von Funkkanälen sowie Handover Management. Weitere Aufgaben: Steuerung von Funkrufen (Paging) und Übertragung von der A-Schnittstelle angepassten, verbindungsbezogenen Daten bzw. Signalisierungsdaten von/zur MSC.

## **2. Vermittlungsteilsystem**

### **Network & Switching Subsystem NSS**

Vermittlungstechnische bzw. netzorientierte Funktionen werden im Vermittlungsteilsystem (NSS) durchgeführt. Es bildet ein Übergangsnetz zwischen dem Funknetz und den öffentlichen Partnernetzen, z.B. Telefonnetz (*Public Switched Telephone Network, PSTN*), ISDN (*Integrated Services Digital Network*), Datennetz (*Packet Data Network, PDN*), z.B. Internet. Gesamtheit der Elemente eines NSS sind nicht nur rein physikalische Komponenten. Vermittlungssystem stellt eine Menge von Funktionen zur Verfügung, deren geeignete Realisierung und Implementierung Aufgabe der Hersteller und Netzbetreiber ist. Bestandteile des NSS:

- Mobilvermittlungsstelle (Mobile Services Switching Center, MSC),
- Heimatdatei (Home Location Register, HLR),
- Besucherdatei (Visitor Location Register, VLR).

### **Mobilvermittlungsstelle (MSC: Mobile Switching Center)**

Digitale ISDN-Vermittlungsstelle hoher Leistungsfähigkeit, die normale Vermittlungsaufgaben ausführt und das Netz verwaltet. Jede MSC, der i.allg. mehrere Basisstationssteuerungen (BSC) zugeordnet sind, vermittelt im zugeordneten geographischen Bereich zwischen *Mobilfunkteilnehmern* desselben und anderer PLMN, und bildet auch das Bindeglied zwischen dem Mobilfunknetz und den *drahtgebundenen Netzen* (PSTN, ISDN, PDN). *Aufgaben der MSC:*

- alle Signalisierungsvorgänge, die zum Aufbau, Abbau und Verwalten von Verbindungen benötigt werden und nach dem Signalisierungssystem Nr. 7 abgewickelt werden
- sowie mobilfunkspezifische Funktionen wie z.B. Verbindungsumschaltung bei starken Störungen, Zellwechsel (Handover) oder Zuteilung und Aufhebung von Funkkanälen.



Übertragungsfunktionen für Datendienste werden mit Hilfe spezifischer Funktionseinheiten (Interworking Functions, IWF) realisiert, die in jeder MSC integriert sind.

### Heimatdatei (Home Location Register, HLR)

In Heimatdatei (Datenbank) sind alle für jeden Mobilfunkteilnehmer signifikanten Informationen (quasi permanente, statische Daten) gespeichert, wie z.B. Rufnummer, MS-Identitätsnummer, Geräteart, abonnierte Basis- und Zusatzdienste, Zugangsprioritäten, Authentisierungsschlüssel. Darüber hinaus werden auch temporäre (dynamische) Teilnehmerdaten gespeichert, z.B. momentaner Aufenthaltsort der Mobilstation (Location Area, LA) und Mobile Station Roaming Number (MSRN), die für einen Verbindungsaufbau notwendig sind. Verläßt der Teilnehmer seinen momentanen Aufenthaltsbereich (LA), erfolgt im HLR eine sofortige Aktualisierung der temporär gehaltenen Daten.

I.allg. ist die Heimatdatei bei einer Mobilvermittlungsstelle (MSC) angeordnet. Jeder mobile Teilnehmer und seine Daten sind in genau einer Heimatdatei registriert, in der auch Gebührenerfassung und Verwaltungsaufgaben durchgeführt werden.

### Besucherdatei (Visitor Location Register, VLR)

Besucherdatei (Datenbank) ist einer MSC zugeordnet und dient zur Verwaltung der Teilnehmer, die sich im Zuständigkeitsbereich dieser MSC aufhalten, falls TN aus heimatzone in Visitorzone gewandert ist. Sie speichert vom zuständigen HLR übertragene Informationen (u.a. Authentisierungsdaten, International Mobile Station Identity (IMSI), Rufnummer, vereinbarte Dienste) über die in ihren Zuständigkeitsbereich eintretenden Mobilteilnehmer und ermöglicht dadurch der MSC den Verbindungsaufbau.

VLR steuert u.a. die Zuordnung der Roamingnummer der Mobilfunkstationen (MSRN) sowie der TMSI. Durchquert ein Mobilteilnehmer mehrere Aufenthaltsbereiche der MSC, wird auch das VLR durch speziellen Dialog aktualisiert. Entsprechendes gilt beim Wechsel des MSC-Zuständigkeitsbereiches. Durch das VLR wird eine häufige Abfrage des HLR vermieden.

HLR und VLR dienen der TN-Verwaltung und sind auch bei den Funktionen Aktualisierung des Aufenthaltsbereiches (Location Update) und Verbindungsaufbau beteiligt.

### 3. *Betreiberteilsystem (Operation Subsystem, OSS)*

Betreiberteilsystem des GSM umfasst alle für Betrieb und Wartung wichtigen Funktionen. Teilnehmer bemerkt die Funktionen nur indirekt, indem er ein ständig funktionsfähiges Mobilfunknetz antrifft. Funktionen des OSS sind drei Aufgabengebieten zugeordnet:

- Teilnehmerverwaltung (Subscription Management),
- Netzbetrieb und Wartung (Network Operation and Maintenance),
- Mobilendgeräteverwaltung (Mobile Equipment Management).

Netzelemente des OSS:

- Betriebs- und Wartungszentrum (Operation & Maintenance Centre, OMC),
- Authentisierungsregister (Authentication Centre, AuC),
- Geräteidentifikationsregister (Equipment Identity Register, EIR).

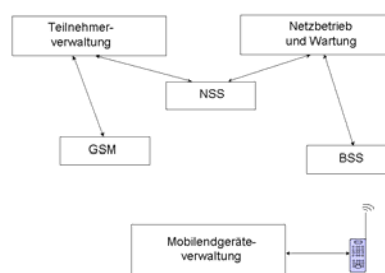


Abbildung 8.4: Betrieberteilsystem (OSS)

### 8.1.4 Funkschnittstelle am Bezugspunkt $U_m$

#### Air Interface

Funkschnittstelle liegt zwischen der Mobilstation (MS) und dem restlichen GSM. Physikalisch läuft darüber der Informationsfluss zwischen Mobilstation und Feststation. Dagegen logisch kommunizieren die Mobilstationen mit der Feststationssteuerung (BSC) und der Mobilvermittlungsstelle (MSC). Übertragungsrate über die Funkschnittstelle: 270,833 kbit/s.

#### Multiplex-Struktur

Neben der Sprachcodierung und der Modulation spielt das Multiplexverfahren eine wichtige Rolle. In den GSM-Empfehlungen ist standardisiert eine Kombination von

- Frequenzmultiplex-Verfahren (Frequency Division Multiplex, FDM) und
- Zeitmultiplex-Verfahren (Time Division Multiplex, TDM).

Dabei wird als Kanalvergabe-strategie ein Vielfachzugriff (Multiple Access) der Mobilstationen auf diese Systeme angewandt (FDMA, TDMA).

GSM nutzt das Zellularkonzept (Raummultiplex). Geographische Fläche wird planerisch in hexagonale Funkzellen unterteilt: mit einer BTS je Zelle, mit der die Mobilstationen in Verbindung treten können. Funkzellen in Gruppen (Cluster) zusammengefasst, wobei jede Funkzelle bestimmte FDM-Kanäle exklusiv benutzt. Gleiche Frequenzen werden erst in genügend großen räumlichen Abständen in benachbarten Clustern wiederverwendet. Zellenradien können in Abhängigkeit der Nutzerdichte variiert werden (Handover in großen Funkzellen vs. Auslastung in kleinen Funkzellen). Übliche Zellenradien: Ländliche Gegenden: bis zu 35 km, Ballungsgebiete: ca. 300 m. Kapazitätssteigerung durch Aufteilung der Zellen in Sektoren.

#### Frequenzmultiplex-Struktur

Funkschnittstelle mit effizienter Ausnutzung des verfügbaren Frequenzbandes. Für GSM europaweit zwei 25 MHz breite Frequenzbänder im 900 MHz Band reserviert. Die Übertragung vom Mobilgerät zur Basisstation (Uplink) erfolgt im Bereich von 890 MHz bis 915 MHz, in umgekehrter Richtung (Downlink) von 935 MHz bis 960 MHz benutzt. 15 MHz an den unteren und 1 MHz an den oberen Bandgrenzen wurden europaweit erst ab 2001 zur Verfügung gestellt. Weitere 10 MHz zwischen 880 und 890 MHz bzw. 925 und 935 MHz als GSM Erweiterungsband vorgesehen. Zwischen Sende- und Empfangsfrequenz besteht ein Duplexabstand von 45 MHz.

Frequenzbänder werden in Kanäle von 200 kHz Bandbreite unterteilt, somit insgesamt jeweils 124 FDM-Kanäle für Sende- und Empfangsbetrieb verfügbar. Jede Mobilstation kann sämtliche 124 Trägerfrequenzpaare belegen, wobei aber die Kanäle 1 und 124 nach den GSM-Spezifikationen möglichst nicht benutzt werden sollen. Die verbleibenden 200 kHz Bandbreite werden als Schutzband zu im Frequenzband benachbarten Systemen freigehalten.

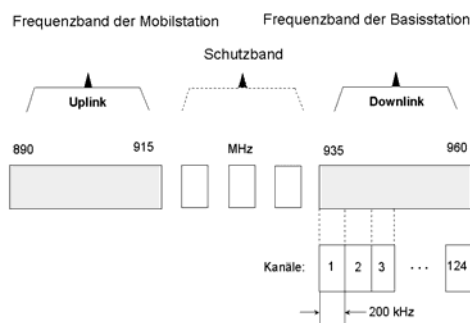


Abbildung 8.5: Frequenzbänder in GSM

#### Zeitmultiplex-Struktur

Auf einer Trägerfrequenz werden durch ein TDM-Verfahren 8 physikalische TDM-Kanäle realisiert, wobei die Zeitachse in 8 periodische Zeitschlitze (Time Slot) der Dauer 0,577 ms

geteilt wird. Acht Zeitschlitzte werden zu einem TDM-Rahmen (Frame) der Dauer 4,615 ms zusammengefasst. Da diese Zeitkanäle im Vielfachzugriff genutzt werden, spricht man in der GSM-Empfehlung vom TDMA-Rahmen.

Ein physikalischer Kanal ist durch seine Trägerfrequenz und seinen ihm zur Verfügung stehenden, alle 4,615 ms wiederkehrenden Zeitschlitz (Slot) charakterisiert. Jeder Zeitschlitz besitzt eine Länge entsprechend der Dauer von 156,25 bit bzw. 0,577 ms (15/26 ms). Diese Länge ergibt sich aus der Übertragungsrate des Modulationsverfahrens (1625/6 kbit/s) und der Anzahl Bits, die man in einem Slot übertragen möchte. Genutzt wird ein Slot durch Bursts der Länge 148 bit, die zur Vermeidung einer Überlappungen mit anderen Bursts um die Schutzzeit entsprechend der Dauer von 8,25 bit kürzer als Slots sind. Datenübertragung erfolgt somit mittels Bursts. Wenn Nachrichten länger als ein Burst sind, werden sie auf mehrere Bursts aufgeteilt und dann übertragen.

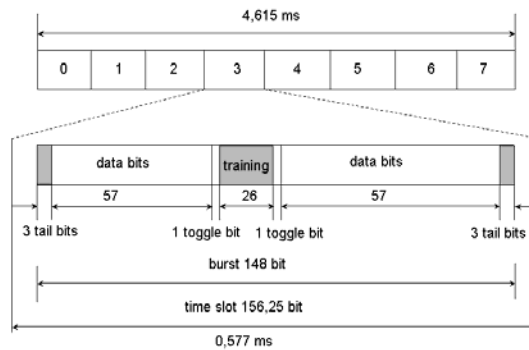


Abbildung 8.6: Aufbau TDMA-Rahmen

Insgesamt existieren fünf verschiedene Arten von Bursts, unterschieden durch Funk und Inhalt. Die in allen Bursts vorkommenden Tail Bits sind als Modulationsbits definiert und haben immer die gleiche, im Standard festgelegte Wertigkeit. Die Bursts werden so gesendet, dass man die Bits mit der kleinsten Wertigkeit zuerst überträgt. 5 verschiedene Burstarten:

*Normal Burst:* dient der Nachrichtenübertragung in Verkehrs- und Steuerkanälen.

*Access Burst:* dient dem Verbindungsaufbau; dieser Burst ist kürzer als die anderen, weil er nicht voraussetzt, dass die MS voll synchron zur BTS ist.

*Dummy Burst:* wird in einen freien Slot plaziert, falls keine Daten vorliegen.

*Synchronisation Burst:* dient zur Synchronisation.

*Frequency Correction Burst:* wird von Feststation versendet und dient zur Frequenzkorrektur bei der MS, um mögliche Störungen benachbarter Frequenzen zu vermeiden.

TB: Tail-Bit						
Normal Burst						
TB	Encrypted Bits	Trainings-sequence	Encrypted Bits	TB	Guard	
3	57	26	57	3	8,25	
Frequency Correction Burst						
TB	Fixed Bitpattern			TB	Guard	
3			142	3	8,25	
Synchronization Burst						
TB	Encrypted Bits	Extended Trainingsequence	Encrypted Bits	TB	Guard	
3	39	64	39	3	8,25	
Dummy Burst						
TB	Fixed Bitpattern	Trainings-sequence	Fixed Bitpattern	TB	Guard	
3	58	26	58	3	8,25	
Access Burst						
Ext. TB	Sync. Sequence	Encrypted Bits	TB	Guard Interval		
8	41	36	3	68,25		
0,577 ms or 156,25 bit						

Abbildung 8.7: Burstarten in GSM

Zeitmultiplexverfahren wird auf dem Uplink- und Dowlinkkanal angewandt. Damit Mobilstationen nicht gleichzeitig senden und empfangen müssen, werden die TDMA-Rahmen vom Uplink mit einer Verzögerung von drei Zeitschlitzten gesendet. Durch den Parameter Timing Advance (TA) kann diese Verzögerung um eine Zeitspanne entsprechend der Dauer bis zu 63

bit verkürzt werden, um die Schleifenlaufzeit BTS-MS-BTS zu kompensieren. Der zeitliche Signalverlauf eines Bursts darf den Bereich einer vorgegebenen Maske nicht überschreiten.

### Frequency Hopping (FH)

Durch Mehrwegeempfang und Gleichkanalstörungen haben bestimmte FDM-Kanäle eine verminderte Qualität ~> deshalb optional ein Frequenzsprungverfahren (Frequency Hopping) verwendet. Dabei wird nach jedem übertragenen Rahmen eines Kanals die Frequenz gewechselt. Frequenzwechsel (Dauer ca. 1 ms) findet zwischen den Empfangs- bzw. Sendezeitschlitzen statt. Die Folge der Frequenzen eines Hopping-Zyklus einer Mobilstation werden über einen in jeder MS implementierten Algorithmus errechnet. Vorteil dieses Verfahrens: allen Mobilteilnehmern werden Übertragungskanäle mit annähernd gleicher Qualität garantiert. Störungen einzelner Frequenzen des Zyklus können bei Datenübertragungen durch Fehlerbehandlungsverfahren behoben werden, bei Sprachübertragungen ist ein leistungsfähiges Fehlerkorrekturverfahren (FEC) vorgesehen.

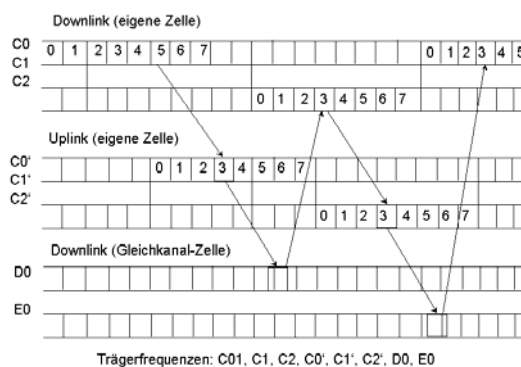


Abbildung 8.8: Frequency Hopping

### Logische Kanäle

Logische Kanäle entstehen durch Zuordnung von Zeitschlitzen physikalischer Kanäle. Demzufolge werden Daten eines logischen Kanals in entsprechenden Zeitschlitzen des physikalischen Kanals übertragen. Logische Kanäle können dabei einen Teil des physikalischen Kanals oder den ganzen Kanal belegen. Hat z.B. der physikalische Kanal eine Übertragungsrate von 4 a, so kann ein logischer Kanal K1 mit einer Datenrate von 3 a und ein zweiter logischer Kanal K2 mit der Datenrate a auf dem gleichen physikalischen Kanal übertragen. In der GSM-Empfehlung wurden nach diesem Prinzip mehrere logische Kanäle für die Signalisierung definiert, die in zwei Hauptgruppen unterteilt sind: Verkehrskanäle und Steuerkanäle.

#### Verkehrskanäle

Verkehrskanäle (Traffic Channel, TCH) sind die logischen Kanäle, über die Nutzinformation zwischen Teilnehmern während einer Verbindung ausgetauscht wird. Dabei Sprache und Daten digital mittels unterschiedlicher Codiervverfahren übertragen. Je nach Art des Dienstes (z.B. Sprachübertragung, Kurznachrichtendienst, Datenübertragung, Telefax) werden unterschiedliche Übertragungskapazitäten benötigt. Folgende Verkehrsklassen angeboten:

- $B_m$ -Kanal ( $m=mobile$ ): Vollratenkanal (Full Rate TCH) mit Bruttodatenrate 22,8 kbit/s. Für Sprachübertragung werden nur 13 kbit/s benötigt, restliche Kapazität zur Fehlerkorrektur benutzt. Übertragung von Daten mit 12,6 bzw. 3,6 kbit/s möglich.
- $L_m$ -Kanal ( $m=mobile$ ): Halbratenkanal (Half Rate TCH) mit Bruttodatenrate 11,4 kbit/s. Mit Sprachcodern kann GSM-Kanalzahl verdoppelt werden. Dazu leistungsfähige Sprachcodieralgorithmen entwickelt. Übertragung von Daten mit 6 bzw. 3,6 kbit/s möglich.

#### Steuerkanäle

Steuerinformation dient zur Signalisierung und Steuerung des Systems. Typische Aufgaben, die mit Hilfe von Steuerinformation bewältigt werden: Signalisierung zur Vermittlung von Verkehrskanälen, Mobilitätsmanagement und Zugriffssteuerung auf Funkkanäle. Steuerin-

formation wird über sog. Steuerkanäle (Control Channels, CCH) übertragen (in Anlehnung an ISDN auch als Dm-Kanäle bezeichnet). Die Steuerkanäle bieten den Mobilstationen einen paketorientierten, kontinuierlichen Signalisierungsdienst, um innerhalb des PLMN jederzeit Nachrichten von Basisstationen empfangen bzw. senden zu können. Da Steuerung und Management eines Mobilfunknetzes mehr Signalisierungsaufwand als im Festnetz erfordert, wurden drei Gruppen von Steuerkanälen im GSM definiert: Broadcast Control Channel (BCCH), Common Control Channel (CCCH), Dedicated Control Channel (DCCH).

### 8.1.5 Handover und Roaming

#### 1. Signalisierungsprotokolle in der GSM-Sicherungsschicht

Schicht 2 zuständig für Übertragungssicherung von Verbindungen über einzelne Teilstrecken zwischen zwei direkt verbundenen Systemen sowie für Fehlerbehandlung der Datenpakete. GSM-Spezifikationen: orientieren sich in Sicherungsschicht (Data Link Layer) an den existierenden Standards des ISDN, z.B. ISDN/LAPD gemäß X.200/Q.920, X.25/LAPB und HDLC/ISO 3309/4335.

Dazu einzelne Anpassungen, u.a. im Gegensatz zum LAPD-Protokoll (Link Access Procedure D-Channel) sind keine Begrenzungsflags notwendig. Synchronisation ist bereits durch die Schicht 1 gewährleistet, und da mehrere logische Steuerkanäle vorliegen, mußte spezielles Sicherungs-Protokoll spezifiziert werden. In Analogie zu ISDN dieses Protokoll als LAPD<sub>m</sub> bezeichnet ~> Einsatz zwischen MS und Feststation, während zwischen BTS und BSC über die A<sub>bis</sub>-Schnittstelle das LAPD-Protokoll und zwischen der BSC und MSC über die A-Schnittstelle das aus SS.7 bekannte MTP-Protokoll verwendet wird.

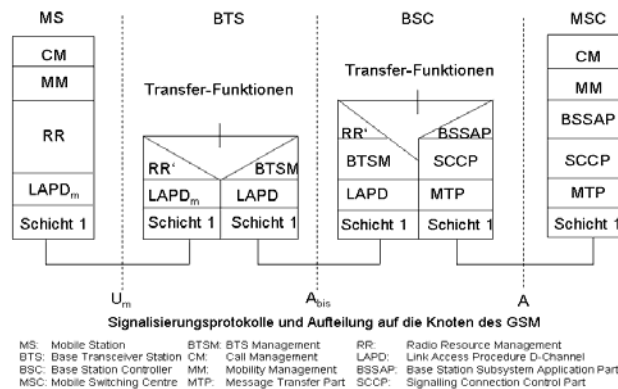


Abbildung 8.9: Signalisierungsprotokolle (Schicht 2)

Physikalische Eigenschaften des Übertragungsmediums Funk und GSM-Merkmale erfordern entsprechend angepasste Kommunikationsprotokolle. Signalisierung zwischen den Netzelementen (BTS, MSC, HLR, VLR, AuC, EIR, OMC) des GSM-Systems basiert auf dem Zentralzeichenkanal-Signalisierungssystem Nr. 7 (SS.7), ITU-T-Serie Q.700-795. Es wurde um den Mobilfunkanwendungsteil (Mobile Application Part, MAP) erweitert, um den funkspezifischen Signalisierungsaufwand im GSM-PLMN abzudecken. MAP-Teil ist in allen mit dem Mobilnetz direkt verbundenen Vermittlungsstellen implementiert. Er besteht aus mehreren Anwendungsdienstelementen (Application Service Elements, ASE), die für die Transaktion zur Registrierung und Datenbankabfrage und zur Ermittlung des momentanen Standortes eines Mobilteilnehmers erforderlich sind.

**SS.7-Komponenten:** neben MAP umfassen die geschichteten Funktionen der SS.7:

Transaction Capabilities Application Part (TCAP): besteht aus zwei Teilschichten, einer Transaktions- und einer Komponententeilschicht. Transaktionsteilschicht: zuständig für Steuerung von Transaktionen oder Dialogen bei einer Ende-zu-Ende Verbindung. Dabei wird je-

der Nachricht ein Zähler hinzugefügt, mit dessen Hilfe am anderen Ende alle zusammengehörige Nachrichten identifiziert werden. Komponententeilschicht: steuert die auszuführenden Operationen bzw. Rückantwort und die Hinweise über den (nicht) erfolgreichen Abschluss einer Operation. Der TCAP unterstützt den MAP; dessen Dienste entsprechend denen der ISO/OSI-Schicht 7. Intermediate Service Part (ISP): entspricht ISO/OSI-Schichten 4 bis 6 und ist vorerst noch leer, da in einer meldungsvermittelnden Umgebung bedeutungslos. Signalling Connection Control Part (SCCP): stellt Teil der Schicht 3 dar und dient zur Einrichtung einer Ende-zu-Ende-Verbindung für Übertragung einzelner Mitteilungen. Message Transfer Part (MTP): überdeckt Schichten 1,2, (z.T.) 3 und dient zur Übertragung von Meldungen zwischen zwei über eine Teilstrecke verbundenen Knoten. MTP in 3 Teilschichten unterteilt: die zwei unteren Teilschichten für Schutzfunktionen beim Nachrichtentransfer und 3. Teilschicht für Betriebs- und Wartungsfunktionen im Netz zuständig.

Funkkanalverwaltung (Radio Resource Management, RR) hat in Basisstation nur eingeschränkten Funktionsumfang (~> RR') und wird über Funktionen der Basisstationsverwaltung (BTS Management) realisiert. Diese Funktionen korrespondieren im BSC mit dem Basisstationsteilsystem-Anwendungsteil (BSS AP). Instanzen der Mobilitätsverwaltung (Mobility Management MM) kommunizieren über ein entsprechendes Protokoll direkt zwischen MS und MSC. Darüber ist die Verbindungssteuerung (Call Management, CM) angesiedelt. CM, MM, BSSAP, SCCP gehören zur Schicht 3. Zur Signalisierung werden die in Serien 04 und 08 der GSM-Empfehlung definierten Protokolle der unteren 3 Schichten benötigt.

## 2. Netzschicht im GSM

### Teilschichten

Schicht-3-Signalisierungsprotokolle stellen die Funktionen bereit, um

- Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zw. 2 mobilen Teilnehmern eines GSM PLMN oder zw. einem mobilen TN und einem TN eines anderen Netzes aufzubauen;
- bei Funkkanalstörungen ist die Verbindung aufrecht zu erhalten;
- die Verbindung ist bei Anforderung ordnungsgemäß abzubauen.

Netzschicht ist in 3 eigenständige Teilschichten unterteilt, die voneinander abgegrenzte Funktionen zur Verfügung stellen. Unterste *Teilschicht RR* baut auf den Diensten des LAPDm auf. Die CC-Instanz der *CM-Teilschicht* bietet Schicht 4 die Dienste der Netzschicht an.

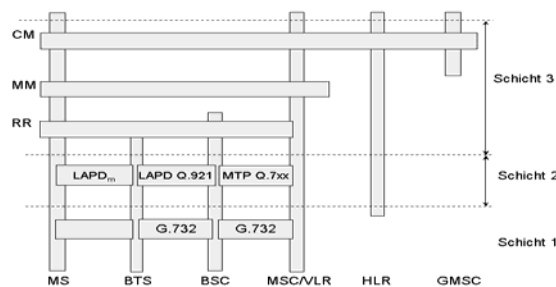


Abbildung 8.10: Signalisierungsprotokolle (Schicht 3)

Aufgaben der einzelnen Teilschichten:

*Radio Ressource Management (RR)*: Aufbau, Unterhaltung und Abbau einer dedizierten Funkkanalverbindung.

*Mobility Management (MM)*: Registrierung, Authentisierung, Zuweisung neuer TMSI.

*Call Control (CC, in der Call Management (CM)-Teilschicht)*: Aufbau, Unterhaltung und Auslösung eines kanalvermittelten Rufes.

Die CM-Teilschicht (*Call Management*) enthält drei unabhängige Instanzen: CC (Call Control), SMS (Short Message Service) und SS (Supplementary Services):

- SS-Instanz liefert rufgebundene Dienste, wie Rufweiterleitung und Gebührenabrechnung.
- SMS-Dienst kann auf Steuerkanälen SDCCH und SACCH Kurznachrichten übermitteln.

### **3. Handover**

#### **Funkzellenwechsel**

Neuere Mobilfunknetze (ab öbl-C-Netz) gestatten das automatische Nachführen einer bestehenden Verbindung bei Funkzonenwechsel. GSM-Empfehlung 05.08 sieht sogar Signalisierungsfunktionen für mehrfaches Weiterreichen vor. Handover findet immer dann statt, wenn eine Mobilstation den Zellbereich einer Feststation, evtl. auch gleichzeitig einer MSC, verlässt.

#### **Notwendigkeit**

Verschiedene Ursachen für Handover. Jedes mobile Endgerät versucht, den Funkkanal zu benutzen, der die beste Verbindungsqualität, d.h. den besten Störsignalabstand  $C / I$  (Carrier to Interference), bietet. Gleichkanalstörungen sind wegen Mehrfachverwendung desselben Zeit- u. Frequenzkanals aufgrund des geplanten Zellmusters unvermeidlich und so kann, trotz hohen Pegels, die Qualität schlecht, d.h. die Bitfehlerhäufigkeit hoch sein. Eine bestehende Verbindung eines mobilen Endgerätes zur Basisstation kann, trotz guter Qualität, die Ursache für Interferenzstörungen bei anderen Mobilstationen sein. Wechselt gestörte Station auf anderen Funkkanal, können Störungen minimiert werden. Auch Fälle möglich, in denen mobile Teilnehmer von mehreren Zellen in annähernd gleich guter Qualität bedient werden können. Wenn die Teilnehmer gleichmäßig auf die verfügbaren Zellen verteilt werden, lässt sich die Dienstgüte des Netzes optimieren.

Die Möglichkeit, während einer aktiven Netzverbindung die Zelle ohne Verbindungsabbruch zu wechseln, ist eine der wichtigsten Funktionen in zellularen Netzen, um mobile Kommunikation zu unterstützen. Im GSM liegt ein sog. Mobile Assisted Handover (MAHO) vor, d.h. Handover-Entscheidungen werden auf Grund der von der MS gelieferten Messwertreporte über die Funkfeldsituation getroffen.

#### **Handover-Vorbereitung**

Vorbereitung eines Handovers beruht auf ständiger messtechnischer Beobachtung und Bewertung der Empfangssituation durch die betreffenden Basis- und Mobilstationen und entscheidet über die spektrale Effizienz des Funknetzes und die Dienstgüte, die vom mobilen Teilnehmer wahrgenommen wird. Verlässt mobiler Teilnehmer den Versorgungsbereich einer Basisstation, muss er von einer benachbarten Basisstation versorgt werden, damit Verbindung nicht abreißt. Ein Verbindungsabbruch (Cut-off bzw. Call Drop) während des Gesprächs wird vom Teilnehmer nicht oder nur sehr unwillig akzeptiert und hat großes Gewicht bei der Festlegung der Dienstgüte. Ohne automatischen Handover wäre der Teilnehmer bzw. die Mobilstation gezwungen, die Verbindung neu einzurichten. Handover können auch durch das Funknetz veranlasst werden, falls das Verkehrsaufkommen einer Zelle zeitweise zu hoch wird und Nachbarzellen weniger ausgelastet sind.

#### **Handover-Kriterien**

Verschiedene Handoverarten ~> unterschiedliche Kriterien für die Veranlassung eines Handovers. Dabei versucht, durch messtechnische Bewertung der Empfangssituation in der unmittelbaren Vergangenheit auf die zu erwartete Situation in der nahen Zukunft zu schließen und abhängig davon zu entscheiden, ob ein Handover zweckmäßig ist. Diese Extrapolation führt nur mit gewisser Wkt. zum Erfolg, abhängig von den herangezogenen Kriterien und ihrer Bewertung. Neben dem Signalpegel an den beteiligten Empfängern, über den der Pfadverlust des Funksignals geschätzt werden kann, ist die gemessene Bitfehler-Wkt. als Maß für die Signalqualität des Up- und Downlink-Kanals sehr wichtig. Sie wird im Viterbi-Decoder des Empfängers und durch Vergleich bestimmter empfangener Bitmuster mit bekannten Bitmustern jedes Bursts (Training Sequence) ermittelt.

In Zeitmultiplexsystemen müssen Zeitschlitze zur Übertragung von Bursts breiter als der Bursts selbst sein, damit er aufgrund der Schleifenlaufzeit des Signals (Round Trip Delay) von der Feststation zur MS und zurück nicht die Zeitschlitzgrenzen verletzt.

Im GSM wird die Schleifenlaufzeit durch die Basisstation gemessen und korrigiert, so dass Entfernung Mobil- von Basisstation bekannt ist und rechtzeitig ein Handover veranlasst werden kann, falls MS den geplanten Versorgungsbereich (die Zelle) verlässt und eine andere geeignete Basisstation verfügbar ist. Anderenfalls muss die Verbindung abgebrochen werden. Basisstationssteuerung entscheidet über Zeitpunkt und Art des Handovers. Die MS überträgt ihre Messergebnisse zur BTS je nach Signalisierungsaufkommen ein- bis zweimal pro Sek.

### **Handover-Entscheidung**

Der gesamte Handoverprozess im GSM läuft in folgenden Schritten ab:

1. Messwerte: Messung und Übertragung der Funkdaten im Uplink und Downlink.
2. Handoveranforderung: Auf Basis der Messwerte wird eine Handoveranforderung generiert, wenn dies notwendig ist.
3. Handoverentscheidung: Über diese Anforderung wird entschieden.
4. Handoverdurchführung: Schließlich wird die entsprechende Signalisierung und der Kanalwechsel auf Mobilstations- und Festnetzseite durchgeführt.

*Normalfall* des Handoverprozesses: Handoveranforderungen werden vom BSC generiert, Handoverentscheidung und Durchführung sind Aufgabe der MSC. Je nach Art des Handovers können die Funktionen 3 und 4 im BSC realisiert werden.

*Probleme* des GSM Handover-Prozesses: Handover im GSM basiert auf Funkmessdaten. Dies auch Hauptproblematik, denn die Funkausbreitung in der tatsächlichen Umgebung ist im Regelfall nicht einfach berechenbar und stark unregelmäßig. Insbesondere Abschattungen durch Hindernisse können unerwünschte Effekte haben, z.B. zuviele Handover.

### **Pingpong-Handover**

Äußerst unerwünschter aber relativ häufiger Effekt ist der sog. Pingpong-Handover. Es ist ein Handover zu einer Nachbarzelle, der nach kurzer Zeit zur ursprünglichen Zelle zurückkehrt. Ursache dafür liegt im Power-Budget-Kriterium. In Zellen mit guter Funkversorgung und nur geringen Störungen durch Interferenz wird Handover überwiegend aufgrund dieses Kriteriums durchgeführt. Der Parameter HO\_MARGIN bestimmt dabei, welche Pegelhysterese überschritten werden muss, damit ein Wechsel zur Nachbarzelle stattfindet.

## **4. GSM Roaming**

### **Aktualisierung des Aufenthaltsbereiches (Location Update)**

Um Mobilteilnehmer unabhängig vom gegenwärtigen Aufenthaltsort erreichen zu können, muss beim Verlassen eines Aufenthaltsbereiches die sofortige Aktualisierung von HLR und VLR erfolgen. Hierzu wertet die Mobilstation ständig die Empfangsqualität aller empfangbaren Basisstationen aus und ordnet sich logisch der mit dem stärksten Signal zu. Hat sie sich dabei einer Basisstation zugeordnet, die ausserhalb des bisher gültigen Aufenthaltsbereiches liegt, so leitet sie eine Aktualisierung (Location Update) ein und teilt dabei dem Netz ihren neuen Aufenthaltsbereich mit. Zwei Fälle sind zu unterscheiden: Wechsel innerhalb des gleichen VLR-Bereiches, Wechsel des VLR-Bereiches. Ändert sich mit dem Aufenthaltsbereich gleichzeitig der VLR-Bereich, erfolgt Ablauf gemäß "*Location-Update-Algorithm*". Da in dem zukünftigen VLR noch kein Eintrag der Mobilstation vorliegt, müssen ihre Daten aus dem HLR übertragen und im bisherigen VLR gelöscht werden.

Fordert eine Mobilstation eine Bereichsaktualisierung, so liegt damit in der Regel auch die 4 Zeichen lange temporäre Mobilteilnehmeridentität (TMSI) sowie die Kennung des alten Aufenthaltsbereiches (LAI) vor. Damit ist es möglich, das bisherige VLR und somit auch die internationale Mobilteilnehmeridentität (IMSI) zu bestimmen. Alternativ kann die Mobilstation



aber auch unmittelbar aufgefordert werden, ihre IMSI zu übertragen. Nachdem der Teilnehmer authentifiziert wurde, teilt das neue VLR dem HLR den Bereichswechsel durch die Nachricht *Update\_Location* mit. Daraufhin überträgt das HLR durch *Insert\_Subscriber\_Data* notwendige Teilnehmerdaten auf die neue VLR. Danach wird im bisherigen VLR der Teilnehmereintrag durch *Cancel\_Location* gelöscht. Das neue VLR bestätigt der Mobilstation durch *Location\_Updating\_Accepted*, dass die Umbuchung durchgeführt wurde.

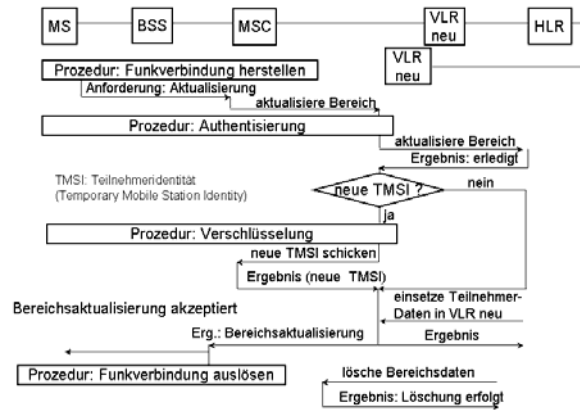


Abbildung 8.11: Location-Update Algorithmus

### Unterstützung von Roaming

Mit Roaming (Umherstreifen) bezeichnet man einen Dienst des Mobilfunknetzes, der Freizügigkeit des Mobilteilnehmers bei bestehender Erreichbarkeit gestattet. Teilnehmer können dabei andere rufen oder selbst gerufen werden und unabhängig davon gleichzeitig mehrere Dienste nutzen. Man unterscheidet Roaming innerhalb desselben Netzes (über Aufenthaltsbereiche hinweg), nationales Roaming (zwischen verschiedenen Netzen), internationales Roaming. Roaming erfolgt auf der Basis eines Nummerierungsplanes. Verwendung der Nummern

- MSISDN: Mobile Subscriber ISDN Number
- IMSI: International Mobile Subscriber Identity
- MSRN: Mobile Station Roaming Number
- TMSI: Temporary Mobile Subscriber Identity

### Nummerierungsplan für Roaming

Die Nummerierung im GSM folgt den Regeln der ITU-T Empfehlung E.164 für das ISDN. Der Mobilteilnehmer hat neben der MSISDN-Rufnummer eine weitere Nummer, die IMSI mit max. 15 Zeichen Länge, anhand der er eindeutig identifiziert werden kann.

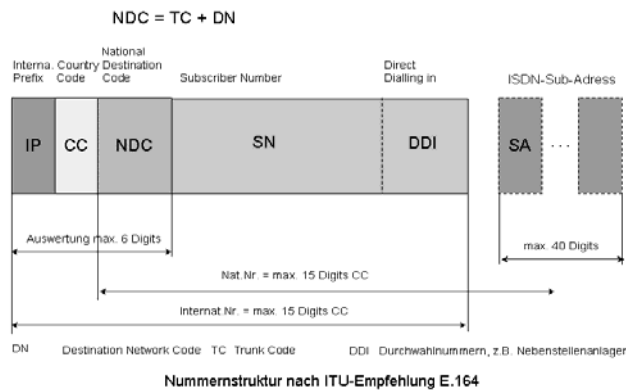


Abbildung 8.12: Nummernstruktur (Roaming)

Die Nummern sind folgendermaßen aufgebaut:

Die Mobile Subscriber ISDN Number (MSISDN) besteht aus

- der Heimatlandkennzahl (CC),
- der nationalen Zielkennzahl (NDC, identifiziert Heimat-PLMN), d.h. HLR-Adresse,
- der Teilnehmernummer (SN) im HLR, also MSISDN=CC+NDC+SN.

Die International Mobile Subscriber Identity (IMSI) besteht aus

- der Mobilfunkkennzahl des Heimatlandes (MCC),
- dem Code des Mobilnetzes, d.h. der HLR-Adresse MNC,
- der Teilnehmeridentität (MSIN) im HLR.

Für die bestehenden europäischen GSM-Netze sind die Codes MCC und MNC festgelegt. Daneben besteht als temporäre Adresse die Mobile Station Roaming Number (MSRN), die den Bezug zum momentanen Standort des Mobilteilnehmers liefert.

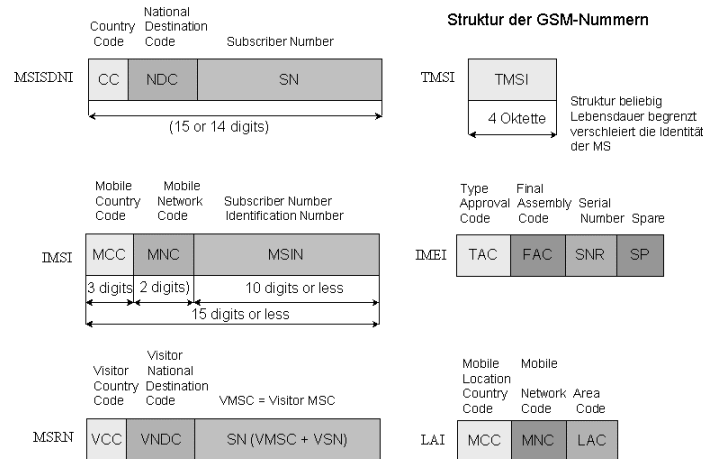


Abbildung 8.13: Nummerierungsplan (Roaming)

Die MSNR ist ortsabhängig, wird auf Anforderung des MSC temporär vom VLR zugeteilt (und im HLR gespeichert) und wird zum Verbindungsaufbau zu einer Mobilstation über das GMSC vom Festnetz benötigt. Sie besteht aus

- der Länderkennzahl des besuchten Mobilnetzes (VCC),
- der Ortskennzahl (Bereich, in dem sich der Teilnehmer aufhält, VNDC),
- der Kennung der besuchten MSC (VMSC),
- der Teilnehmernummer (VSN), die durch das VLR zugewiesen wird.

Die MSRN schützt davor, durch Abhören des Signisierverkehrs die Identität und den Aufenthaltsort des Mobilteilnehmers ermitteln zu können. Signalisiert eine Mobilstation im Netz, benutzt sie zur Identifizierung eine lokale, temporäre Nummer, die sog. Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), damit die IMSI verborgen bleibt. Die TMSI wird von dem momentanen VLR temporär vergeben und verschlüsselt, zusammen mit der LAI (Local Area Identity) zur Mobilstation übertragen. Um die Vertraulichkeit übertragener Informationen des Mobilteilnehmers zu gewährleisten, wird die TMSI periodisch gewechselt. Roaming hat ständigen hohen Signalisierungsaufwand im Mobilfunknetz zur Folge..

### 8.1.6 Standardisierte Dienste in GSM Mobilfunknetzen

#### Dienste im GSM-Mobilfunknetz

Integration verschiedener Sprach- und Datendienste, Übergangsfunktionen zu anderen TK-Netzen für Sprach- und Datenübertragung. Neben Sprachdienst stufenweise Einführung von Daten- und Telematik-Diensten. Telekommunikationsdienste in 3 Hauptkategorien unterteilt:

*Trägerdienst (Bearer Service)*: TK-Dienst zur bittransparenten Signalübertragung zwischen Mobilnetzen und beliebigen Netzen; reiner Transportdienst (ISO/OSI-Schichten 1 bis 3: verbindungsorientierte kanal- und paketvermittelte Datenübertragung).

*Teledienste (Tele Services):* Zur anwendungsbezogenen Kommunikation zwischen Mobil-Teilnehmer und zweitem Nutzer gemäß standardisierter Protokolle (alle 7 Schichten ISO/OSI benötigt);

*Zusatzdienste (Supplementary Services):* Zusätzliche, ergänzende Leistungsmerkmale. Nicht selbstständig, sondern in Verbindung mit Tele- und Trägerdiensten.

Einführungsphasen der standardisierten Dienste ~> GSM-Empfehlung Serie 01.06:

- schrittweise Einführung verschiedener Dienste, je nach Wichtigkeit und Marktsituation
- Einstufung als wesentlich (E, Essential) oder zusätzlich (A, Additional).

E-Dienst ist von allen Mobilkommunikationsnetzen (PLMN) anzubieten.

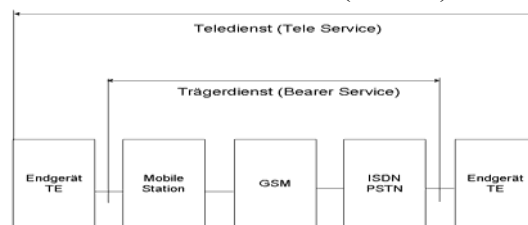


Abbildung 8.14: Tele- und Trägerdienste

### Trägerdienste (Bearer Services)

GSM unterstützt unterschiedliche Varianten zur DÜ (GSM dient als Träger). Dominanz Sprachdienste ~> Trägerdienste nur zum Teil als *essential* eingeschätzt. Wegen Funkschatten sind bei Datenübertragung fehlersichernde Übertragungsprotokolle einzusetzen (unkritisch bei Sprachübertragung wegen vorhandener Redundanz der natürlichen Sprache). Trägerdienste ermöglichen transparente und nichttransparente synchrone bzw. asynchrone Datendienste (nichttransparenter Dienst verletzt Zeittransparenz, d.h. Daten erfahren schwankende Verzögerung und situationsabhängigen Durchsatz im Funknetz).

*Transparenter Trägerdienst:*

Transparenter Trägerdienst definiert einen Übertragungsdienst, bei dem lediglich Funktionen der ISO/OSI-Schicht 1 eingesetzt werden (keine höheren Schichten). Teilnehmer erhält Verkehrskanal ohne Protokolle für eine definierte Übertragungsrate.

Einsatz Kanalcodierungsverfahren mit Fehlerkorrektur (FEC) ~> Daten mit konstantem Durchsatz und konstanter Verzögerungszeit übertragen. Anwendung unterschiedlicher Fehlerkorrekturverfahren ~> mögliche Datenraten: beim Vollratenkanal: 9,6 / 4,8 / 2,4 kbit/s, beim Halbratenkanal: 4,8 / 2,4 kbit/s

*Nichttransparenter Trägerdienst:*

Nutzung Protokolle Schicht 2 und 3 (Fehlererkennung, Wiederholung, Flußsteuerung). Basis: transparenter Trägerdienst und zusätzlich das Radio Link Protocol (RLP). RLP erlaubt *Zurückweisung (Reject)*, bekannt aus HDLC-Protokoll: bei Fehler Wiederholung der Übertragung ab bestimmter Rahmen-Nr., auch *Selective-Reject-Mechanismus*: nur Wiederholung des gestörten Rahmens. Datenrate  $\leq 9,6$  kbit/s.

### Teledienste (Telecommunication Services)

Charakteristika:

- Systemoptimierte, verschlüsselte Sprachübertragung sowie
- Datenkommunikation unter Verwendung *spezieller Adapter*, die die Kompatibilität zu Endgeräten im ISDN und über Modems an das PSTN ermöglichen.

GSM-Empfehlung 2.03 standardisiert folgende Teledienste (Einstufung *essential* (E1, E2, E3), *additional* (A) oder *zu untersuchend* (FS, Further Study):

- Telefondienst (E1), Notrufdienst (E1),
- 3 Kurznachrichtendienste
  - \* Short Message Mobile Terminated Point-to-Point (E3),
  - \* Short Message Mobile Originated Point-to-Point (A),

- \* Short Message Mobile Cell Broadcast (FS),
- 3 Videotex-Zugriffsprofile (A), Teletex (A), Telefax Gruppe 3 (E2),
- Zugang zur elektronischen Post (A).

*Telefondienste*

Wichtigster GSM-Dienst ~> Einstufung E1. Sprachübertragung und zusätzliche Leistungsmerkmale, wie Anrufumleitung, Anrufsperr, geschlossene Benutzergruppen. Sprachübertragung rein digital und für Fernsprechen optimiert. Da die Sprachcodecs die von den Datenmodems verarbeiteten analogen Datensignale verzerrt übertragen, werden diese bei Datenübertragung über den Nutzkanal der Luftschnittstelle durch Datenmodems ersetzt.

*Notrufdienste:* Verfügbar mit Einführung des GSM (Einstufung E1). Durch einheitliche Zugangsprozedur oder durch Wahl der nationalen Notrufnummer kann man eine Sprechverbindung zur regionalen, für den Standort der Mobilstation zuständigen Rettungsstelle aufbauen.

**Kurznachrichtendienst (Short Message Services, SMS)**

SMS für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ermöglichen Übertragung von Nachrichten bis zu 160 Byte Länge zwischen GSM-Mobilstation und einem SMS-Centre. Längere Mitteilungen in 160er Teile zerlegt, ohne Gewährleistung der Reihenfolge. Typische Merkmale für SMS:

- \* Nachrichtenübertragung zwischen den betreffenden GSM-Netzinstanzen erfolgt über Signalisierkanäle (SACC und SDCCH),
- \* Speichervermittlungsdienst, realisiert über das SMS Centre.

Zugang unterschiedlicher Dienstanbieter über standardisierte Schnittstellen, wie bspw. beim öffentlichen Paketvermittlungsdienst oder Signalsiersystem Nr. 7. SMS nutzt gleiche Funktionen wie normaler Sprach- oder Datenverkehr (z.B. Einrichtung eines Steuerkanals, Authentifikation). SMS führt zur besseren Auslastung der Signalisierkanäle.

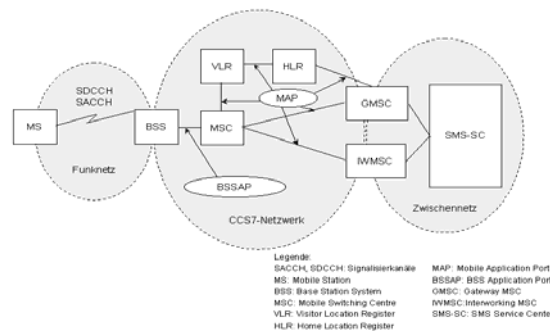


Abbildung 8.15: Kurznachrichtendienst SMS

*Ankommende Nachrichten* werden auf Mobilstation im Anzeigefeld angezeigt oder bei Abwesenheit gespeichert und später innerhalb festgelegter Zeitspanne erneut übertragen.

*Abgehende Nachrichten* über Tastatur (oder externe Einrichtung) eingegeben und können gespeichert werden. SMS Punkt-zu-Mehrpunkt-Dienst auch als *Zellenrundfunk (Cell Broadcast)* bezeichnet. Damit Nachrichten an alle MS übermittelbar, die sich in einer bestimmten Region befinden. Nutzung für lokale Informationsdienste (Einstufung A).

**Zugang zur elektronischen Post**

Das PLMN (Public Land Mobile Network) enthält kein Mitteilungs-Übermittlungssystem (Electronic Mail). Dafür aber Zugangsdienst zu MHS-Systemen in Festnetzen, die in vielen CEPT-Ländern gemäß ITU-T-Serie X.400 bestehen, z.B. Telebox in Deutschland.

Erweiterung durch Push-Dienste (Email auf Handy gesendet), z.B. Blackberry.

**Telefax-Dienst**

Datendienst zur Anwendung standardmäßiger Telefaxgeräte der Gruppe 3, die digital im analogen Fernsprechnet übertragen und heute in allen CEPT-Ländern kompatibel vorhanden

sind. GSM-Empfehlung bezieht sich i.w. auf die ITU-T-Empfehlungen T.30 (Faksimilesignalisierung) und T.4 (Bildübertragung zwischen Telefaxgeräten). Anpassung der Telefaxgeräte an öffentliches Mobilfunknetz sowohl auf Seiten der Mobilstation als auch der Interworking-Funktion durch je einen Faxadapter durchgeführt.

Die vom Modem empfangenen Signalisier- und Nachrichtendaten werden über den GSM-Nutzkanal zum Adapter des Partner-Telefaxgerätes übertragen und von dort per Modem zum zugehörigen Telefaxgerät gesendet. Für Signalisierung u. Datenübertragung unterschiedliche Modemverfahren notwendig. Hauptaufgabe der Faxadapter: Überwachung und Behandlung des Protokolls T.30 und bei nichttransparentem Betrieb auch des T4-Protokolls. Für die Kommunikation zwischen den Faxadaptern dienen spezielle Protokollelemente.

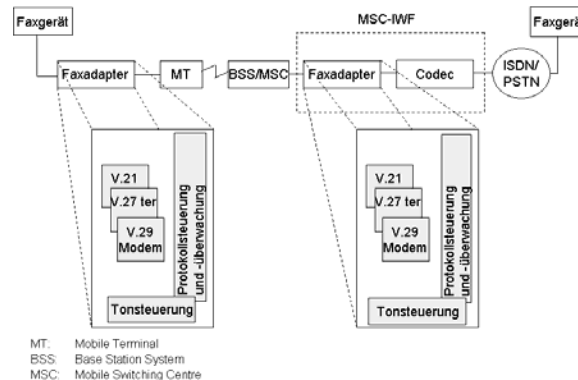


Abbildung 8.16. Telefax-Dienst (Adapter und Interworking)

### Zusatzdienste (Supplementary Services)

Zusätzliche Dienste unter Nutzung der Tele- und Trägerdienste.

Teilnehmeridentifikation: Identifizierung des TN, Registrierung unerwünschter Anrufe.

Rufumleitung: unbedingte (automatische) Umleitung von Verbindungswünschen und bedingte Anrufumleitung, falls TN-Anschluss besetzt oder Netz überlastet.

Rufweiterleitung: Weitergabe einer bereits bestehenden Verbindung.

Halten eines Rufes: TN kann bestehende Verbindung aufrechterhalten und vorübergehend eine neue Verbindung aufbauen.

Konferenzschaltung: Erweiterung der Anzahl der Verbindungen.

Geschlossene Benutzergruppe: Bildung von logischen Teilnetzen im gesamten GSM. Kommunikation nur zwischen registrierten TN eines Teilnetzes oder TN-Gruppe.

Sperren von Verbindungen: Totale oder eingeschränkte Sperre der Verbindungsaufnahme.

Sperre in ankommender u/o. abgehender Richtung möglich. Beispiele für Sperrdienste: Sperren abgehender Verbindungen (z.B. ins Ausland), Sperren von ankommenden Verbindungen, z.B. wenn sich TN außerhalb seines Heimatnetzes aufhält.

## 8.1.7 Neuere Sprachdienste (ASCI) und Datendienste (HSCSD)

### 1. Erweiterte GSM-Dienste (Überblick)

Im GSM 1994 eingeführte Datendienste basieren auf kanalvermittelter Übertragung. Jeder Nutzer erhält bei Sprachübertragung eine exklusive Verbindung über einen TCH (Traffic Channel) ~> ineffiziente Kanalauslastung und hohe Gebühren (Problem für Internet-Dienste). Bestehende Datendienste mit max. DÜ-Rate 9.6 kbit/s (mit spezieller Kodierung bis 14,4 kbit/s). Leistung nicht ausreichend, Gebührenabrechnung erfolgt für Dauer der Übertragung statt Menge der übertragenen Daten.

Zwei prinzipielle Ansätze für neue Datendienste im GSM mit DÜ-Rate > 9,6 kbit/s:

- hochbitratige kanalvermittelte Datendienste,
- paketorientierte Datendienste mit variablen Bitraten.

*Hochbitratige kanalvermittelte Datendienste:*

Sie basieren auf paralleler Nutzung mehrerer Verkehrskanäle. Durch Zusammenfassen der 8 Verkehrskanäle einer Trägerfrequenz (Bündelung) kann eine max. Datenrate von  $8 * 9,6 = 76,8$  kbit/s erreicht werden  $\leadsto$  standardisiert von ETSI als **HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)**. Realisierung HSCSD durch Änderungen in Kanalzuweisung, Verbindungsaufbau, Handoverprozeduren und im Übergang zum Festnetz (Interworking). Mit spezieller Kanalcodierung können 14,4 kbit/s je Zeitschlitz erzielt werden. Bei Bündelung von 8 Kanälen könnte theoretisch eine Übertragungsrate von  $8 * 14,4 = 115$  kbit/s erreicht werden. Nachteilig: Veränderung der Kanalanzahl ist bei den traditionellen Zuteilungs- und Abschaltungsmechanismen sehr träge (ungeeignet für Internet-Anwendungen mit hohen Spitzengeschwindigkeiten).

*Paketorientiertes Datendienstkonzept:*

Paketisierung des Datenstroms. Ressourcenzuteilung nur für Dauer eines Paketes. Abrechnung für Datenmenge (Anzahl Pakete). Es kann nicht nur Datenraten wie HSCSD erzielen, sondern durch *Multiplexen mehrerer Verbindungen* auf einem oder mehreren parallel genutzten Verkehrskanälen auch eine flexible Kanalnutzung für Anwendungen mit variablen Bitraten erreichen. Da GSM kanalvermittelt (circuit switched) überträgt, waren für einen Paketdienst signifikante Modifikationen erforderlich.

ETSI 1997: Standardisierung eines paketorientierten Dienstkonzeptes im GSM Phase 2+ (2.5G): **GPRS (General Packet Radio Service)**. Mit spezieller Kanalkodierung sind Spitzenraten von  $8 * 21,4 = 171,2$  kbit/s möglich. Im Rahmen der Standardisierung von *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE) wird GPRS-Standard zum Enhanced GPRS-Standard (**EGPRS**) erweitert. Mittels neuer Modulation und Kanalkodierung  $\rightarrow$  max. Übertragungsrate von  $8 * 43,2 = 345,6$  kbit/s.

## **2. Advanced Speech Call Items (ASCI)**

Neben neuen Datendiensten auch neue Sprachdienste (z.B. Gruppenkommunikation) erforderlich (bisher nur in Bündelfunksystemen angeboten). Seit 1994 werden auf Betreiben der internationalen Eisenbahnvereinigung UIC (Union des Chemins de Fer) unter der Bezeichnung **ASCI (Advanced Speech Call Items) Gruppen- und Rund-Funkdienste** mit schnellem Verbindungsaufbau und Prioritätensteuerung innerhalb GSM Phase 2+ bearbeitet.

Im Bereich Deutsche Bahn 8 verschiedene inkompatible Funkssysteme (2000), analog in Europa. Triebwagen verwenden im nationalen und internationalen Zugverkehr unterschiedliche Kommunikationssysteme. Unter Federführung der UIC wird ein *einheitliches europäisches Betriebsfunksystem* entwickelt: European Train Control System (ETCS). GSM-Funkkanal nur für max. Terminalendgeschwindigkeit von 250 km/h spezifiziert, Versuche haben 300 km/h bestätigt. Betriebsfunk der DB wird unter der Bezeichnung DIBMOF (diensteintegrierender Bahnmobilfunk) entwickelt. Kommunikationsplattform: GSM-Rail (GSM-Rail-Netz liegt neben dem GSM-Erweiterungsband).

Um Anforderungen des UIC-Betriebsfunks zu genügen, müssen Gruppen- und Rundfunkrufe mit schnellem Verbindungsaufbau in das GSM integriert werden, ergänzt durch eine aus dem ISDN abgeleitete Prioritätensteuerung. Standardentwürfe der ETSI umfassen die Spezifikationen von Voice Broadcast Service (VBS), Voice Group Call Service (VGCS), Enhanced Multi-Level Precedence and Pre-Emption (eMLPP).

### **Voice Broadcast Service**

Sprach-Rundfunkdienst (Voice Broadcast Service): damit können Teilnehmer des Mobilfunk- und Festnetzes eine Nachricht an mehrere sog. *Zuhörer* senden.

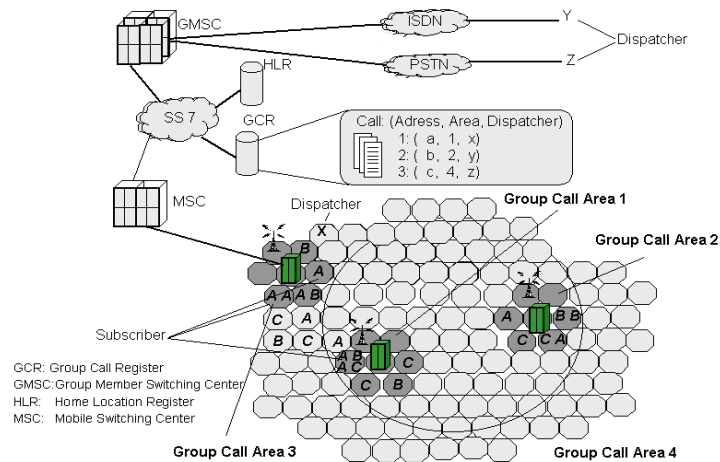


Abbildung 8.17: Voice Broadcast Service

*Logisches Konzept der erweiterten Sprachdienste:* Wird ein Rundfunkruf von einer Mobilstation initiiert, wird die Identität der entsprechenden Zelle und die angeforderte Gruppenidentität zum Gruppenrufregister (*Group Call Register, GCR*) des zugehörigen MSC weitergeleitet. Bei einem aus dem Festnetz initiierten Ruf wird entsprechende Teilnehmer- und angeforderte Gruppenidentität zum GCR übertragen. GCR sendet darauf hin eine Liste der Zellen zurück, in denen der Ruf gemäß der Gruppenzusammensetzung und dem Aufenthaltsort der Gruppenmitglieder ausgestrahlt werden soll. Verantwortliches MSC leitet Liste zu den betreffenden MSCs weiter. Diese instruieren die zugehörigen BSCs, einen Rundfunkkanal in jeder betroffenen Zelle einzurichten und auf neu definiertem Signalisierkanal eine Rufbenachrichtigung (*Notification*) auszusenden. In GSM-Empfehlung 08.58 wurden die GSM-Steuerkanäle um die *Notification Common Control Channel (NCCH)* erweitert.

### Voice Group Call Service

Vom ASCII unterstützter *Sprachgruppenruf*, sog. *Voice Group Call Service (VGCS)*. Ermöglicht Festnetz- oder Mobilstationen, einen Gruppenrufkanal aufzubauen, auf dem Gruppenmitglieder hören oder übertragen können. Nachdem Rufinitiator seine Nachricht übermittelt hat, gibt er Kanal frei und wechselt in *Zuhörermodus*. Einteilung der Adressatengruppe des VGCS wie beim VBS in Mobilstationen, die der Gruppe angehören und sich in einem vordefinierten geographischen Gebiet aufhalten, sowie eine fest definierte Gruppe von Festnetzstationen.

Sobald kein Gruppenrufteilnehmer spricht, kann jeder Teilnehmer die Zuweisung des Kanals beantragen. Bei erfolgreicher Zuweisung erhält er *Senderecht*, bis er Kanal frei gibt und wiederum in den *Zuhörermodus* wechselt. Rundfunkruf wird i.d.R. explizit durch den Initiator beendet. Falls Verbindung durch Störung unterbrochen, kann diese nicht erkannt werden  $\rightarrow$  Rufabbau erfordert beim Gruppenruf die Funktion *Voice Activity Detection (VAD)*.

### eMLPP: Dienst zur Prioritätensteuerung

Prioritätenstrategie der ASCII ist von dem im SS7 verwendeten *Multi-Level-Precedence and Pre-Emption-Schema (MLPP)* abgeleitet und als enhanced Multi-Level Precedence and Pre-Emption (eMLPP) in GSM eingeführt. MLPP definiert eine 5-stufige Priorität, eMLPP 7 Prioritätsklassen. Zusätzlich zu den 5 Klassen des MLPP (0 ... 4) sind 2 weitere Klassen A und B für ausschließlich netzinterne Vorgänge festgelegt (z.B. Konfiguration der Gruppen- und Rundfunkrufe VGCS und VBS). Rufe mit Priorität A oder B können nur lokal innerhalb des Versorgungsbereiches einer MSC benutzt werden. Falls diese global verwendet werden sollen (z.B. GSM-Ruf, ISDN), wird die Prioritätsklasse 0 der MLPP-Prioritäten zugeordnet. Die einem Teilnehmer zugewiesene maximale Priorität wird mit dem Dienstanbieter bei Vertragsabschluss ausgehandelt und auf der SIM-Karte gespeichert.

### 3. High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)

#### Kanalbündelungstechnik

Mit Hilfe des hochratischen kanalvermittelten Datendienstes HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) können einer Mobilstation innerhalb eines 200 kHz Frequenzkanals für die Dauer der Übertragung gleichzeitig mehrere Vollratenverkehrskanäle (TCH/F9,6) zugewiesen werden. Bei paralleler Nutzung aller 8 Zeitschlitze sind damit, abhängig vom verwendeten Trägerdienst, unter der Voraussetzung GSM-konformer TCH/F9,6-Codierung, Datenraten bis zu 76,8 kbit/s erreichbar. Eine parallele Nutzung von mehr als 4 Kanälen erfordert aufwendige Sende- und Empfangseinrichtungen in den Mobilstationen. Im Standard war anfangs die Anzahl vorläufig auf 2 Kanäle begrenzt, ab 2004 5 Kanäle eingerichtet. HSCSD entspricht einer Leitungsvermittlung mit Kanalbündelung.

#### Logische Architektur

Im GSM sind die DÜ-Funktionen i.w. in der Endgeräteanpassungsfunktion (Terminal Adaption Function, TAF) der MS sowie der Netzübergangsfunktion (Interworking Function, IWF) der MSC angesiedelt. Prinzipiell ist im HSCSD diese funktionelle Aufteilung beibehalten. Gleichzeitige Nutzung mehrerer Verkehrskanäle erfordert i.w. nur eine zusätzliche Splitting/Combining-Funktion in den Komponenten der MS (TAF) bzw. MSC (IWF).

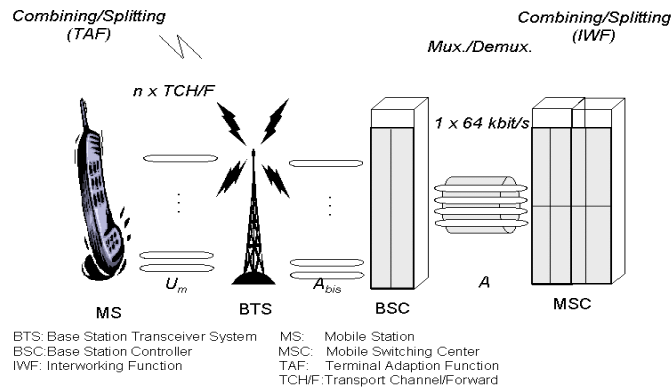


Abbildung 8.18: Architektur HSCSD

Aus logischer Sicht besteht zwischen Mobilstation (MS) und Mobile Switching Center (MSC) lediglich *eine* Verbindung. Das Segmentieren und Wiederherstellen basiert daher auf einer fortlaufenden Nummerierung der einzelnen Datenrahmen. Die an der Funkschnittstelle verwendeten Zeitschlitze am  $A_{bis}$ -Bezugspunkt zwischen BTS und BSC werden transparent abgebildet. Am A-Bezugspunkt (bzw. E-Bezugspunkt zwischen zwei MSCs) werden die HSCSD-Kanäle dann auf eine 64 kbit/s Verbindung gemultiplext.

#### Funkschnittstelle

An der Funkschnittstelle kann eine HSCSD-Verbindung aus bis zu 8 Verkehrskanälen (TCH) bestehen (*Multislot Assignment, MSA*). Alle Kanäle einer HSCSD-Verbindung verwenden gleiches Frequenzsprungverfahren und gleiche Trainingsfrequenz, aus Sicherheitsgründen jedoch eine separate Verschlüsselung pro Kanal. Kanalcodierung, Interleaving und Ratenadaptation der bestehenden Verkehrskanäle werden beibehalten, um Implementierung gering zu halten. Jedem Teilkanal ist ein SACCH (*Slow Associated Control Channel*) zugeordnet  $\rightarrow$  ermöglicht individuelle Sendeleistungskontrolle und verbessert Interferenzpegel. Zeitliche Ausrichtung erfolgt nach Zeitschlitz 0. Damit werden die *Idle* TDMA-Rahmen im 26er Mehrfachrahmen nicht verwendet, so dass eine Synchronisierung mit den Nachbarzellen ermöglicht wird. Pro HSCSD-Verbindung existiert nur ein schneller beigeordneter Steuerkanal (*Fast Associated Control Channel, FACCH*), der als Haupt-HSCSD-Teilkanal (*Main HSCSD Sub Channel, MHCH*) bezeichnet wird.



## Trägerdienste

Im HSCSD werden transparente und nichttransparente Trägerdienste unterstützt (in Anlehnung an bestehende GSM-Trägerdienste). Transparenter Dienst garantiert bei schwankender Dienstgüte eine gleich bleibende Datenrate. Falls die Dienstgüte unter einen Schwellwert sinkt, kann die Anzahl der zugewiesenen Kanäle erhöht werden. Nichttransparenter Trägerdienst garantiert eine gleichbleibende Dienstgüte bei schwankendem Durchsatz.

## Signalisierung

Beim HSCSD können höhere Blockier-Wktn. auftreten, da parallele Verkehrskanäle gleichzeitig belegt werden. Im bestehenden GSM existiert für jede Datenrate ein Trägerdienst. Mit dem HSCSD je nach Konfiguration verschiedene variable Datenraten realisierbar. Um nicht weitere Trägerdienste je Datenrate zu definieren, wird beim HSCSD die Datenrate nur als Dienstgüteparameter betrachtet  $\leadsto$  Konzept des *Flexible Bearer Services* (FBS): gewünschte Datenrate (*Desired Number of Channels*, DNC) bzw. erforderliche Datenrate (*Required Number of Channels*, RNC).

Einer Mobilstation kann jede Datenrate zwischen gewünschter und erforderlicher Datenrate zugewiesen werden. Damit im Handover geringere Blockier-Wkt. erreichbar. Mit FBS-Konzept kann die Übertragung aufrecht erhalten werden, wenn während des Handovers die Zielzelle nicht über genügend freie Kanäle verfügt, solange in Zielzelle ausreichend Kanäle für die geforderte Datenrate verfügbar sind.

### 8.1.8 General Packet Radio Service (GPRS)

#### Paketdatenfunkdienst GPRS (MFN 2.5G)

Im Rahmen der Weiterentwicklung des GSM Phase 2+ wurde von ETSI ein paketorientiertes Dienstkonzept zur Datenübertragung entwickelt: GPRS (General Packet Radio Service): sog. MFN 2.5G. Erste Vorschläge für einen Paketdatendienst im GSM bereits 1991 publiziert. Standardisierung des GPRS 1997 abgeschlossen.

Einführung GPRS-Dienst in Deutschland 2.Halbjahr 2000 (Telekom: 40 - 115 kbit/s). Motivation: Erwartete Akzeptanz durch die Mobilfunkteilnehmer - Nutzungskosten (Anzahl der übertragenen Pakete statt Verbindungsdauer) und Dienstgüte. Prämissen: bestehende GSM-Komponenten nur gering zu verändern und neuen Dienst auf den vorhandenen Tele- und Trägerdiensten aufzubauen.

GPRS bildet Basis für Datendienste im GSM und UMTS (Ergänzung durch HSDPA). Weiterhin: GPRS-Standard im Rahmen der Standardisierung von *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* zum Enhanced GPRS-Standard (EGPRS) erweitert .

#### Dienstmerkmale

##### Diensttypen

Regelt Datenübertragung zwischen Dienstzugangspunkt im Festnetz und in Mobilstation:

- Punkt-zu-Punkt (*Point-to-Point*, PTP): Übertragung einzelner Nachrichtenpakete zwischen 2 Benutzern.
- Punkt-zu-Mehrpunkt (*Point-to-Multipoint*, PTM): Übertragung von Datenpaketen zwischen einem Dienstbenutzer und einer von ihm spezifizierten Gruppe in einer Region.

##### Dienstgüte

GPRS sieht Dienstgüteprofile (QoS Profile) vor, die mit jedem PDP-Kontext (*Packet Data Protocol*) verknüpft sind, wie Dringlichkeit, Verzögerung, Verlässlichkeit, Durchsatz. Dazu GPRS-spezifische Protokolle: GPRS Tunnel Protocol (GTP), Logical Link Control (LLC), Radio Link Protocol (RLP) sowie Realtime (RT) und Non Realtime (NRT).

##### Parallele Dienstbenutzung

- Während GPRS-Sitzung können kanalvermittelte Dienste (Sprache, Daten) genutzt werden, analog GPRS-Daten während Telefongespräch gesendet/empfangen werden.

- Zusätzlich SMS-Dienst (Short Message Service): *Mobile Originated / Terminated*. SMS-Nachricht wird je nach Lastsituation verzögert oder mit niedrigerer Datenrate übertragen.

### Dienste im GSM-Netz

Drahtloser Paketdatendienst GPRS (General Packet Radio Service) erst spät in die GSM-Norm aufgenommen. Gesamtes GSM-Netz somit sowohl für Telefoniedienst als auch Datenübertragung (z.B. Internet-Dienste) geeignet (parallele Dienstnutzung):

- leitungsvermittelter Modus (Teledienste, leitungsvermittelte Datendienste),
- Paketmodus (Datenübertragung, Internet-Applikationen).

Der für GPRS bestimmte Teil des Kernnetzes (SGSN, GGSN) besteht aus anderen Teilen als der leitungsvermittelte Teil (u.a. BTS, BSC). Von beiden Teilen gemeinsam genutzt: HLR, EIR, AuC. Damit Flexibilität erreicht, keine Auswirkungen auf den jeweiligen anderen Teil (z.B. keine Unterbrechung der Leistungen). Allerdings z.T. Verdopplung von Kernnetz-Funktionalitäten, beispielsweise im Mobilitätsmanagement.

Symmetrien zwischen den Elementen des leitungsvermittelten Modus und des Paketmodus:

- GMSC und GGSN haben die Aufgabe, die Verbindung zu externen Netzen herzustellen:
  - \* GMSC (Gateway MSC) zum öffentlichen Telefonnetz,
  - \* GGSN (Gateway GPRS Support Node) zum Internet.
- MSC/VLR und SGSN verwalten im jeweiligen Modus die Informationen über die Teilnehmerlokalisierung
  - \* MSC (Mobile-services Switching Center) mit VLR (Visitor Location Register) für Teilnehmer bei Circuit Switching Mode,
  - \* SGSN (Serving GPRS Support Node) für Teilnehmer bei Packet Switching Mode.

Netzarchitektur (leitungsvermittelt und Paketmodus)

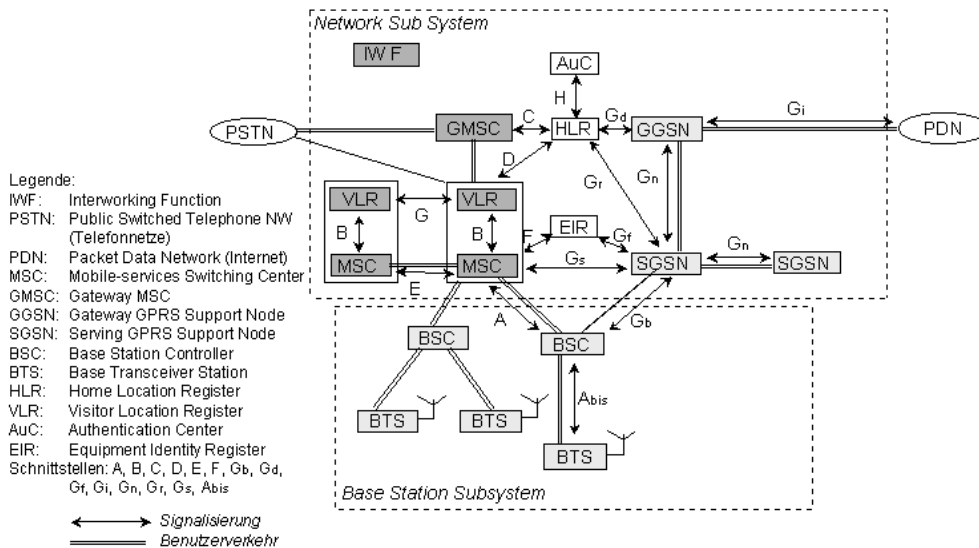


Abbildung 8.19: GSM/GPRS-Netz (Leitungs- und Paketvermittlungsdienst)

### Bestandteile des GSM/GPRS-Kernnetzes

**HLR (Home Location Register):**

Datenbank zur Verwaltung der Teilnehmerinformationen. Je Teilnehmer

- Art und Umfang der abonnierten Dienste, maximale Übertragungsrate,
- Identifikation des Endgerätes: IMSI (*International Mobile Station Identity*),
- Rufnummer des Teilnehmers: MSISDN (*Mobile Station International ISDN Number*).
- VLR-Nummer, unter der der Teilnehmer registriert ist.

*VLR (Visitor Location Register):*

Mit MSC verbundene DB zur Registrierung der sich in bestimmter geografischer Zone (LA: Location Area) aufhaltenden Teilnehmer. Registrierungen bei Ortwechsel erforderlich. Daten ähnlich wie HLR. Zusätzlich

- Temporäre Identität des Endgerätes (TMSI) zum Schutz gegen mißbräuchliche Verwendung der IMSI,
- aktueller Standort (LA) des Teilnehmers.

*AuC (Authentication Center):*

Umsetzung von Sicherheitsfunktionen bei Verbindungsaufbau (sonst Anruf-Zurückweisung)

- Authentisierung der IMSI des Teilnehmers,
- Verschlüsselung der Kommunikation.

AuC ist mit HLR gekoppelt und enthält je Teilnehmer einen Identifikationscode.

*EIR (Equipment Identity Register):*

- Zusatzeinrichtung zur Diebstahlsicherung mobiler Endgeräte. DB mit Liste der verbotenen Mobiltelefone („schwarze Liste“): Abfrage bei Verbindungsaufbau, ggf. keine Verbindung.
- Voraussetzungen: TN muss Verlust melden, Betreiber aktualisiert DB.

*MSC (Mobile-services Switching Center) und GMSC (Gateway MSC):*

MSC: Steuerung des Verbindungsaufbaus zum Mobilgerät, Handover-Entscheidungen.

GMSC: Steuerung Verbindung zwischen MSC und öffentlichem Telefonnetz (bei ankommenden Anruf -> GMSC -> HLR-Abfrage -> MSC).

*IWF (InterWorking Function):*

- Funktionen zur Verbindung zwischen GSM-Netz und anderen Netzen: andere MFN, Telefonnetze (PSTN, ISDN), Datennetze (TCP/IP).
- Konvertierung zwischen den Transferprotokollen. Verwendung RLP (Radio Link Protocol) für Datentransfer im nicht-transparenten Modus.

*SGSN (Serving GPRS Support Node):*

- Übernimmt im GPRS die Aufgabe wie VLR im GSM, d.h. die Lokalisierung der Teilnehmer einer RA (Routing Area). RA entspricht der LA im GSM.
- SGSN führt (wie VLR) temporäre Identitätszuweisung durch: P-TMSI (Packet-TMSI).

*GGSN (Gateway GPRS Support Node):*

- Verbindung zu externen Paketvermittlungsnetzen (Internet, Intranet, ...).
- Entspricht im GPRS-Teil der Funktion des GMSC.

## **Logische Architektur**

Die gegebene GSM-Netzarchitektur wird für den Paketdatendienst um drei Netzelemente erweitert:

*Gateway GPRS Support Node (GGSN):* dient als Schnittstelle zu externen Netzen. Hier Paketdatenprotokoll-Adressen ausgewertet und auf die IMSI (International Mobile Subscriber Identity) der jeweiligen Mobilstation umgesetzt. Datenpakete werden entkapselt und entsprechend den Optionen des Netzprotokolls an die nächste Instanz der Netzschicht versendet.

*Serving GPRS Support Node (SGSN):* dient zur funktionalen Unterstützung der Mobilstationen. Hier werden z.B. die Adressen der Teilnehmer eines Gruppenrufes aus den *GPRS Registern* (GR) abgefragt. Funktionen des SGSN und des GGSN können auch in einer Einheit realisiert sein.

*GPRS-Register (GR):* Alle GPRS-bezogenen Daten werden im *GPRS-Register* (GR) gespeichert, das als Teilbereich des GSM-HLR anzusehen ist.

Weitere Anpassungen in den Mobilgeräten (GPRS-fähig, Protokollstack) und in den BTS.

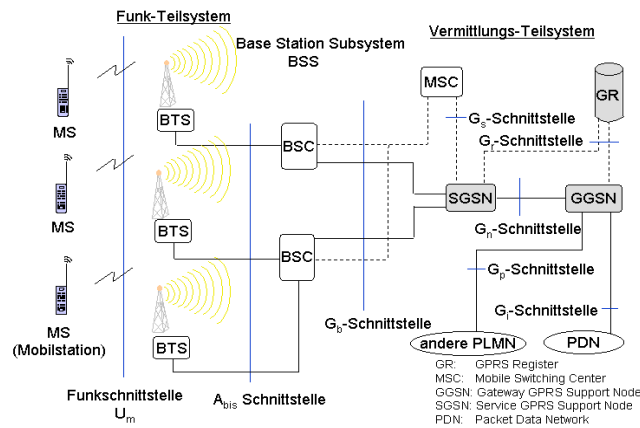


Abbildung 8.20: Logische Architektur GPRS

*Schnittstellen*

Mit der Erweiterung des GSM-Netzes um die GPRS-spezifischen Blöcke wurden auch neue Schnittstellen und Referenzpunkte definiert. Jedes GPRS PLMN hat zwei Zugangspunkte:

- Funkschnittstelle  $U_m$  für den Zugang der Mobilstation und
- Referenzpunkte R und S zum Senden bzw. Empfangen von Nachrichten.

Der eigentliche Datenverkehr wird im GPRS über den SGSN abgewickelt, die MSC dient nur der Signalisierung. Zuordnung SGSN <-> MSC: Jeder SGSN wird eine MSC zugeordnet oder eine SGSN versorgt mehrere MSCs bzw. es werden eigene Versorgungsbereiche für die SGSNs definiert, die weitgehend unabhängig von denen der MSCs sind.

*Wegwahl und Mobilitätsverwaltung*

Bei einer von MS initiierten Übertragung entkapselt SGSN die eingehenden Pakete, wertet Adressinformationen aus und routet sie zum entsprechenden GGSN, der die Weiterleitung zum richtigen *Packet Data Network* (PDN) initiiert. Im jeweiligen PDN werden dann netzspezifische Routingprozeduren verwendet, um die Pakete zur Partnerinstanz weiterzuleiten.

Pakete jeder Partnerinstanz werden gemäß Zieladresse durch das PDN zum zugeordneten GGSN geroutet. Beim korrespondierenden SGSN werden die zugehörigen Tunnelinformationen abgefragt, das Paket gekapselt und zum SGSN getunnelt, der es zur MS weiterleitet.

Verwendung 2er verschiedener Paketkapselungsschemata: 1) zwischen den GGSN werden Pakete mittels eines GPRS-netzweit einheitlichen Tunnelprotokolls gekapselt ~> dadurch beliebige Paketdatenprotokolle (*Packet Data Protocol*, PDP) verwendbar. 2) Kapselung zwischen MS und SGSN wird benutzt, um Schicht 2 von Vermittlungsprotokollen zu entkoppeln.

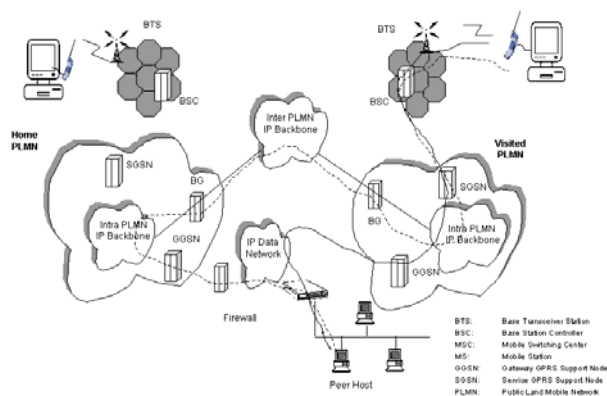


Abbildung 8.21: Routing in GPRS (Beispiel)

*Kontextaktivierung (Einbuchen, Identity)*

Bevor eine MS Daten versendet, muss sie sich z.B. nach Einschalten in Paketdatendienst *einbuchen*. Mit dieser zwischen MS und SGSN ausgeführten Attachment Procedure wird logi-

scher Verbindungskontext aufgebaut ~> damit wird der MS eine eindeutige temporäre Verbindungskennung (Temporary Logical Link Identity, TLLI) zugewiesen. Nach Einbuchung können mit der SGSN ein oder mehrere Routingkontexte für ein oder mehrere PDP ausgehandelt werden. Äquivalent zum bestehenden GSM gibt eine Cipherring Key Sequence Number an, wie die Benutzerdaten *verschlüsselt* werden. Zur Zugangsüberprüfung der MS zum jeweiligen PDN wird *GPRS-Register* (GR) abgefragt (dabei passende GGSN-Adressen erhalten). Ist Zugang erlaubt, wird GGSN aufgefordert, seinen Routingkontext zu aktualisieren. Alle GPRS-Instanzen einigen sich über jeden Kontexteintrag, bevor Paketdatendienst angefordert werden kann. Während GPRS-Sitzung werden Vereinbarungen ständig aktualisiert. Aufenthaltsort einer MS wird von Mobilitätsverwaltung gemäß Zustandsmodell verwaltet.

### Protokollarchitektur GPRS

Als Vermittlungsprotokoll in der MS bzw. GGSN wird in Abhängigkeit von der Festnetzumgebung auf existierende Standardprotokolle zurückgegriffen (Interworking mit TCP/IP, CLNP (*Connectionless Network Protocol*) und X.25).

Übertragungsprinzip: alle Datenpakete von bzw. zu externen Netzen werden innerhalb eines GPRS-Backbone-Netzes gekapselt übertragen. Übertragung der gekapselten Datenpakete und Signalisierinformationen zwischen SGSN und GGSN mit Hilfe eines Tunnelprotokolls (*GPRS Tunnel Protocol, GTP*). Es realisiert die Interworking-Funktion zwischen den GSM- und festnetzspezifischen Netzprotokollen. GPRS-Backbone-Protokoll: IPv6. Festnetzprotokolle der Sicherungs- und Bitübertragungsschicht an Gn-Schnittstelle zwischen SGSN und GGSN sind nicht spezifiziert. Für Funktionalität des GPRS sind diese Protokolle uninteressant ~> damit Standardprotokolle verwendbar.

Zwischen MS und SGSN wird in untersten Teilschicht der GSM-Vermittlungsschicht das *Subnetwork Dependent Convergence Protocol (SNDCCP)* eingesetzt, das mehrere Vermittlungsschicht-Verbindungen auf eine virtuelle Sicherungsschicht-Verbindung multiplext und Verschlüsselungs- und Datenkompressionsalgorithmen anbietet.

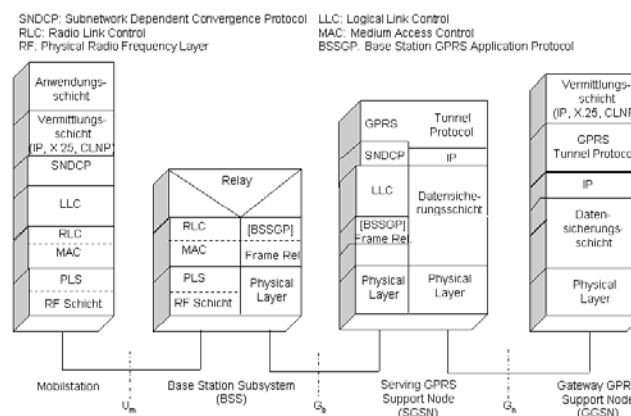


Abbildung 8.22: Protokollstapel GPRS

Das *Base Station Subsystem GPRS Application Protocol (BSSGP)* an der  $G_b$ -Schnittstelle entspricht dem aus GSM bekannten BSSMAP und stellt i.w. die gleichen Funktionen zur Verfügung. An  $G_b$ -Schnittstelle wird auf der Sicherungsschicht ein *modifiziertes Frame-Relay-Verfahren* eingesetzt, um Verzögerungen zu minimieren.

Grundidee des Paketdatendienstes: ein physikalischer Kanal ist mehreren Benutzern im Vielfach zur Verfügung zu stellen, um Kapazität effizient auszunutzen ~> deshalb Sicherungsschicht an der Schnittstelle  $U_m$  in 2 Teilschichten unterteilt:

- logische Funkverbindungsteilschicht (*Radio Link Control, RLC*) und
- Medienzugriffsteilschicht (*Medium Access Control, MAC*).

*Protokollarchitektur der Funkschnittstelle  $U_m$  (im Paketmodus):*

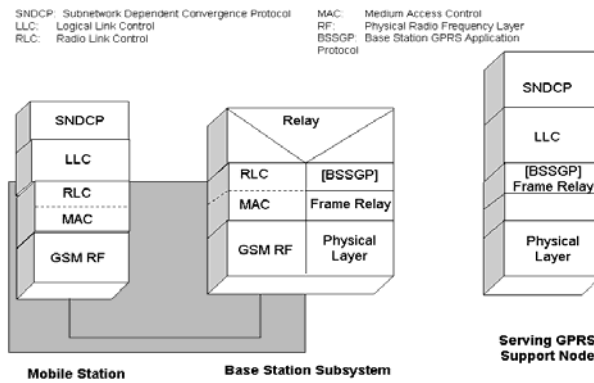


Abbildung 8.23: GPRS Protokolle an Funkschnittstelle

RLC-Teilschicht stellt Dienste zur Verfügung, die zuverlässige logische Verbindung zwischen MS und BSS gewährleisten, während die MAC-Teilschicht den Zugriff auf das Funkmedium steuert. Der generelle Ansatz, den Paketdatendienst in das GSM zu integrieren, besteht darin, aus dem Pool der vorhandenen physikalischen GSM-Kanäle bestimmte für den Paketdatendienst zu reservieren und diese in logische Kanäle zu unterteilen.

**LLC-Teilschicht:**

Sicherung der Teilnehmerdaten zwischen MS und SGSN wird von einer separaten logischen Verbindungssteuerungs-Teilschicht (*Logical Link Control, LLC*) übernommen. LLC ist für den Transport der Datenpakete der Vermittlungsschicht zwischen MS und SGSN verantwortlich. Neben Punkt-zu-Punkt- wird auch Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation unterstützt. Die wesentlichen Funktionen sind Flußsteuerung und Fehlerkorrektur anhand der bekannten ARQ- und FEC-Mechanismen. Das Protokoll der LLC-Teilschicht ist stark angelehnt die im GSM benutzte Prozedur Link Access Procedure on the D-channel ( $LDAP_m$ ).

**GPRS-Funkschnittstelle  $U_m$**

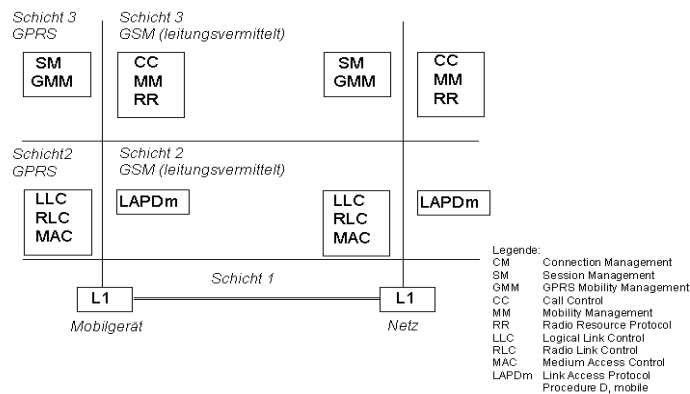


Abbildung 8.24: GSM/GPRS-Protokolle an Funkschnittstelle (Überblick)

*Protokolle der Funkschnittstelle  $U_m$*

**Schicht 1:**

Gemischter TDMA/FDMA-Zugangsmodus auf Basis der GMSK-Modulation (oder 8-PSK bei EDGE).

**Schicht 2:**

Realisierung eines zuverlässigen Datentransports zwischen zwei Netzkomponenten:

- *Leitungsvermittelt:* LAPDm (GSM-Anpassung nicht in UMTS-Norm übernommen).
- *GPRS:* erlaubt Aufteilung mehrerer GSM-Funkressourcen auf mehrere Datenströme einer Anwendung ~> 3 Subschichten:

LLC (Logical Link Control): gesicherter Informationstransport zw. Mobilgerät und SGSN.

RLC (Radio Link Control): Segmentierung/Assemblierung der Pakete zw. LLC und Um.

MAC (Medium Access Control): Multiplexing verschiedener Datenströme auf die GPRS-Kanäle unter Berücksichtigung relativer Prioritäten.

Anm.: Schicht 2 / GPRS entspricht in vielen Punkten dem UMTS-Zugangsnetz (UTRAN) mit einheitlichen Funkprotokollen für leitungsvermittelten Modus und Paketmodus.

*Schicht 3:*

Protokolle für Mobilitätsmanagement und Verbindungsaufbau ~> Subschichten.

RR (Radio Resource) Protocol: Verwaltung der einem Mobiltelefon im leitungsvermittelten Modus an Funkschnittstelle zugewiesenen Ressourcen, incl. Handover.

Mobilitäts-Management-Subschicht:

- Management der Bewegungen des GSM-Gerätes im Standby-Modus, d.h. Registrieren des vom Mobilgerät angezeigten Wechsels der Location Area,
- Sicherheit: Teilnehmerauthentisierung, Verschlüsselung, Endgeräteidentifikation (IMEI).

Dazu 2 Protokolle: MM (Mobility Management) für leitungsvermittelten Modus, GMM (GPRS MM) für Paketmodus.

Subschicht für Verbindungsaufbau (Anrufverwaltung) ~> 2 Protokolle

- CM (Connection Management) im *leitungsvermittelten* Modus: Auf/Abbau eines Anrufs, Verwaltung von Zusatzdiensten (Aktivierung, Abfrage), Senden/Empfangen von SMS.
- SM (Session Management) im *Paketmodus*: Funktionen zur Aktivierung/Deaktivierung des PDP-Kontextes (Packet Data Protocol) für Paketdatenaustausch.

### **Anrufmanagement im GSM/GPRS**

*Anrufe im leitungsvermittelten Modus (Circuit-GSM)*

Nutzung eines GSM-spezifischen Signalisierungsprotokolls MAP (Mobile Application Part) auf Basis des Signalisierungssystems SS.7 (Signalling System No. 7) ~> 3 Subschichten:

- MTP (Message Transfer Part): Verlässlicher Transfer über Signalisierung höherer Schichten.
- SCCP (Signalling Connection Control Part): Austausch von Signalen auf internationaler Ebene unter Verwendung einer globalen Adressierung.
- TCAP (Transaction Capability Application Part): Verwaltung der Transaktionen zwischen 2 Netzknoten.

*Sprachkodierung:*

Kodierung der Sprache ist wichtige Funktion mobiler Teledienste.

Im Festnetz: Digitalisierung der Sprache, Abtastung (8 kHz, 8-bit-Werte), PCM ~> Übertragungsgeschwindigkeit 64 kbit/s, Kodierung (Verfahren A oder m).

Verringerung vü durch Sprachkodierungsfunktionen in Mobiltelefonen und im GSM-Netz. Reduktion von 64 kbit/s auf 16 kbit/s (bei Vollkodierung) mit akzeptabler Tonqualität. Dazu verschiedene Sprachkodierungs-Algorithmen verfügbar. GSM-Norm: Sprachkodierungsfunktion ist im BSS anzuordnen, aber herstellerabhängige Realisierung möglich. Häufige Lösung: zwischen BSC und MSC, reduziert die Datenrate im GSM-Zugangsnetz auf 16 kbit/s pro Kanal.

*Anrufe im Paket-Modus*

Im Gegensatz zum leitungsvermittelten Modus verwendet GPRS im Kernnetz bei Online-Betrieb keine Transferprotokolle. GPRS-Anrufe verwenden 2 Kommunikationstunnel:

1. Tunnel für Transfer der Benutzerdaten vom Endgerät zum SGSN.
2. Tunnel zum Transfer der Benutzerdaten vom SGSN zum GGSN, der Zugangsstelle zum IP-Netz. Hierbei Verwendung GTP-Protokoll (GPRS Tunneling Protocol), das auf UDP oder TCP aufsetzt (Anm.: GTP für Anwendung im UMTS geringfügig modifiziert).

Tunnel ~> Daten in Protokoll verpackt: GTP zw. SGSN – GGSN, SNDCCP zw. MS – SGSN. SGSN und GGSN somit Aufgabe wie Foreign Agents und Home Agents bei Mobile IP.

GGSN (Home Agent) entspricht dem Heimnetz des Anwenders, SGSN (Foreign Agent) entspricht dem besuchten Fremdnetz. Wenn Festnetzteilnehmer ein Paket an einen mobilen GPRS-Teilnehmer sendet, wird es zum GGSN geroutet. GGSN verpackt das Paket und routet es zum aktuellen SGSN des Mobiltelefons. Verpackung erlaubt Trennung des Routens der Informationspakete. Verpackungsprotokoll GTP basiert auf Protokolle vom Typ TCP/IP oder UDP/IP, die Schichten 1 und 2 sind in der Norm nicht spezifiziert.

In UTRAN-Funkschnittstelle sind LLC (Fehlererkennung, Übertragung, Bestätigung der Frames, Verschlüsselung) und SNDCP (Funkverpackung, Kompression der IP-Header) zwar GSPR-spezifisch, aber modifiziert.

### **8.1.9 Netzübergangsfunktionen (IWF) und Sicherheitsaspekte**

#### **Netzübergangsfunktion (Interworking Function, IWF)**

IWFs ermöglichen Verbindung zw. entsprechenden Diensten in GSM- und Fest-Netzen und zu Teldiensten. Folgende Übergänge sind in den GSM-Empfehlungen definiert bzw. ergänzt:

- Übergang zum öffentlichen Fernsprechnetz (PSTN),
- Übergang zum Digitalnetz ISDN,
- Übergang zu GSM-Mobilfunknetzen,
- Übergang zum öffentlichen paketvermittelten Datennetz (X.25),
- Übergang zum Paketvermittlungsnetz IP,
- Übergang zu öffentlichen und weiteren kanalvermittelten Datennetzen (MFN).

Weiterhin: Netzübergangsfunktionen für Teledienste (u.a. Videotex, Telefax).

Auswahl:

#### *Übergang zum öffentlichen Fernsprechnetz:*

Telefonnetze (Public Switched Telephone Network, PSTN) der CEPT-Länder stark unterschiedlich, IWF abhängig vom entsprechenden PSTN. Für MFN sind die IWF's detaillierter spezifiziert als für PSTN. Problematisch: bei von PSTN ankommenden Rufen kann örtliche Vermittlungsstelle ggf. den Dienste nicht erkennen. Zur Unterscheidung der Verbindungstypen sind 2 Methoden ausgewählt, damit MFN die korrekten IWFs auswählen kann:

- Vergabe separater Nummern (Mobile Subscriber ISDN, MSISDN) für jeden Dienst an jeden MFN-Teilnehmer, die bestimmte Teledienst repräsentieren. MSISDN zusammen mit MSRN (Mobile Station Roaming Number) im HLR gespeichert.
- Gerufener Mobilteilnehmer übermittelt Dienstanforderung in der Anrufbestätigung (Call Confirmation Message). Obligatorisch für alle Netze. Dann wird dem Mobilteilnehmer die Rufanforderung (Call Setup Message) übermittelt. Dienstinformation wird vom Mobilteilnehmer in seiner Anrufbestätigung gesendet. Erst dann wählt MSC/IWF die geeigneten Betriebsmittel aus und stellt Verbindung her.

#### *Übergang zum ISDN*

Übergänge zwischen ISDN und GSM-PLMN durch 3 Trägerdienste unterstützt:

Kanalvermittelte Übertragung (3,1 kHz Audio): Gleiche Lösungen wie für PSTN-Übergänge.

Hauptunterschied: verfügbare Signalsierfähigkeit des Festnetzes zur Auswahl der IWFs und Dienste.

Kanalvermittelter, uneingeschränkter digitaler Trägerdienst: IWF erlaubt Übergang zur kanalvermittelten Datenübertragung und zum ISDN (mit Übertragungsraten bis zu 9.6 kbit/s). Für transparente Datendienste werden nur minimale IWFs benötigt, da die MSC bereits 64 kbit/s anbieten; für nichttransparente Datendienste zusätzliche IWFs benötigt (u.a. ordnungsgemäßer Abschluss des RLP).

Paketvermittelte Übertragung: Da im ISDN der Zugang zu Paketdiensten über die S-Schnittstelle erfolgt (entweder über B-Kanal (64 kbit/s) oder D-Kanal (16 kbit/s)), das GSM jedoch nur über B<sub>m</sub>- oder L<sub>m</sub>-Kanäle verfügt, passen die Datenraten nicht ~> Ratenanpassung erforderlich.



### Sicherheitsprozeduren

Offener Netzzugang über Funkschnittstelle  $\leadsto$  erhöhte Gefahr gegenüber Abhören und unbefugte Nutzung. Schutz des Zugangs und der Nutzung i.w. gestützt auf:

Nachweis der Identität des Mobilteilnehmers (*Identification*) durch Authentisierung, Verschlüsselung der Nachricht (incl. Signalisierdaten) und Anonymisierung der Identität von Mobilteilnehmern durch zeitlichen Wechsel der Funkkennung.

Digitale Nachrichtenübertragung des GSM erlaubt Einsatz kryptographischer Verfahren. Speicherung geheimer Kommunikationsdaten beim Mobilteilnehmer erfolgt beim GSM in einem nicht manipulierbaren Modul (SIM: Subscriber Identity Module).

### Authentisierung

Dient zum Nachweis der Identität des Mobilteilnehmers. Teilnehmer erhält bei Einrichtung des Anschlusses zum MFN zugewiesen (gespeichert im SIM):

- eine international eindeutige Teilnehmerkennung (IMSI: International Mobile Subscriber Identity),
- einen geheimen Authentisierungsschlüssel  $K_i$ ,
- den geheimen Algorithmus A3.

Zur Identifikation wird dem TN eine Zufallszahl RAND geliefert, aus der die MS über  $K_i$  und A3 den sog. Authentifikator SRES =  $K_i(\text{RAND})$  berechnet. Ergebnis sendet MS an das VLR  $\leadsto$  Übereinstimmungsvergleich mit dem intern bestimmten Wert SRES. Bei positivem Vergleich gilt TN als authentisiert, sonst alle Transaktionen sofort abgebrochen.

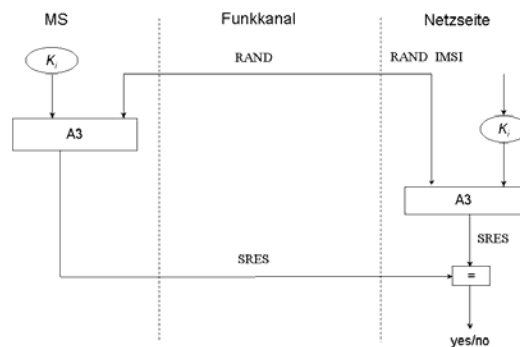


Abbildung 8.25: Teilnehmer-Authentisierung in GSM

### Vertraulichkeit der Nutz- und Signalisierdaten

Nachrichten mit teilnehmerbezogenen Daten werden im geschützten Modus übertragen. Aus Zufallszahl RAND wird mit Authentisierungsschlüssel  $K_i$  und Algorithmus A8 ein Übertragungsschlüssel  $K_c$  erzeugt.  $K_c$  nicht über Funkstrecke übertragen, sondern in MS gespeichert und bei jeder Authentisierung neu berechnet.

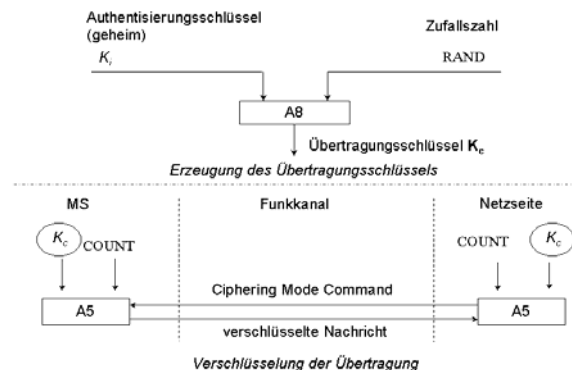


Abbildung 8.26: Verschlüsselung

Zur Synchronisation zw. MS und Netz wird dem  $K_c$  eine Schlüsselnummer (COUNT) zugeordnet, in MS gespeichert und bei jeder DÜ ans Netz mitgeliefert. Falls zu schützende Daten zu übertragen, wird Verschlüsselungsprozedur initialisiert (Cipherring-Nachricht an MS gesendet). Ver-/Entschlüsselung mit Stromverschlüsselungsverfahren unter Anwendung des Algorithmus A5 und Schlüssels  $K_c$ .

### Vertraulichkeit der Teilnehmeridentität

Um Vertraulichkeit übertragener Informationen des TN zu gewährleisten, wird die temporäre Funkkennung (*Temporary Mobile Subscriber Identity*, TMSI) periodisch gewechselt. Damit wird verhindert, dass Mobilfunkverbindung beim Abhören einem bestimmten Teilnehmer zugeordnet werden kann. TMSI immer vom momentanen VLR temporär vergeben und verschlüsselt zur Mobilstation übertragen. Änderung der TMSI wird spätestens beim Wechsel eines vom VLR kontrollierten Aufenthaltsbereiches vorgenommen.

### Transport sicherheitsrelevanter Informationen zwischen MSC, HLR und VLR

Authentisierungszentrum (AuC) separat und geschützt eingerichtet, mit den Aufgaben:

- Erzeugung der Schlüssel  $K_i$  sowie deren Zuordnung zur IMSI.
- Erzeugung von Sätzen RAND / SRES /  $K_c$  pro IMSI zur Übergabe an das HLR.

VLR benötigt bei Bereichsaktualisierung sicherheitsbezogene Informationen wie folgt:

- Identifiziert sich die Mobilstation selbst durch die IMSI, fordert VLR vom HLR 5 Sätze RAND / SRES /  $K_c$  an, die dieser IMSI zugewiesen sind.
- Identifiziert sich die MS durch die IMSI und die momentane Aufenthaltsbereichskennung LAI (*Location Area Identity*), fordert das neue VLR vom alten VLR die IMSI sowie die noch vorhandenen Sätze RAND / SRES /  $K_c$  an.

Authentisierung selbst erfolgt im VLR. Hierzu sendet das VLR die RAND an die MSC, die den Authentifikator SRES ermittelt und an VLR überträgt. MSC ermittelt den Authentifikator SRES und überträgt diesen an das VLR, das den Wert des Authentifikators mit dem von der MS empfangenen vergleicht. Bei erfolgreicher Authentisierung ordnet das VLR der IMSI eine TMSI zu. Übertragungsschlüssel und TMSI wird an die MSC gesandt.

## 8.1.10 GSM in Deutschland und Übersee

### Mobilfunksysteme GSM900 und DCS1800

**GSM900** (Betriebsbereich 900 MHz in Europa): in Deutschland als D-Netz bezeichnet. 2 Betreiber zugelassen, jeder mit  $2 * 12.5$  MHz; Standardisierung durch ETSI:

D1-Netz: Betreiber T-Mobile; D2-Netz: Vodafone

Öffentlicher Mobiltelefondienst seit 1992, flächendeckende Versorgung seit 1994. Angebot an kundenorientierten Dienstleistungen (zusammen mit privaten Anbietern).

Neben Grundfunktionen viele Zusatzdienste, u.a.:

D1: Mobilbox	D2: Mobilbox
Rufumleitung	Anrufumleitungen
Rufsperr	Anrufsperr
Gebührenanzeige	Handvermittlung
Verkehrsinformationen (Streckenberichte) <sup>1)</sup>	Fluginformation <sup>1)</sup>
Reisedienst (Hotelreservierungen, Restaurants, Kultur- und Sportveranstaltungen) <sup>1)</sup>	Hotel- und Reiseservice <sup>1)</sup>
Sekretariats- und Auskunftsdienst <sup>1)</sup>	Pannenhilfe <sup>1)</sup>
Weitervermittlung <sup>1)</sup>	Verkehrsinformationen <sup>1)</sup>
	<sup>1)</sup> als Mehrwertdienste

**DCS1800** (Betriebsbereich 1800 MHz): in Deutschland als E-Netz ~> 2 Lizenzen:

E1-Netz: Betreiber E-Plus, landesweit seit 1994.

E2-Netz: Betreiber VIAG Interkom, O<sub>2</sub>; Lizenz seit 1997, Betrieb ab 1998; Flächendeckung von 75%, Beschränkung auf verkehrsreiche Gebiete.

Ursprüngliches Einsatzprofil von GSM: kommerzielle Nutzer. Seit 1997 allgemeine Nutzung (1997 über 5 Mio. Teilnehmer, steigende Tendenz), 2003 in Deutschland 60 Mio Handys (GSM, DCS).

### Mobilfunksystem GSM800

GSM800 (Betriebsbereich bei 800 MHz): Einsatz in Nordamerika (USA, Kanada). In USA haben sich inzwischen mehrere regionale Mobilfunknetzbetreiber für GSM entschieden (2000: 7). Allerdings andere Frequenzen als in Europa, so dass spezielle Funkendstufen für diese Lizenzgebiete benötigt werden. Unternehmen Omnipoint Communications besitzt beispielsweise Betriebslizenzen für New York, New Jersey, Vermont, Eastern Pennsylvania, Delaware, Connecticut, Massachusetts, New Hampshire und Maine. Betreiber von digitalen Mobilfunksystemen mit anderer Funkschnittstelle verwenden die Dienste und Protokolle des GSM in Vermittlungsteilsystemen. In Kanada gibt es bisher einen Netzbetreiber für Quebec.

## 8.2 Mobilfunksystem ETSI/DCS1800

### ETSI / DCS1800 und PCS

Digital Cellular System at 1800 MHz (ETSI-Standard DCS1800): beruht auf den GSM-Empfehlungen, angewandt auf den höheren Frequenzbereich um 1800 MHz:

1710-1785 MHz (Uplink) und 1805-1880 MHz (Downlink), insgesamt 374 Trägerfrequenzen. Technische Infrastruktur im DCS1800 ausgerichtet auf den Massenmarkt für persönliche mobile Kommunikation ~> Persönliches Mobilkommunikationssystem PCS.

Personal Communication System (PCS): Vergleichbar mit dem *USA/FCC-Frequenzband bei 1900 MHz* (FCC: Federal Communication Commission, Frequenzregulator der USA):

- niedrige Kommunikationskosten, ähnlich den Kosten im Festnetz,
- große Netzkapazität,
- leichte Funktelefone (geringes Volumen und Gewicht),
- Funkversorgung auch in Gebäuden.

### Architektur ETSI / DCS1800

DCS1800-System unterstützt wesentliche Anforderungen an PCS-Systeme, wie:

- hohe Verkehrsdichten von 500 Erl./km<sup>2</sup>,
- niedrige Sendeleistungen (250 mW ... 2 W),
- Verwendung des GSM-Halbratencodexs,
- kostengünstige Realisierung des Netzes.

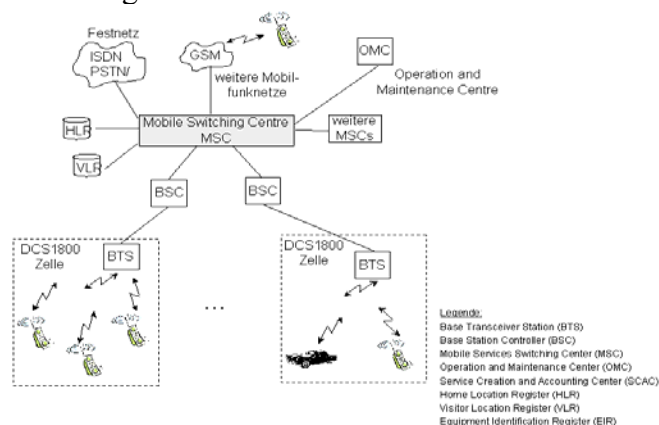


Abbildung 8.27: Architektur DCS1800-System

Architektur DCS1800 lt GSM-Empfehlungen (Ausnahme: frequenzspezifische Festlegungen).

### **Zellenstruktur bei ETSI / DCS1800**

Abweichungen der Spezifikationen DCS1800 von GSM900 in 11 Delta-Empfehlungen veröffentlicht: Änderungen zur Definition der Funkschnittstellen, bedingt durch die geforderte niedrige Sendeleistung (DCS: 250 mW ... 2 W, GSM: 5 ... 10 W).

Durch die niedrigere Sendeleistung und bei 1800 MHz um 10 dB höhere Übertragungsdämpfung als bei GSM900 sind Zellenradien bei DCS1800 kleiner als bei GSM900: im Stadtbereich max. 1 km, auf freiem Land bis zu 8 km (Makrozellen).

Im Stadtgebiet 2 verschiedene Zellengrößen: Mikrozellen (Radius über 150 m), Picozellen (innerhalb von Gebäuden). Kleinere Zellen erlauben höhere Verkehrsdichte, gut zur Unterstützung personenbezogener Kommunikation und zum Aufbau von hot-spots. Allerdings bei DCS1800 mehr Zellen erforderlich, höhere Investitionen zum Aufbau der Netzinfrastruktur.

### **Ausbau und Einsatz ETSI / DCS1800**

Zusammenführung der GSM900- und DCS1800-Empfehlungen durch verschiedene Spezifikationen, um Auseinanderdriften der Systeme zu vermeiden. Lokales Routing und Roaming zwischen GSM und DCS, Ausdehnung des DCS1800-Dienstes auf Münztelefone, Interworking mit Inmarsat und Satellitendiensten. Netzlizenzen: Großbritannien Vorreiter bei Einführung DCS1800 (hier als Personal Communication Network (PCN) bezeichnet), Betrieb seit 1993. Lizenz für Mobilfunknetz E1 nach DCS1800-Standard in Deutschland mit 2 \* 25 MHz Bandbreite, ab Januar 1993. Betreiber E-Plus. Weitere Lizenz für E2-Netz ab 1997. Betreiber VIAG-Interkom / British Telecom / O2. Dienste: klassische Mobilfunkdienste und drahtloser Zugang für ortsfeste Teilnehmer zum Mobilfunknetz (*Radio in the Local Loop*).

## **8.3 Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)**

### **Konzeption**

Hohe Datenraten in UMTS, *flächendeckend*, von bis zu 384 kbit/s und in *speziellen Gebieten* bis zu 2 Mbit/s; mit HSDPA: 1,8 ... 7,2 Mbit/s. Probleme, u.a. Investition, Installation, Geräteentwicklung. Schrittweiser Weg von 2G / 2.5G zu 3G-Netzen ~> Ausbau und Weiterentwicklung existierender Zellularsysteme (GSM, GPRS, EDGE). Vorteil: vorhandene Infrastruktur, Verfügbarkeit, differenzierte Akzeptanz neuer Dienste.

Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) ist die Weiterentwicklung der Datendienste GPRS und HSCSD, somit geeignet für kanal- und paketvermittelte Dienste ~> Datendienste Enhanced GPRS (EGPRS) und Enhanced CSD (ECSD).

Durch modifizierte Modulationsverfahren erreicht EDGE sehr hohe Bruttobitraten von ca. 69,2 kbit/s pro physischen Kanal ~> bei paralleler Nutzung aller acht Zeitschlitze ergibt sich für EGPRS eine *Bruttobitrate* von 554 kbit/s ( $8 * 69,2 = 553,6$  kbit/s). Nominell maximal erreichbarer *Nettodurchsatz* von  $8 * 43,2 = 345,6$  kbit/s.

### **Standard und Einsatz**

EDGE durch ETSI 1997 als Evolution des GSM vorgeschlagen und Standardisierung ausgearbeitet. Konzept kann auch von anderen MFN zur Erhöhung der Datenraten genutzt werden ~> EDGE bei ITU-R als Mitglied der IMT2000-Familie eingereicht und als Standard für MFN 3G bestätigt.

*Schrittweise Einführung* von EDGE in die GSM-Netze (um Investitionen einzuschränken). So werden anfangs EDGE-Sender/-Empfänger weiterhin GSM-Signale verarbeiten können und die alten Sender/Empfänger in den GSM-Netzen ersetzen, in denen EDGE angeboten wird.

Somit GSM- und EDGE-Signale im gleichen Frequenzband koexistent, außerdem nur minimale Änderungen in Zell- und Frequenzplanung vorgesehen.

Netzarchitektur des GSM bleibt für EDGE erhalten, somit i.w. nur Modifikationen an der Funkschnittstelle. Anbieter vorrangig in Nordamerika (z.B. Basis für iPhone), in Deutschland: T-Mobile (220 kbit/s).

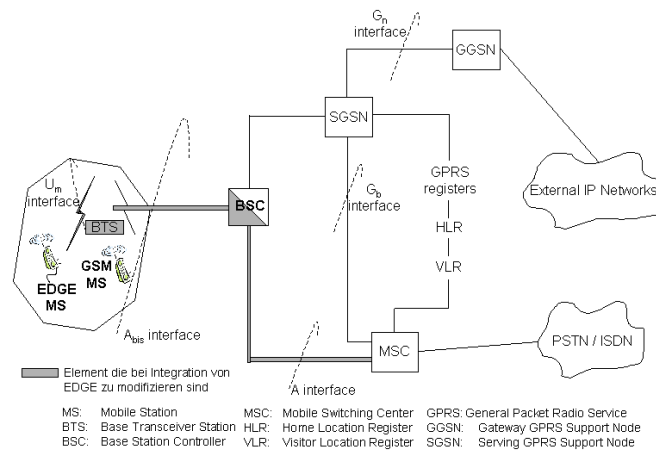


Abbildung 8.28: EDGE-Architektur

### Erweiterung

Für 2. Phase der EDGE-Einführung ist ein Sprachdienst mit adaptiver Codec-Auswahl (*Adaptive Multirate Codec*, AMR) vorgesehen. EDGE-Träger können somit mehrere Gespräche pro Zeitschlitz tragen  $\rightarrow$  dadurch Kapazität für Sprachdienste erhöhbar. Ebenfalls sind Codecs höherer Qualität realisierbar, z.B. mit 32 kbit/s.

Bei günstigen Funkbedingungen und langsamer Eigenbewegung kann komplette GSM-Trägerfrequenz zur Verfügung gestellt werden. Theoretisches Maximum: 345,6 kbit/s.

Verbesserung GSM mittels neuer Modulation und neuer Kanalkodierungsalgorithmen an der Funkschnittstelle. EDGE ermöglicht DÜ-Rate von bis zu 43,2 kbit/s pro GSM-Time-Slot (bei 8 Slots  $\rightarrow$   $8 * 43,2 \text{ kbit/s} = 345,6 \text{ kbit/s}$ ). Wegen GSM-Architektur keine Echtzeitdienste.

## 8.4 Weitere zelluläre 2G Mobilfunksysteme

### 8.4.1 Flugtelefonnetz für Luft-Boden-Kommunikation (TFTS)

#### TFTS-Zellulernetz

ETSI 1993: Standard für das Terrestrial Flight Telephone System (TFTS) und Spezifikation der netzinternen Funkschnittstellen und Schnittstellen zu öffentlichen Telekommunikationsnetzen. Gleichzeitig Festlegung der flugzeuginternen Einrichtungen und Schnittstellen zu den Kabineneinrichtungen durch das European Airlines Electronic Committee (EAEC).

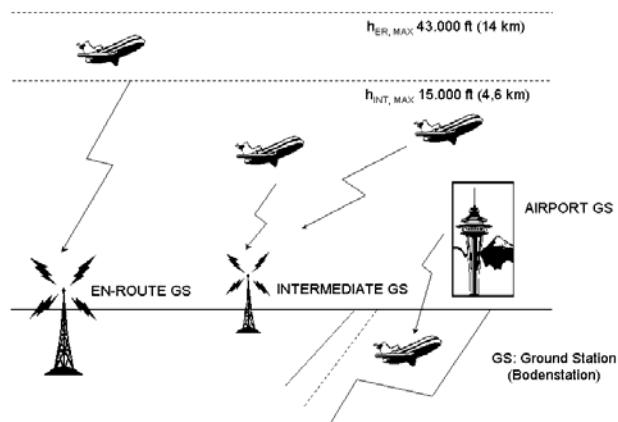


Abbildung 8.29: TFTS Zellulernetz

Aufnahme des kommerziellen Betriebs 1994. Ministerium für Post und Telekommunikation, Juli 1994: Vergabe Lizenz für Betrieb TFTS durch DeTeMobil im gesamten Luftraum bis 4500 m Flughöhe. Einsatz ab 1996. Unterzeichnung MoU durch 13 Netzbetreiber in Europa

zur Einführung des TFTS und Vereinbarung zur Zusammenarbeit mit den großen europäischen Fluglinien. TFTS ist ein Zellulernetz, das mit Hilfe direkter Funkverbindungen zu Bodenstationen (*Ground Station, GS*), die mit dem Festnetz verbunden sind, öffentliche Kommunikationsdienste für Flugreisende verfügbar macht.

3 Typen von Bodenstationen in Abhängigkeit von Versorgungszelle und Sendeleistung:

- Routenbezogene GS (*En-route, ER*) für Flughöhen von 4,5 ... 13 km, Zellradien bis 240 km;
- Zwischen-GS (*Intermediate, INT*) für Flughöhen unter 4,5 km, Zellradien bis zu 45 km;
- Flughafen-GS (*Airport, AP*) mit Zellradien um 5 km.

### Sprach- und Datenübertragung

Dienste im TFTS:

*Handover* zwischen den Bereichen. Nach WARC'92 dafür 2 Bänder mit 5 MHz Breite:

- \* 1670 - 1675 MHz für Uplink (*Ground to Air*),
- \* 1800 - 1805 MHz für Downlink (*Air to Ground*).

*Automatische Wählverbindung* zum PSTN / ISDN ohne Einschränkung der Zielteilnehmer mit gleicher Dienstgüte wie bei PLMNs. Neben Sprache auch *Datendienste* unterstützt, z.B. Faksimile, Datenübertragung mit 4,8 kbit/s und DMTF-Signalübertragung. Rufe Boden --> Flugzeug nur für betriebliche Zwecke und als Funkruf zulässig.

*Abrechnung* der Dienstnutzung beim Teilnehmer erfolgt direkt über (Kredit-) Karte.

*Sprach- und Datenkanäle*: Sprachsignale mit 9,6 kbit/s in Zeitschlitzten übertragen (digital codiert in Blöcken zu 192 bit). Ein 9,6 kbit/s -Sprachkanal belegt 17 Zeitschlitzte eines FDM-Kanals. Mit Sprachcodecs für 4,8 kbit/s verdoppelt sich Zahl der Sprachkanäle. Datendienste mit 4,8 kbit/s benötigen 2 Zeitschlitzte je Rahmen ~> jeder FDM-Kanal 8 Datenkanäle.

### Funktionsmerkmale TFTS

Jedes Flugzeug verfügt über eine Sende- / Empfangseinrichtung (*Transceiver*), die wahlweise auf einen der verschiedenen FDM-Kanäle abstimbar ist. Bis zu 4 Kommunikationsbeziehungen gleichzeitig auf demselben FDM-Kanal möglich. Bodenstationen können auf jedem ihrer Funkkanäle gleichzeitig zu verschiedenen Flugzeugen übertragen. Handover kann durch die Mobil- oder Bodenstation eingeleitet werden und orientiert sich an Signalqualität, Entfernung und Flugzustand. Insbesondere diejenige Bodenstation als Ziel gewählt, auf die sich die MS hin bewegt. Entfernung zwischen Mobil- und Bodenstation über Signallaufzeitverzögerungen geschätzt.

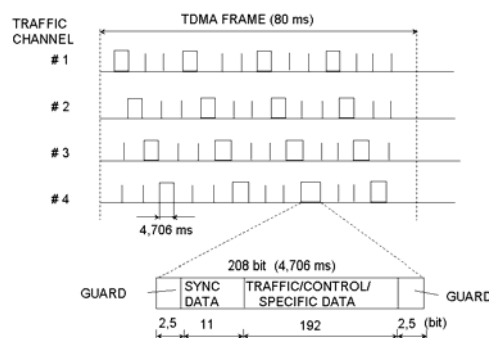


Abbildung 8.30: Rahmen und Zeitschlitzte im TFTS

### Architektur des TFTS-Netzes

Vermittlung und Verwaltung: Bodenstationen (GS) über Vermittlungseinrichtungen (Ground Switching Center, GSC) mit Festnetz verbunden. GSC für alle angeschlossenen Bodenstationen zuständig, incl. Mobilitätsverwaltung, Verbindungsaufbau zu Mobilteilnehmern, Handoversteuerung und dynamische Frequenzverwaltung.

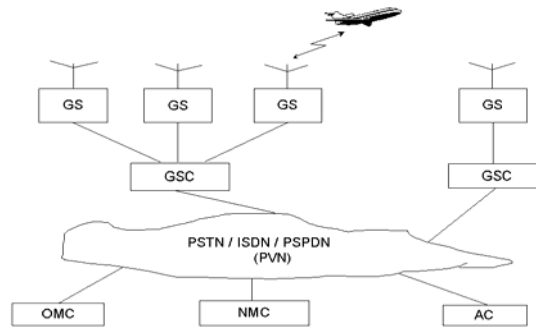


Abbildung 8.31: Architektur TFTS-Netz

TFTS-Festnetz enthält 3 Verwaltungskomponenten:

- Betriebs- und Wartungszentrum (Operations Maintenance Center, OMC),
- Netzverwaltungszentrum (Network Management Center, NMC),
- Verwaltungszentrale für Gebührenabrechnung (Administration Center, AC).

ER-Bodenstationen (En-route) in ca. 380 km Abstand gemäß hexagonalem Wabenmuster positioniert, mit einer nominellen Reichweite von ca. 240 km (darf aus Signallaufzeitgründen nicht überschritten werden). Gleichkanal-Bodenstationen sind 760 km und Nachbarkanalzellen mind. 600 km entfernt. Zellplanung ist gegenüber terrestrischen Zellularsystemen erschwert, da Flughöhen mit einzubeziehen sind.

### 8.4.2 US Digital Cellular System (USCD)

#### American Digital Cellular System (ADC)

In 80er Jahren starker Anstieg der Teilnehmerzahl im öffentlichen zellularen Mobilfunknetz in Nordamerika. Lösung durch Zellenverkleinerung nur bedingt, da Installation neuer Basisstationen und Antennen sehr teuer  $\rightarrow$  neues digitales System mit Kapazitätssteigerung ohne neue Basisstationen.

März 1988 gründete die *Telecommunication Industries Association* (TIA) das TR-45.3-Subkomitee zur Entwicklung des Standards für ein zellulares, digitales System: digitales MFN American Digital Cellular System (ADC). ADC sollte mit dem analogen Mobilfunknetz American Mobile Phone System (AMPS) verträglich sein und es unterstützen. Das digitale ADC ("D-AMPS") arbeitet im Frequenzbereich des analogen AMPS  $\rightarrow$  schrittweiser Übergang einzelner Kanäle auf Digitaltechnik ermöglicht. Besonderheit: Endgeräte digital und analog betreibbar (Dualmode). ADC-Standard mit höherer Kapazität und neuen Diensten, wie Authentisierung, Datendienst oder Kurznachrichtendienst (von AMPS nicht unterstützt).

#### US Digital Cellular (USDC)

1990 wurde der digitale Standard durch die Industrie als Interim Standard 54 (IS-54) akzeptiert  $\rightarrow$  nordamerikanisches digitales System US Digital Cellular (USDC). Daneben: Personal Communication System PCS 1900 nach dem Standard IS.134 für den schnurlosen Massenmarkt.

#### Technische Daten des USDC-Systems

USDC im Frequenzband von 824 - 849 MHz für Übertragung MS  $\rightarrow$  Basisstation (*Uplink*) und 869 - 894 MHz für Übertragung Basisstation  $\rightarrow$  MS (*Downlink*) betrieben.

Somit Duplexabstand von 45 MHz zw. Sende- und Empfangsfrequenz. Frequenzbänder sind in FDM-Kanäle zu 30 kHz Bandbreite unterteilt, wobei 832 Frequenzträger zur Verfügung stehen. 4-stufiges Modulationsverfahren: p/4-DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*); effizienter als GMSK, aber auch aufwendiger. USDC-System arbeitet (wie GSM) im Zeitmultiplex-Verfahren (TDMA), allerdings hier 3 Sprechkanäle über 1 Träger übertragen. TDMA-Rahmen: Länge von 20 ms und in 3 Zeitschlitze der Dauer 6,7 ms eingeteilt. Modulationsrate pro FDM-Kanal (3 Zeitschlitze, 30 kHz): 48,6 kbit/s.

Systemstruktur USDC:

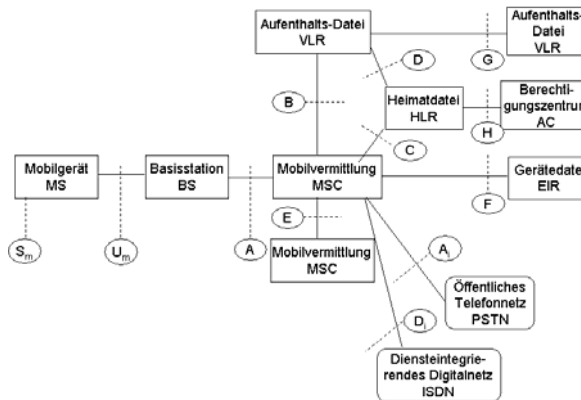


Abbildung 8.32: Architektur des USDC-Systems

### 8.4.3 CDMA-Zellularfunk gemäß IS-95-CDMA

#### Standard IS-95-CDMA

TIA-Interim-Standard IS-95, entwickelt von *Qualcomm*. Im Unterschied zu IS-54, der die Kompatibilität zwischen digitalem und analogem System sichert, legt Standard IS-95 ein CDMA-Übertragungssystem fest. *Parameter der Funkschnittstelle von IS-95*

Vielfachzugriff	CDMA / FDM
Chip-Rate	1,2288 MHz = 128 · 9 600 bit/s
Trägerbreite	1,25 MHz
Modulation	QPSK / OQPSK
Kapazität	theoretisch 98-120 CDMA-Kanäle pro 1,25 MHz
Frequenzband	IS-95 A: 925-960 MHz (UL); 880-915 MHz (DL) J-STD-008: 1900 MHz; BS sendet 80 MHz über MS (J-STD-008)

Übertragungssystem des LEO-Satellitensystems Globalstar beruht auf IS-95, mit einigen Modifikationen. Standard TIA IS-95-Systeme als Schmalband-CDMA-Systeme bezeichnet (1997). ETSI UMTS: Entscheidung zw. Breitband-(Wideband)-CDMA und kombiniertem CDMA/TDMA-System. Mitte 1992: das von Qualcomm entwickelte IS-95-CDMA-System von mehreren MFN-Betreibern in USA eingeführt, geringfügig später als GSM in Europa.

### 8.4.4 Japanisches Personal Digital Cellular System (PDC)

Japanischer öffentlicher Mobilfunkmarkt mit hoher Konzentration in Ballungszentren, z.B. Tokio (50%), Osaka (22%). April 1989: Japanisches Ministerium für Post / Telekommunikation (MPT) beschließt Entwicklung eines digitalen Mobilfunkstandard, um Frequenzknappheit zu begegnen. Ziele des digitalen MFN gegenüber dem analogen: kostengünstiger, größere Kapazität, höhere Sicherheit, neue Dienste. *Research & Development Center for Radio Systems* (RCR) spezifizierte das unter früheren Namen Japanese Digital Cellular (JDC) und heute mit Personal Digital Cellular (PDC) bezeichnete System bzw. PDC-P. Weiterhin: *Personal Handy Phone System (PHS)*, ein PCS-System für den schnurlosen Massenmarkt.

#### Systemarchitektur

Einteilung der *Mobile Communication Control Centers (MCC)* in *Gate-MCC*, *Visit-MCC* und *Home-MCC*. Nur G-MCC mit Festnetz verbunden, um Infrastrukturkosten einzusparen.



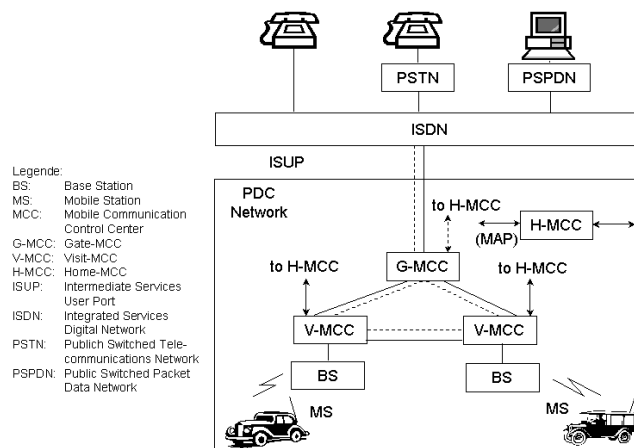


Abbildung 8.33: Architektur des PDC-Systems

### Technische Daten des PDC-Systems

Japanisches PDC-System hat ähnliche technische Parameter wie das amerikanische USDC-System, aber einige wesentliche Unterschiede. Digitales PDC-System ersetzt nicht das analoge System, da die Frequenzbänder für PDC ober- und unterhalb des analogen Systems liegen. Im Unterschied zu USDC und GSM sendet MS auf einer höheren Frequenz 940-960 MHz (Uplink) als die Basisstation 810-830 MHz (Downlink). Zusätzlich weitere Frequenzen im 1500-MHz-Frequenzband für PDC vorgesehen. Duplexabstand beträgt im 800-MHz-Band 130 MHz und im 1500-MHz-Band 48 MHz. Frequenzbänder dabei in Kanäle zu 25 kHz unterteilt.

Einsatz des 4-stufigen p/4-DQPSK-Modulationsverfahrens (analog USDC). Bei Anwendung des Vollratencodex werden beim PDC im Zeitmultiplexzugriff (TDMA) 3 Sprachkanäle über einen Träger übertragen, nach Einführung des Halbratencodex werden es 6 sein. TDMA-Rahmen hat Dauer von 20 ms, und jeder der 3 Zeitschlitze umfaßt 280 bit. Da mit der p/4-DQPSK-Modulation 2 bit pro Symbol übertragen werden, beträgt die Übertragungsrate für drei Zeitschlitze 42 kbit/s. Durch Verwendung eines VSELP-Codex beträgt Übertragungsrate (Sprachcodierung zusammen mit Fehlerschutzcodierung) insges. 11,2 kbit/s. Über den *Slow Associated Control Channel* (SACCH) werden die Signalisierungsdaten mit 0,75 kbit/s übertragen.

## 9 Mobilfunknetze 3G (UMTS, IMT-2000)

### 9.1 Ursprung UMTS und Einordnung in IMT-2000

#### 9.1.1 Standards IMT-2000 und UMTS

##### Ausgangspunkt: Mobilfunksysteme der 2. Generation (MFN 2G)

Rasante Entwicklung der Mobiltelefonsysteme. 12/2001: 1,3 Mrd. TN (ITU), 2008 ca. 2 Mrd.  
07/2001: GSM (weltweit) 564 Mio., IS-136 81 Mio., PDC 55 Mio., IS-95 100 Mio.

Bekannteste System der MFN 2G, die aber inkompatibel sind:

- GSM (Global System for Mobile Communications), ursprüngl. Europa, heute weltweit.
- AMPS (Advanced Mobile Phone System), IS-136 oder D-AMPS (Digital AMPS, Nachfolgesystem von AMPS und IS-95, auch als CDMAOne bezeichnet): Amerika, Asien.
- PDC (Personal Digital Cellular), ergänzt mit PHS (Personal Handyphone System), Japan.

##### IMT-2000 (MFN 3G)

Vermeidung von Inkompatibilitäten wie bei MFN 2G ~> ITU (International Telecommunication Union): Vereinigung der Entwürfe verschiedener Gremien ~> Konzept IMT-2000 (International Mobile Telecommunications at 2000 MHz) als internationale Norm.

Ziele: - Unterstützung von Multimedia-Anwendungen,  
- Unterstützung höherer Übertragungsraten (bis 2 Mbit/s),  
- Erweitertes Roaming mit ausgedehntem Service-Netz.

Juni 1998: 16 Vorschläge, für terrestrische MFN-Netze inkl. Satellitenkommunikation. Größter Anteil mit CDMA-Technologie (Problem für GSM-Betreiber).

CDMA mit den Modi FDD (Frequency Division Duplex) und TDD (Time Division Duplex). FDD erfordert Frequenzpaare (für Uplink und Downlink jeweils andere Frequenzbänder), TDD nur 1 Frequenzband (Uplink und Downlink zeitlich gemultiplext).

Es verblieben 2 Technologiefamilien für terrestrische Netze, die zu 2 Hersteller- und Betreibergruppen führten: 3GPP (~> UMTS) und 3GPP2 (~> CDMA2000).

3GPP (3rd Generation Partnership Project): Ursprung von UMTS, Übernahmen aus GSM-Norm.

3GPP2: Reaktion auf GSM-Lastigkeit: CDMA2000, Sicherung für nordamerikan. IS-95 (CDMA)

##### Struktur des 3GPP

3GPP besteht aus 5 Technical Specification Groups (TSG):

- SA (*Service and System Aspects*): Spezifikation der Benutzerdienste, allgemeine Architektur des UMTS-Netzes, Sicherheit und Vertraulichkeit der Kommunikation.
- CN (*Core Network*): Protokolle der Anruf-Steuerung und Zusatzdienste sowie Verbindung mit externen Netzen.
- RAN (*Radio Access Network*): Protokolle und Architektur des UMTS-Funknetzes.
- T (*Terminals*): Struktur der UMTS-Karte USIM (Nachfolge der SIM-Karte der GSM-Telefone) sowie Funktionen und Konformitätstests der UMTS-Endgeräte.
- GERAN (*GPRS EDGE Radio Access Network*, seit August 2004): Weiterentwicklung der GSM-Funknetze.

#### 9.1.2 UMTS (MFN 3G)

##### Ziele von UMTS

1. **Kompatibilität zu MFN 2G** (insbes. GSM): Sicherung Kontinuität gegenüber Anwender, vor allem Kompatibilität bezüglich der angebotenen Dienste und Transparenz des Netzes.

A: *Kompatibilität der Dienste*

- Support: Charakteristik des Sendekanals zwischen den Anwendern. U.a. gilt bei GSM
  - Übertragungskapazität (1200, 2400, 4800, 9600 kbit/s),
  - Zugangsmodus (synchron, asynchron),

- Übertragungsart (transparent, nicht-transparent),
- Konfiguration (symmetrisch, asymmetrisch).

Support bezieht sich auf das Übertragungsnetz, das selbst aus mehreren untergeordneten Netzen bestehen kann: UMTS-Netz (FUNKSchnittstelle und terrestrisches Netz), Transitnetz (z.B. Telefonnetz), ggf. Zielnetz.

- Teledienste: Anwendungsdienste beim GSM:
  - klassische Ferngespräche, Notrufe, Faximile der Gruppe 3,
  - Kurznachrichten (SMS – Short Messages Service): ausgehend vom Mobiltelefon (SMS-M: SMS Mobile Originated), vom Netz (SMS-MT: SMS Mobile Terminated), von Sendern (SMS-CB: SMS Cell Broadcast).

Teledienste sind durchgängig zwischen den Terminals eingerichtet und beinhalten Anpassungsfunktionen für die Netz-Supportdienste (TAF: Terminal Adaption Function).

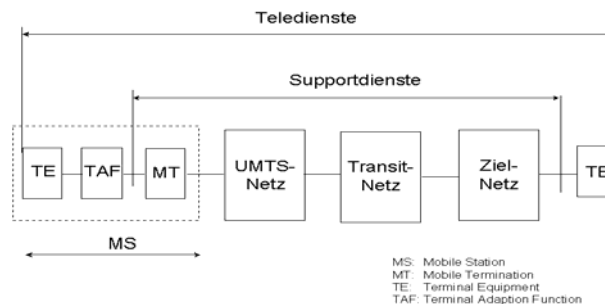


Abbildung 9.1: Supportdienste und Teledienste

- Zusatzdienste: zusätzliche Teledienste, ggf. getrennt verrechnet. Aus GSM:
    - Anruferidentifikation (CLIP: Calling Line Identification Presentation),
    - Rufumleitungen (CFU: Call Forwarding Unconditional, CFNRy: Call Forwarding on No Reply,...),
    - Dienste in Verbindung mit gleichzeitigen Anrufen (CW: Call Wait, HOLD: Call Hold).
- UMTS Phase 1 (Version 99 der 3GPP-Spezifikation) definiert hier alle Support-, Tele- und Zusatzdienste aus GSM. Ergänzend weitere UMTS-Dienste, wie Multicall.

### B: Transparenz des Netzes

Vorgehensweise analog zu den GSM-Netzen zur Erhöhung der Netzkapazität:

- Mikrozellurnetze: bestehen aus kleinformatischen Zellen (Mikrozellen) als Ergänzung einer überlasteten großformatigen Zelle (Makrozelle).  
Somit 2 Deckungsschichten: Mikro- und Makroschicht. Betreiber kann die TN zwischen den Zellen der Mikroschicht aufteilen, um zuerst eingerichtete Makroschicht zu entlasten.
- Dualbandnetze: Verdichtung des Abdeckungsgrades durch Betreiber, indem Zellen mit anderem Frequenzband hinzugefügt werden (z.B. im 900-MHz-Band Zellen mit 1800 MHz).

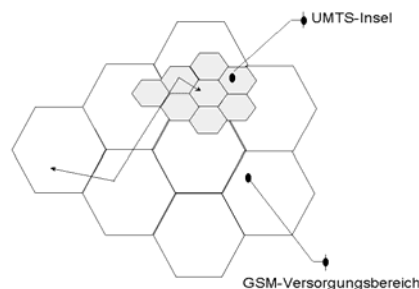


Abbildung 9.2: Zusammenwirken von UMTS und GSM

Änderungen der Netzstruktur für Nutzer transparent. Da GSM gut entwickelt und nicht ausgelastet ist, können die neu eingerichteten UMTS-Netze im GSM-Bereich als UMTS-Inseln eingerichtet werden. Deshalb auch große Zahl von Funktionen, die eine Kontinuität der Dienste zwischen GSM- und UMTS-Netzen gewährleisten sollen, bereits in der ersten Version von UMTS definiert.

## 2. Unterstützung Multimedia

Eines der wichtigsten Ziele von IMT-2000 und UMTS. Multimedia bedeutet: unterschiedliche Dienste werden gleichzeitig vom Netz angeboten und vom Endgerät genutzt, insbes. Sprache, Bildtelefon, Datenübertragung, Web-Zugang, Fernsehen, Live-Video und Navigation.

## 3. Übertragungsraten (Angebot unterschiedlicher Übertragungsgeschwindigkeiten):

- 144 kbit/s im ländlichen Raum,
- 384 kbit/s im städtischen Raum,
- 2 Mbit/s für geringe Distanzen (insbes. in Gebäuden, bei geringerer Mobilität),
- in Erweiterung mit HSDPA: 1,8 ... 7,2 Mbit/s (in Ergänzung zu DSL-Zugangsleistung).

## 4. Serviceklassen: zur Bereitstellung der Ressourcen und Sicherung der Dienste

Mit Anforderungen für Toleranz gegenüber Übertragungsfehlern und zu Echtzeit, u.a. Fax, Abhören Sprachnachricht, Video- und Audioprogramme, Sprach- und Bildtelefonie, Emailbenachrichtigung, Web-Zugang/Internetdienste, FTP, Telnet, Spiele

## Frequenzzuordnung für MFN 3G

Beschluss ITU (1992): Reservierung Spektrum von 230 MHz für IMT-2000, aufgeteilt auf 2 Frequenzblöcke: 1885 - 2025 MHz für das erste Band, 2110 - 2200 MHz für das zweite Band.

Zusätzlich Frequenzband von 150 MHz (aufgeteilt auf 2 Bänder), reserviert für Satellitenkommunikationssysteme (MSS: Mobile Satellite Service).

Juni 2000 Ergänzung der 230 MHz durch weitere 160 MHz, aufgeteilt auf 3 Frequenzblöcke: 806 – 960 MHz, 1710 – 1885 MHz, 2500 – 2690 MHz.

FDD-Typ (Frequency Division Duplex): nutzen Frequenzspektrum paarweise:

- aufsteigend (Uplink: vom Mobiltelefon zum Netz),
- absteigend (Downlink: vom Netz zum Mobiltelefon).

Abstand zw. beiden Frequenzblöcken: sog. Duplex-Abstand. Anwendung bspw. im GSM

TDD-Typ (Time Division Duplex): nutzen gleiches Frequenzband in auf- und absteigender Richtung. Anwendung bspw. im DECT.

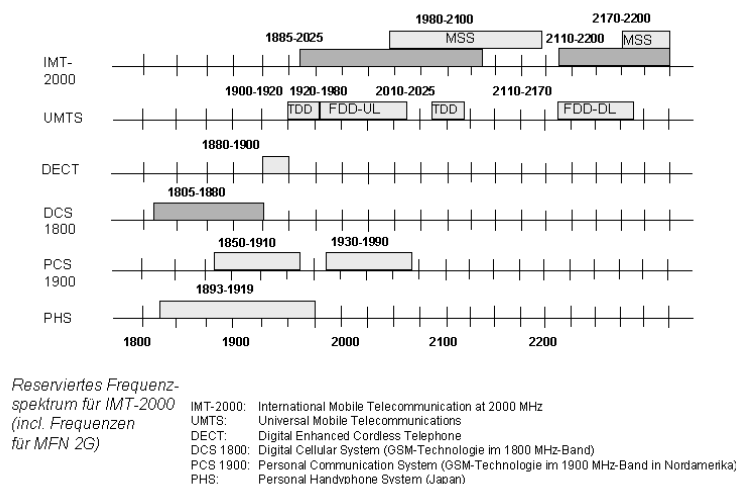


Abbildung 9.3. Frequenzspektrum für IMT-2000 (incl. MFN 2G)

### UMTS-Datendienste und -Anwendungen

Neben Telefonie deutliche Zunahme der Datenanwendungen, u.a. MMS (Erweiterung SMS durch Bild, Audio, Video oder Animationen), Zugang zum Internet (öffentliches Internet, Firmennetze), Informationsdienste, z.B. Informationsportale oder Serverzugang.

UMTS-Anwendungen:

- Telefonie und fortgeschrittene Telefonie,
- Lokalisierungstechniken,
- Mobiler Internetzugang sowie Intra-/Extranet-Zugang,
- Multimediale Nachrichten und Informationsdienste, u.a. MMS, Handy-TV, Handy-Navigation, Email (Push-Dienste), Web-Dienste.

### UMTS Spezifikationen

GSM-Normen:

Phase 1: erste verfügbare Norm

Phase 2+: Großteil der wichtigen Entwicklungen, u.a. Dualbandnetze (900 MHz - 1800 MHz), GPRS, HSCSD.

NAS (Non-Access Stratum): Normen, die sowohl in 2G- als auch 3G-Netzen vorkommen

UMTS-Normen:

Version 3 (Release 99): erste operationelle Version, alle Basisfunktionen.

Versionen 4, 5, 6 ff: Weiterentwicklungen, basierend auf Version 3

Wichtigste Neuerung in Version 4	Beschreibung
<b>Multimedia Message Service (MMS)</b>	MMS: Erweiterung Kurznachrichtendienst SMS – ermöglicht auch Übertragung von Ton (Sprache, Musik) und Bild (Video, Bilder)
<b>Tandem Free Operation Transcoder Free Operation</b>	Verbesserungen zur Reduzierung der Sprachkodierung in der Kommunikation zwischen Mobilgeräten
<b>UTRAN Transport Evolution</b>	Funktionen zum Optimieren des Einsatzes von ATM/AAL2 im UTRAN-Transportnetz

Wichtigste Neuerung in Version 5	Beschreibung
<b>High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)</b>	Verbesserung der Übertragungsrate und Verringerung der Übertr.-Verzögerung beim Datentransport auf dem DSCH (Downlink Shared Channel)
<b>UTRAN Transport Evolution</b>	Einführung des IP-Protokolls im UTRAN-Transportnetz als Alternative zu den Schichten ATM/AAL2
<b>IP-based Multimedia Services (IMS)</b>	Entwicklung des Kernnetzes zur reinen IP-Architektur für Unterstützung der Benutzerapplikationen (Sprache, Datenübertragung, ...)
<b>Wideband AMR</b>	Verbesserung der Tonqualität durch Verwendung von Kodiererrn/Dekodern, die Breitbandübertragung der Sprache (7 kHz) erlauben

Abbildung 9.4: UMTS-Spezifikationen

## 9.2 Merkmale und Dienste der 3. Mobilfunkgeneration

### 9.2.1 Charakteristika der 3. Mobilfunkgeneration

#### UMTS/ETSI und CDMA2000/IMT-2000

Zusammenführung bisher getrennt betriebener öffentlicher Mobilfunknetze, wie Zellularfunk, schnurlose Telefonie, Satellitenfunk u.a. (analog zu ISDN).

ETSI (3GPP): Entwicklung der Architektur GMM (Global Multimedia Mobility):

- ~> definiert Mobilfunknetze (MFN 3G) als Zugangsnetze zu einer integralen Festnetz-Transportplattform,
- ~> basiert auf B-ISDN (zukünftig IP), liefert mobilitätsunterstützende Mehrwertdienste.

Diensteintegrierende MFN 3G (UMTS / ETSI und CDMA2000 / IMT-2000), die von Zielstellung dem terrestrischen ISDN entsprechen, sollen zu einem weltweiten, universellen, öffentlichen Mobilfunksystem führen.

UMTS in DE: Lizenzen 2000 (T-Mobile, Vodafone, E-Plus, O2), Orientierung an GSM-Kompatibilität, Betriebsbeginn ca. 2004. Nordamerika, Japan: CDMA (IS-95).

Systeme im Wettbewerb mit weiterentwickelten Systemen der 2. Generation (MFN 2G), wie GSM, DCS und Erweiterung (MFN 2.5 G), insbes. GPRS, EDGE.

### **9.2.2 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)**

#### **UMTS - Zellulares Mobilfunknetz der 3. Generation**

MFN der 3. Generation UMTS (Universal Mobile Telecommunications System),

Basis: Konzept 3GPP (3rd Generation Partnership Project) in IMT-2000.

Standardisierung in Europa: ETSI (European Telecommunications Standard Institute):

Kompatibilität zu GSM (vs. CDMA2000 im Konzept 3GPP2 mit Komp. zu IS-95-CDMA)

UMTS-Konzept:

Handliches Endgerät für alle Einsatzbereiche (Haus, Büro, Auto, Zug, Flugzeug, Fußgänger), gemeinsame Luftschnittstelle für alle Einsatzgebiete, weltweite Integration heutiger unterschiedlicher Funkssysteme (Mobiltelefon ... Satellit).

#### **Standards für UMTS Phase 1**

Standards für UMTS Phase 1 seit März 1999 fertiggestellt, Frequenzbereich 1,885 - 2,2 GHz, Einführung Febr. 2004. UMTS-Forum bevorzugt Frequenzspektrum mit zeitlicher Staffelung und Neuzuweisung (Refarming) bisher anders genutzter Bänder.

Neben symmetrischen auch asymmetrische Bänder angestrebt (downlink/uplink). Mit UMTS Phase 1 nicht alle ursprünglichen Ziele erreichbar, z.B. die für großflächige Funkversorgung vorgesehene UMTS-Funkschnittstelle, die mittels Frequency Division Duplex (FDD) über symmetrische Funkkanäle überträgt, ist nicht gut geeignet für asymmetrische Datendienste (z.B. bei Internet-Nutzung).

FDD-Modus ähnlich wie bei MFN der 2. Generation vorrangig für Sprachübertragung und symmetrische Datendienste entwickelt, die nur schmalen Teil des Dienstespektrums ausmachen. UMTS Phase 1 noch stark von Weiterentwicklung GSM und Kompatibilität geprägt.

#### **Standards für UMTS Phase 2**

Wegen Unzulänglichkeiten in UMTS Phase 1 wurde UMTS Phase 2 konzipiert, Standards 2003 (Versionen 4, 5, 6) erstellt. Integration von UMTS/FDD- und digitalen Bündelfunkdiensten, MMS, HSDPA, IP-Dienste im Kernnetz (statt ATM) usw.

Damit sollen auch in der Abwärtsstrecke (downlink) das Potenzial insbes. des DVB-T-Standards (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) für digitale Fernsehübertragung zur Bild- und Datenübertragung einbezogen und im integrierten UMTS / DVB-T-System besser asymmetrische Datendienste unterstützt werden.

UMTS Phase 2 stärkere Abweichung von GSM und Ergänzungen:

- Einsatz von CDMA-Zellularfunk (gemäß IS-95, analog CDMA2000). Nutzung GPRS (GSM-Netze) für Datenpaketfunk.
- Weiterentwicklung des Datenpaketfunkes durch Einsatz von HSDPA (High Speed Data Package Access) mit 1,8 Mbit/s (2006), später bis 7,2 Mbit/s.
- Ersatz des ATM/AAL2 durch reine IP-Architektur im Kernnetz.

### **9.2.3 IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000 MHz)**

#### **FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone System)**

Das *Consultative Committee for International Radiocommunication (CCIR)* gründete 1985 die Task Group 8/1 (früher IWP 8/13): Festlegung aller Anforderungen und Systemparameter

für ein zukünftiges öffentliches Mobilfunksystem (FPLMTS: Future Public Land Mobile Telephone System). Anforderungen an FPLMTS analog UMTS.

Andere Bezeichnung für FPLMTS (seit 1995): IMT-2000 (International Mobile Telecommunications at 2000 MHz).

### **IMT-2000: Planung**

IMT-2000 soll (wie UMTS) alle bisherigen Dienste (Mobiltelefon, schnurloses Telefon, Funkruf) in einem Funkdienst integrieren - vieles analog zu UMTS. Da Aktivitäten der ITU (International Telecommunication Union) global ausgerichtet, ergeben sich einige Unterschiede, u.a. wird IMT-2000 den unterschiedlichen Anforderungen an dicht besiedelte Gebiete (z.B. in Europa) und an dünn besiedelte Gebiete (Entwicklungsländer) durch Definition mehrerer Luftschnittstellen gerecht:

**R1:** Funkschnittstelle zwischen Mobilstation (MS) und Basisstation (BS)

**R2:** Funkschnittstelle zwischen *Personal Station* (PS) und *Personal Base Station* (CS)

**R3:** Funkschnittstelle zwischen Satellitenbasisstation und mobiler Bodenstation (MES)

**R4:** zusätzliche Luftschnittstelle für den Funkruf an ein FPLMTS-Endgerät.

Planungsstrategie: in Entwicklungsländern und ländlichen Gebieten ist IMT-2000 als Festnetzersatz (temporär bzw. permanent) einzurichten.

### **IMT-2000 – Konzept und Frequenzspektrum**

Basis: Projekt 3GPP2 (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, Version 2)

Multiplexing: CDMA (Code Division Multiplex Access) ~> System CDMA2000

Kompatibilität zu D-AMPS, IS-95, IS.136

Auf WARC 1992 wurde weltweit dem IMT-2000-System ein Spektrum von 230 MHz in den Frequenzbändern zwischen 1885 - 2025 MHz und 2110 - 2200 MHz zugewiesen (Abb. 9.03).

Frequenzbänder nicht ausschließlich für IMT-2000 reserviert, sie können auch in anderen Systemen benutzt werden:

- in Europa ist unterer Teil des Frequenzbandes von DCS1800 und DECT belegt,
- UMTS-Forum fordert, Bereich 500 MHz - 1900 MHz für symmetrische und asymmetrische Verbindungen zu reservieren,

Viele der international reservierten Bänder bereits anderweitig genutzt. Früheste Inbetriebnahme von CDMA2000 (wie UMTS): 2000 - 2005.

### **IMT-2000 - Funkschnittstellen**

3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) als weltweite Entwicklungseinrichtung hat für IMT-2000 verschiedenen Vorschläge erhalten und entwickelt ca. 6 Standards für die IMT-2000-Funkschnittstellen:

- 2 für beide **UMTS-Varianten** mit Übertragung im *Frequenzduplex* (Frequency Division Duplex, FDD) und *Zeitduplex* (Time Division Duplex, TDD) bzw. *Codemultiplex*(Code Division Duplex, CDD).
- eines für **japanisches Multiträgersystem**,
- weitere aus China, Korea und **USA** mit *CDMA-Schnittstellen* und
- das **EDGE-System** (auf Basis *TDMA-Verfahren*).

Vielfalt von Funkschnittstellen --> Forderung nach adaptiven Funkterminals, wahlweise für mehrere (alle) Funkschnittstellen ausgestattet, unabhängig von örtlich verfügbaren Funkzugangnetzen der IMT-2000-Familie.

## **9.2.4 Dienste für UMTS und IMT-2000**

### **Trägerdienste**

UMTS soll sowohl ISDN- als auch Breitband-ISDN- (bzw. IP-) Trägerdienste unterstützen. Integration folgender ISDN-Dienste:

- kanalvermittelte Dienste (circuit switched):
  - transparent 64, 2 \* 64, 384, 1536 und 1920 kbit/s mit Benutzerdatenraten von 8, 16 und 32 kbit/s,
  - Sprachübertragung,
  - 3.1-, 5- und 7-kHz-Audio-Übertragung,
  - alternativ Sprache oder transparente Datenübertragung mit Benutzerdatenraten von 8, 16, 32 und 64 kbit/s;
- paketvermittelte Dienste (packet switched):
  - virtueller Ruf und permanent virtueller Kanal,
  - ISDN verbindungslos,
  - Benutzersignalisierung.

B-ISDN-Dienste mit Übertragungsrate 2 Mbit/s sollen in UMTS auch für mobile TN verfügbar sein (gemäß CCITT als interaktive Dienste oder Verteildienste klassifiziert). Verstärkt Einsatz von IP-Diensten (paketvermittelt): 384 kbit/s ~> mit HSDPA 1,8 bzw. 7,2 Mbit/s.

Interaktive Dienste:

- \* *Konversationsdienste*: realisiert durch zeittransparente Ende-zu-Ende-Verbindungen, die sowohl symmetrisch bidirektional, asymmetrisch bidirektional oder unidirektional sein können,
- \* *Nachrichtendienste*: nicht zeittransparente Kommunikation zwischen Benutzern,
- \* *Abfragedienste*: zur Abfrage und zum Empfang von zentral gehaltenen Daten.

Verteildienste:

- \* *kontinuierliche Übertragung* von Informationen von zentraler Stelle aus an beliebige Anzahl von Benutzern, ohne Einfluss auf Beginn und Ende der Übertragung.
- \* Spezieller Verteildienst erlaubt Benutzer, den Beginn der Übertragung zu beeinflussen (bidirektional, interaktiv).

Als Übertragungstechnik wurde von ETSI für die B-ISDN-Dienste der Asynchrone Transfer Mode (ATM) bestimmt (ab 2002: IP). UMTS-Standard Version 5 sieht ab 2002 die Entwicklung einer reinen IP-Architektur im Kernnetz als Ersatz für ATM/AAL2 vor.

### Teledienste

Die von UMTS unterstützten Teledienste werden von ETSI in 3 Kategorien eingeteilt:

1. Teledienste (wie im Festnetz) gemäß CCITT-Empfehlungen der Serien E, F und I:
  - Telefonie: Sprache, In-Band-Facsimile (Telefax Gruppe 2 und 3), In-Band-Datenübertragung (mittels Modem)
  - Telefonkonferenz: Mehrparteien-Mehrwertdienste, Gruppenruf, bestätigter Gruppenruf, Sammelruf
2. UMTS-Teledienste und -Anwendungen, z.B.: Audio/Videoübertragung, Paging, Rundsendendienste, Datenbankabfragen, Datenübertragung, Verzeichnisdienste (z.B. Telefonbuch), Mobilitätsdienste, (z.B. Navigation oder Lokalisation), Elektronische Zeitung, Notruf, Notrufsendung, Kurznachrichtendienste (verursacht durch Benutzer, terminiert durch Benutzer, Sprachnachrichten, Facsimile, Electronic Mail), Teleaktionsdienste (z.B. Fernsteuern), Teleshopping, Videoüberwachung, Sprachnachrichten
3. Dienst mit größtem Bandbreitenbedarf ist Multimedia (MM) und interaktives Multimedia (IMM): Daten, Grafiken, Bilder, Audio und Video sowie Kombinationen. UMTS soll die Nutzung mehrerer dieser Medien gleichzeitig gestatten. Multimediadienste erlauben Übertragung von mehreren Informationstypen, z.B. Video- und Audioinformationen.

### Zusatzdienste

Standardisierung der Zusatzdienste unterscheidet zwischen traditionellen, nichtinteraktiven PSTN- / ISDN-Diensten und personalisierten, interaktiven Zusatzdiensten. Diensteanbieter



kann diese einer Benutzungsgruppe oder individuell einzelnen Benutzern zugänglich machen. Folgenden Kategorien in Anlehnung an GSM- und ISDN-Standards vorgeschlagen:

- Nummernidentifikation: z.B. Kurzwahl, Schutz gegen unerwünschte Anrufe, Identifikation des Anrufers,
- Rufanbietung (*Call Offering*): z.B. Rufweiterleitung,
- Rufbeendigung: z.B. Ruf halten,
- Mehrparteienkommunikation: z.B. Konferenzgespräche,
- Gruppenkommunikation: z.B. in geschlossenen Benutzergruppen,
- Abrechnung: z.B. Anzeige von Guthaben,
- Zusatzinformationen: z.B. Benutzer-zu-Benutzer-Signalisierung,
- Rufzurückweisung: z.B. Sperren aller ankommenden Rufe.

### Mehrwertdienste

*Personal Mobility*: Teilnehmer kann durch Nutzung einer Smart Card seine Telefonnummer auf jedes Endgerät übertragen.

*Virtual Home Environment (VHE)*: Damit kann Nutzer sein personalisiertes Dienstportfolio selber zusammensustellen und auch in jedem Fremdnetz nutzen. VHE emuliert dabei diejenigen Dienste, die im Fremdnetz eigentlich nicht angeboten werden, so dass der Nutzer keinen Unterschied zu seiner gewohnten Heimatumgebung feststellen kann. Außerdem wird so die Nutzung von Vor-UMTS-Diensten ermöglicht.

*Bandwidth on Demand*: Dieser Dienst erlaubt bei verschiedenen Diensten mit stark unterschiedlichen Anforderungen an Übertragungsbandbreite, wie z.B. *Short Message Service (SMS)* und Video, eine effizientere Nutzung. Nutzer kann eigenständig wählen zwischen hoher Bandbreite für maximale Dienstqualität und geringer Bandbreite bei günstigeren Kosten.

## 9.3 Grundlagen UMTS (3GPP)

### 9.3.1 Basiskonzepte UMTS

#### Zugangnetz und Kernnetz

Komponenten eines UMTS-Netzes:

- Kernnetz (CN: Core Network),
- Zugangnetz (AN: Access Network)

Schnittstelle  $I_u$  zwischen CN - AN: erlaubt Anschluss unterschiedlicher Zugangnetze:

- BRAN (Broadband Radio Access Network), für Breitband-Zugangnetz vom Typ WLAN (Wireless LAN, u.a. IEEE 802.11, HIPERLAN/2);
- SRAN (Satellite Radio Access Network);
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

Allgemeine Verwendung des Funkkanals über RAB (Radio Access Bearer) möglich.

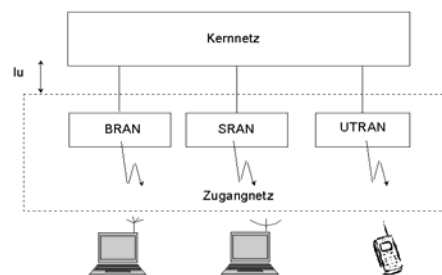


Abbildung 9.5: Schema eines UMTS-Netzes

### Ebenen (Schichten)

Schichtenkonzept: liefert unabhängige Service-Ebenen im UMTS. Hauptebenen (entsprechend der logischen Aufteilung der Netzfunktionen): Access Stratum, Non-Access Stratum.

#### Access Stratum (AS):

- Umfasst alle mit dem Zugangnetz verbundenen Funktionen, u.a. Management der Funkkanäle, Handover-Verwaltung, UTRAN.
- Teil des Mobilgerätes (Protokolle der Funkschnittstelle  $U_u$ ),
- Teil des Kernnetzes ( $I_u$ -Schnittstelle).

#### Non-Access Stratum (NAS):

Umfasst alle anderen vom Zugangnetz unabhängigen Funktionen des UMTS-Netzes, u.a.

- Funktionen zur Verbindungsherstellung: entsprechen den Schichten der Protokolle CC (Call Control) für leitungsvermittelte Anrufe, SM (Session Management) für Paketvermittlung.
- Funktionen des Mobilitätsmanagements im Standby-Modus: = Schichten der Protokolle MM (Mobility Management) im leitungsvermittelten Modus, GMM (GPRS Mobility Management) im Paketmodus.

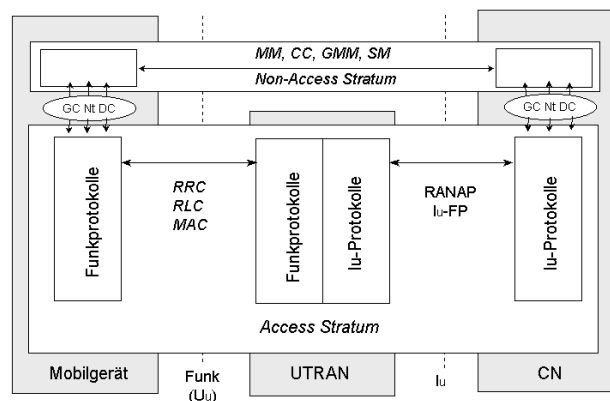


Abbildung 9.6: Access-/Non-Access Stratum und SAP

### Service Access Points (SAP) zwischen Access Stratum und Non-Access Stratum:

AS verhält sich gegenüber NAS wie Dienstleistungsanbieter: Zum Aufbau einer Verbindung wird AS vom NAS beauftragt, die Signalisierungsverbindungen und Übertragungskanäle im Zugangnetz einzurichten.

Je nach angeforderten Dienst werden am SAP 3 Zugangspunkte angeboten:

#### General Control SAP (GC)

- Alle Dienste, die mit Senden von Informationen über Funkschnittstelle verbunden sind.
- Broadcast-Funktion: Senden für die Allgemeinheit, Info's können von allen Mobilgeräten empfangen werden, z.B. Verkehrsinformation, Wetter, Netzkonfigurationsinformationen.

#### Notification SAP (Nt)

- Weitere Dienste zum Senden von Informationen an der Funkschnittstelle.
- Im Gegensatz zu GC-SAP sind Informationen nur für einen oder mehrere identifizierte Benutzer bestimmt, z.B. Paging-Nachrichten oder Gruppenruf.

#### Dedicated Control SAP (DC)

- Nur für einzelnes Mobilgerät bestimmte Dienste, z.B. Herstellung/Beendigung einer Signalisierungsverbindung, Senden/Empfangen von Nachrichten auf diesen Verbindungen.
- Beispiele: SMS (Kurznachrichten), Signalisierungen auf höheren Ebenen: MM (Mobility Mgt.) oder CC (Call Control) für leitungsvermittelte Anrufe und PMM (Packet Mobility Mgt.) oder SM (Session Mgt.) für Paketmodus.

### 9.3.2 Architektur und Schichtenstruktur UMTS

#### Architektur UMTS-Netz

UMTS-Netz nach Standard ETSI: Kernnetz (CN: Core Network) und Zugangnetz UTRAN (AN: Access Network).

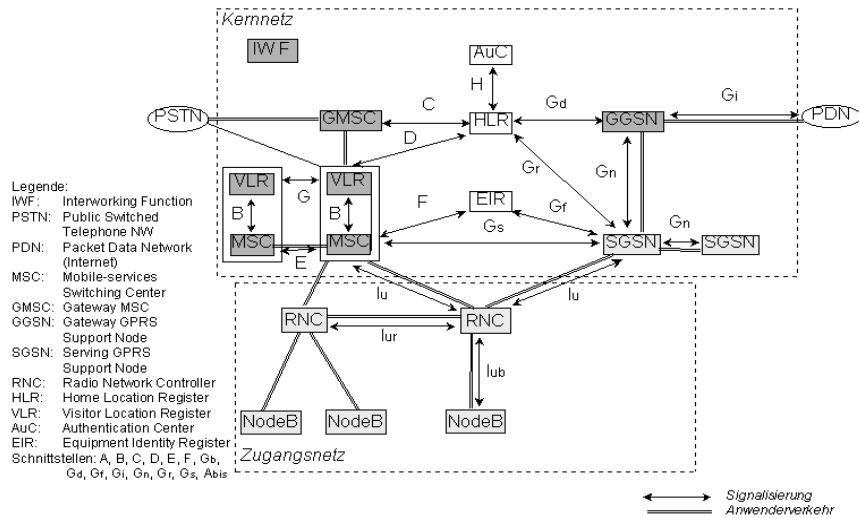


Abbildung 9.7: Architektur UMTS-Netz mit UTRAN-Zugangsnetz

Struktur UMTS-Netz analog Struktur GSM-Netz:

Kernnetze von GSM (mit GPRS) und UMTS ähnlich: Gesamtheit der Komponenten und Schnittstellen des GSM-Kernnetzes wurden ins UMTS-Kernnetz übernommen. Dennoch funktionelle Unterschiede in einzelnen Komponenten, insbes. Netzknoten SGSN (Serving GPRS Support Node) und MSC (Mobile Switching Center).

Hauptbestandteile des Kernnetzes:

- MSC, HLR / VLR (Home / Visitor Location Register), AuC, EIR,
- GGSN (Gateway GPRS Support Node), SGSN (Serving GSN), GMSC (Gateway MSC).

UMTS-Zugangsnetz besteht aus

- RNC (Radio Network Controller): Äquivalent zum BSC im GSM-Netz,
- NodeB: Äquivalent zur BTS im GSM-Netz,
- Neue Schnittstelle zwischen den RNC: Iur.

#### Schichtenstruktur UMTS-Netz

Für Anrufe im *leitungsvermittelten Modus*:

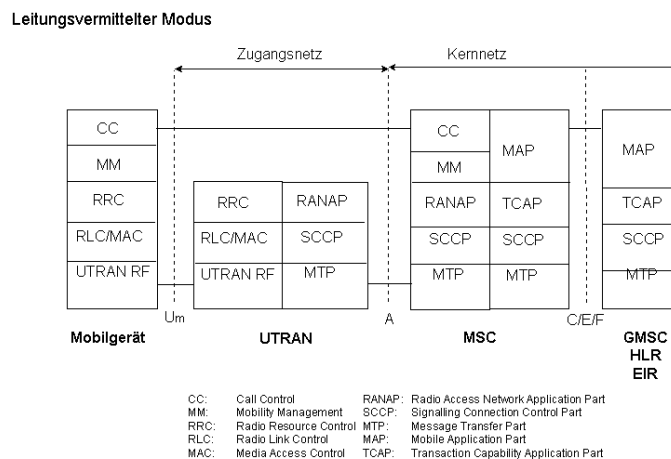


Abbildung 9.8: Schichtenarchitektur für Anrufe im leitungsvermittelten Modus

- Die im Kernnetz an den Schnittstellen C, E und F verwendeten Transportschichten TCAP, SCCP und MTP sind mit denen im GSM identisch,
- UMTS-Anwendungsschicht ist Weiterentwicklung der GSM-MAP-Schicht,
- Für das Zugangsnetz wurden neue Protokolle definiert.

Für Datenübertragung im *Paket-Modus*:

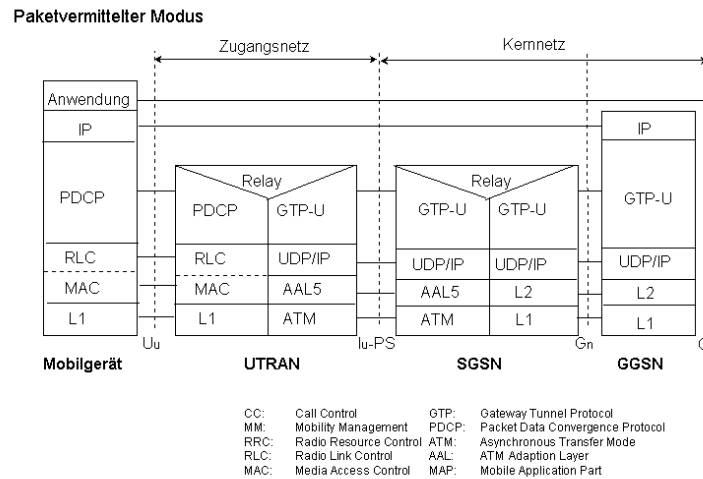


Abbildung 9.9: Schichtenarchitektur der Packet-Switched Domain

- Die Transportschichten des Kernnetzes zwischen SGSN und GGSN bleiben wie im leitungsvermittelten Modus unverändert,
- Signalisierung, die zur NAS-Schicht gehört, d.h.
  - Schichten CC (Call Control) und MM (Mobily Mgt.) im leitungsvermittelten Modus,
  - Schichten SM (Session Mgt.) und GMM (GPRS Mobily Mgt.) im Paketmodus sind mit GSM identisch.
- Einige Weiterentwicklungen zu neu eingeführten Diensten.

### 9.3.3 UMTS-Kernnetz

#### Domain-Konzept

UMTS-Spezifikation Version 99 und 3GPP unterscheidet (analog zu GSM) zwei Service-Domains: CS (Circuit Switched): leitungsvermittelt, PS (Packet Switched): Paket-basiert

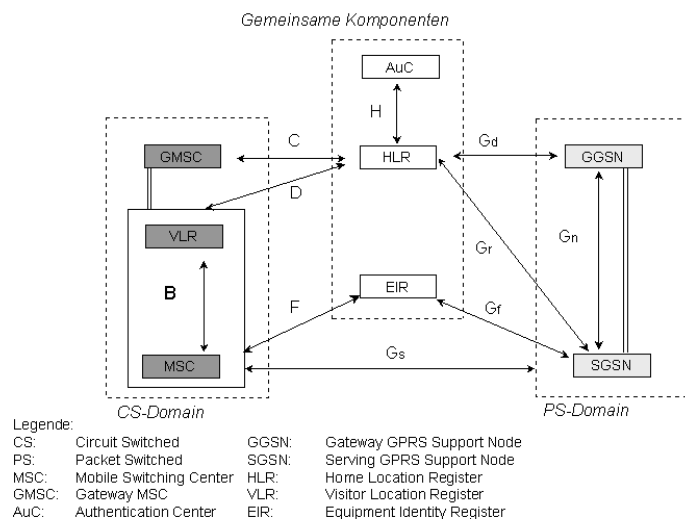


Abbildung 9.10: Aufteilung der Kernnetz-Komponenten auf Domains

Bestandteile des Kernnetzes auf 3 Bereiche verteilt:

- Gruppe 1: Elemente der CS-Domain -> umfasst MSC, GMSC, VLR.
- Gruppe 2: Elemente der PS-Domain -> umfasst SGSN, GGSN.
- Gruppe 3: Elemente, die von CS-Domain und PS-Domain gemeinsam genutzt werden  
-> umfasst HLR, EIR, AuC.

Moderne UMTS-Handys können zugleich über die CS- und PS-Domain kommunizieren.

### **Integriertes Kernnetz**

Trotz Trennung der CS- und PS-Domains gestattet GSM-Norm eine Verbindung beider Domains über Gs-Schnittstelle. UMTS verstärkt dies durch das Konzept des „integrierten Kernnetzes“ (Integration der CS- und PS-Domains). Damit vereinfachte Durchführung von Aktualisierungen, verkürzte Bearbeitung der Vorgänge und geringere Netz-Instandhaltungskosten.

### **Ausgelagerte Funktionen**

#### *Schicht-2-Protokolle*

Verlagerung einiger Funktionen des SGSN (2G) ins UMTS-Zugangsnetz, um Unabhängigkeit des UMTS-Kernnetzes gegenüber den Funktechnologien zu sichern, u.a.

- Protokolle LLC (Fehlerkontrolle, Senden und Quittieren von Frames, Verschlüsselung),
- SNDPC (Kompression der IP-Header)

von GPRS nach RNC (Schichten RLC bzw. PDCP im UMTS-Zugangsnetz).

#### *Kodierungsfunktion*

Während die Sprachkodierungsfunktion TRAU (Transcoder and Rate Adaption Unit) im GSM im Zugangsnetz angeordnet ist, wird sie im UMTS im Kernnetz plaziert (z.B. zwischen MSC und BSC).

Aus Sicht der Übertragung im Netz ist es auch die wirtschaftlichste Option. Die Iur-Schnittstelle transportiert kodierte Sprach-Frames, wodurch bei Telefongesprächen ein vier- bis zehnmals geringerer Datenfluss als an der A-Schnittstelle entsteht. Eine Verlagerung des Sprachkodierers dagegen in das Kernnetz würde bedeuten, dass der Datenfluss im Zugangsnetz zum Normalfall wird. Vom UTRAN her gesehen ist der Telefondienst kein spezieller Vorgang mehr (die Kodierung erfolgt ja oberhalb, im Kernnetz). Der Transport vom Frames im UTRAN wird zum Bestandteil eines allgemeinen Prozesses für Sprache und Daten.

UTRAN kennt von den verschiedenen, vom Anwender benutzten Diensten, nur den RAB (Radio Access Bearer), der durch eine Liste von Attributen bestimmt ist. Somit ist der RAB eines Telefondienstes ist also nur eine Anwendung unter vielen.

Damit enthält UTRAN nur einen einzigen Protokollstapel, der auf alle RAB-Typen angewandt wird, aber flexibel genug ist, die für jeden einzelnen Dienst erforderliche Qualität zu gewährleisten.

## **9.3.4 UMTS-Zugangsnetz (UTRAN)**

### **Komponenten des Zugangsnetzes**

#### ***Radio Network Controller (RNC)***

RNC im UTRAN hat gleiche Funktion wie BSC im GSM-Netz:

- vor allem das Routen der Verbindungen zwischen dem NodeB und dem Kernnetz,
- Überwachung des NodeB.

Durch die Einführung einer neuen Schnittstelle im Zugangsnetz (Iur-Schnittstelle) und durch Definition neuer Konzepte im UTRAN (speziell Access und Non-Access Stratum) ist die Funktion des RNC stark abweichend gegenüber der BSC im GSM-Netz.

Zu den neuen Funktionen des RNC gehören:

- die *Relocation*-Funktion,
- die Verwaltung der Makrodiversität.

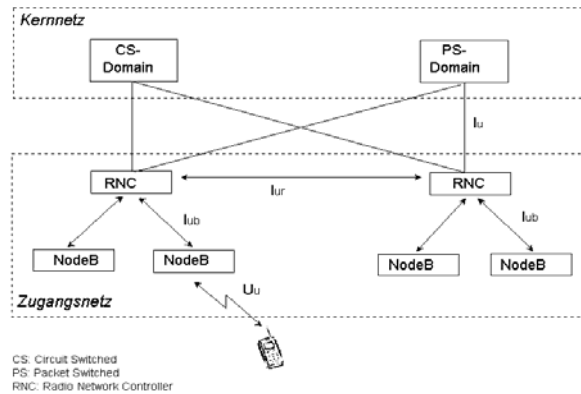


Abbildung 9.11: Schema des Zugangsnetzes

Wegen der zwischen RNC und UTRAN eingeführten Iur-Schnittstelle unterscheiden die Spezifikationen verschiedene Arten von RNC, je nach ihrer Funktion bei den einzelnen Verbindungen.

Falls Mobiltelefon aktiv ist, wird eine RRC-Verbindung zwischen dem Mobiltelefon und einem RNC des UTRAN hergestellt (entsprechender RNC SRNC (*Serving-RNC*) genannt).

Wenn sich der Benutzer im Netz bewegt, kann er die Zelle wechseln oder sogar in den Bereich einer Zelle kommen, die nicht von seinem SRNC abhängt. Der RNC, der für solche entfernte Zellen zuständig ist, wird Controlling-RNC genannt. Vom RNC aus bezeichnet man so einen entfernten RNC als *Drift-RNC*. Bei Drift-/Controlling-RNC laufen die zwischen Serving-RNC und Mobiltelefon ausgetauschten Daten über die Iur- und Iub-Schnittstellen. Der Drift-RNC spielt für diese Daten die Rolle eines simplen Routers. Die Rollen jedes RNC als Controlling-RNC gegenüber den NodeB-Komponenten sind genau festgelegt, nicht aber seine Serving- und Drift-Rollen. Ein RNC kann zugleich Serving- und Drift-RNC für verschiedene Mobiltelefone sein, je nachdem, wie die Verbindungen hergestellt werden.

### NodeB

NodeB des UTRAN ist das Äquivalent zum BTS der GSM-Netze. Wichtigste Aufgabe: Sicherstellung der Sende- und Empfangsfunktionen einer oder mehrerer UTRAN-Zellen.

Die technische Umsetzung der internen NodeB-Architektur ist dem Hersteller überlassen. Somit kann ein NodeB auch eine oder mehrere Zellen umfassen und seine Antennen in alle Richtungen oder in einzelne Sektoren richten.

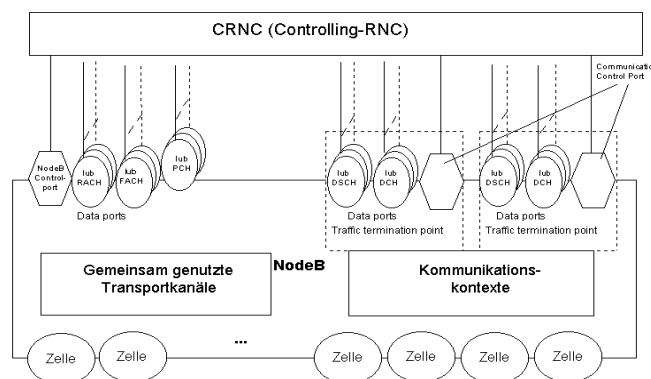


Abbildung 9.12: Logisches Modell des NodeB

Das RANAP-Protokoll (Radio Access Network Application Part, genutzt an der Iub-Schnittstelle zum Ausloten der Funktionsweise des NodeB) ist ein offenes Protokoll, d.h. vollständig durch die 3GPP-Norm spezifiziert. Damit Verbindung zwischen RNC und NodeB

durch verschiedene Hersteller ermöglicht. Zur Erleichterung der Protokolldefinition spezifiziert UTRAN-Norm ein logisches Modell des NodeB.

Logisches Modell des NodeB besteht aus verschiedenen Elementen:

- Die **Kommunikationskontexte** stellen die den Benutzern des Netzes zugeteilten und vom NodeB unterstützten Ressourcen dar. Jeder Anwender verfügt über einen Kommunikationskontext, der aus einem oder mehreren zugeordneten (DCH) oder gemeinsam genutzten (DSCH: Downlink Shared CHannel) Transportkanälen besteht. Das Management der Anwenderressourcen erfolgt über den Communication Control Port.
- Jeder NodeB muss eine bestimmte Anzahl **gemeinsam genutzter Transportkanäle** unterstützen (RACH, FACH, PCH), je nach Zahl der im NodeB vorhandenen Zellen.
- Der NodeB Control Port wird vom RNC zum Konfigurieren und Initialisieren der vom NodeB unterstützten Ressourcen verwendet, d.h. zur Bestimmung des Formats und der Struktur der gemeinsam genutzten Transportkanäle, und zur Konfigurierung der Systeminformationen, die über den BCCH-Peilkanal jeder Zelle des NodeB gesendet werden.

### Schnittstellen des Zugangsnetzes

Das UTRAN-Zugangsnetz verfügt über folgende Schnittstellen:

- Iu zwischen RNC und Kernnetz;
- Iub zwischen RNC und NodeB;
- Iur zwischen den RNC.

Jede dieser Schnittstellen unterstützt zwei Arten von Protokollen:

- AP-Protokolle (*Application Protocol*): für Signalaustausch zwischen den Komponenten,
- FP-Protokolle (*Frame Protocol*): verwendet für den Transport der Benutzerdaten.

Zwischen den Iu- und Iur-Schnittstellen des UMTS und den A- und Abis-Schnittstellen des GSM gibt es mehrere Ähnlichkeiten. Die Iur-Schnittstelle hingegen hat in der GSM-Norm keine Entsprechung.

### 9.3.5 UMTS-Endgeräte (USIM-Karte)

Zugang zu Diensten im UMTS-Netz ist an eine im Endgerät befindliche Chip-Karte des Teilnehmers gebunden: **USIM (Universal Subscriber Identity Module)**. Ohne diese Karte nur Notrufe möglich.

USIM-Karte ist wie GSM-SIM-Karte konform zu den Spezifikation 7816 der ISO/IEC (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*). Diese Norm definiert eine Anzahl von Funktionsmerkmalen der Chipkarten, z.B. Abmessungen, Positionen der Kontakte, elektrische Merkmale und Protokolle des Datenaustauschs zwischen Karte und Endgerät.

Zwei Kartenformate (ISO-Norm 7816-2): Kreditkartenformat und Plug-in-Format (wegen seiner geringeren Größe am häufigsten verwendet). USIM-Karte enthält eine Anzahl von Daten, die in verschiedenen Dateien strukturiert sind. Datenstruktur der USIM-Karte ist eine Erweiterung gegenüber SIM-Karte von GSM-Geräten ~> erlaubt ihre Verwendung in einem GSM-Endgerät.

USIM-Karte enthält alle teilnehmerrelevanten Daten:

- IMSI (*International Mobile Station Identity*);
- MSISDN (*Mobile Station International ISDN Number*), die Telefonnummer des Teilnehmers;
- bevorzugte Sprache für Anzeige von Informationen und Menüoperationen am Endgerät;
- Codes für Verschlüsselung und Integrität für Dienste der CS- und PS- Domains (diese Codes für Sicherheitsfunktionen verwendet);
- Liste der unzulässigen Netze;

- TMSI und P-TMSI, die temporären Identitäten des Teilnehmers gegenüber CS- und PS-Domains;
- Identität der aktuellen Lokalisierungszone des Mobilgerätes für CS- und PS-Domains.

Die Norm präzisiert die Bedingungen für den Zugriff auf die einzelnen in der USIM-Karte enthaltenen Informationen und die Bedingungen für ihre Aktualisierung. Für jede in der USIM-Karte enthaltene Datei gibt es eine Zugriffsbedingung, entweder zum Lesen oder zum Aktualisieren der Informationen:

- ALW (*always*): die Informationen sind ohne Einschränkung zugänglich (Zugriffsbedingung ALW ist für die am wenigsten sensiblen Daten reserviert, z.B. für die bevorzugte Sprache).
- PIN (*Personal Identification Number*): Information ist erst nach Eingabe der gültigen Benutzer-PIN zugänglich;
- ADM (*administrative*): nur der Betreiber der Karte hat Zugriff auf die Informationen;
- NEV (*never*): verweist auf eine Information, auf die nicht zugegriffen werden kann;

Die IMSI auf der USIM-Karte kann hingegen gelesen werden, sobald die gültige PIN eingegeben wird; sie kann aber nur vom Netzadministrator (ADM) verändert werden.

## 9.4 Implementation UMTS

### 9.4.1 UMTS in Deutschland

#### Merkmale

UMTS-Netze in Deutschland: T-Mobile, Vodafone (Februar 2004), E-Plus, O2. Verbesserte Sprachqualität gegenüber GSM; Ergänzung durch Videotelefonie und Datenübertragung mit v<sub>ü</sub> bis 2 Mbit/s ~> damit leistungsfähigere MM-Dienste möglich.

Integration von GSM-Leistungsmerkmalen, wie Rufweiterleitung, Wahlwiederholung, Freisprechen und der Paketvermittlung der GPRS-Technik (General Packet Radio Service), mittels paketvermitteltem Breitbandzugang HSDPA v<sub>ü</sub> = 1,8<sub>2006</sub> ... 7,2 Mbit/s.

Frequenzbereich an Luftschnittstelle zwischen Basisstation (BS) und Mobilstation (MS) für Senden und Empfangen: bei 2000 MHz.

Uplink (Handy -> Basisstation): 1920 – 1980 MHz (gültig für DE),

Downlink (Basisstation -> Handy): 2110 – 2170 MHz (gültig für DE).

Eingesetztes Mehrfachzugriffsverfahren an Luftschnittstelle: CDMA (Code Division Multiple Access). Standardisierung der UMTS-Spezifikation: ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Einsatz IP-Protokoll im Kernnetz.

#### Zugriffsverfahren an Luftschnittstelle

UMTS: Einsatz Multiplexverfahren CDMA (Code Division Multiple Access): jedem Teilnehmer wird ein eigener Code zugewiesen, multipliziert mit einer sog. *Spreiz-Frequenz* (Spreizcode, "Chip").

Anm.: bei GSM wird für jedes Gespräch eine bestimmte Frequenz (FDMA, Frequency Division Multiple Access) und ein bestimmter Zeitschlitz (TDMA: Time Division Multiple Access) bereitgestellt.

Bei CDMA senden alle Teilnehmer zur gleichen Zeit und auf gleicher Frequenz. Die einzelnen Verbindungen unterscheiden sich durch einen individuell zugeteilten Digitalcode. Damit werden die einzelnen Sendeströme codiert und auf Empfängerseite decodiert. Allein der Empfänger, der synchron mit demselben Code im Takt arbeitet, kann das für ihn bestimmte Signal entschlüsseln und von den übrigen Signalen trennen.

In UMTS sind 2 CDMA-Verfahren spezifiziert: W-CDMA und TD-CDMA.

#### **W-CDMA (Wideband CDMA)**

Kombiniert Frequenzmultiplex (FDMA) und Codemultiplex (CDMA), neben Raummultiplex für Zellenstruktur (SDMA). Einsatz bei Übertragungen im FDD-Modus (Frequency Division Duplex): Hierbei stehen für Hin- und Rückkanal jeweils 2 separate Frequenzbänder zur Ver-



fügung  $\leadsto$  gleichzeitiges Senden und Empfangen möglich. Damit sog. Vollduplexbetrieb ermöglicht. Die meisten UMTS-Funknetze werden mit W-CDMA im FDD-Modus realisiert. Wideband- (oder Breitband-) CDMA hauptsächlich von Ericsson, Nokia und japanischen Herstellern entwickelt. Basis: CDMA-Zugriffsverfahren. Allerdings Bandbreite des Übertragungskanal auf 5 MHz erweitert („Wideband“).

**TD-CDMA (Time Division CDMA)**

TD-CDMA ist eine Kombination von TDMA (Time Division Multiple Access) und CDMA sowie SDMA. Es ist eine Ergänzung zu W-CDMA, um zusätzliche Bandbreiten und Sonderanwendungen zu ermöglichen. Um TD-CDMA an das W-CDMA anzupassen, wird Bandbreite auf 5 MHz erhöht. Wie bei GSM erfolgt bei TD-CDMA eine zeitliche Unterteilung der Signale in Zeitschlitz. Zusätzlich kann auf jedem Zeitschlitz über mehrere Codes mehrfach zugegriffen werden. 15 Zeitschlitz mit einer jeweiligen Dauer von 10 ms. TD-CDMA kommt im TDD-Modus (Time Division Duplex) zum Einsatz, bei dem nur ein Träger für Hin- und Rückkanal zur Verfügung steht. Die Signale für Sende- und Empfangsrichtung werden dabei auf einem Kanal kurz nacheinander gesendet (Halbduplexverfahren).

**Zellenarchitektur**

UMTS-Netz (Beispiel Vodafone).

Basiert i.w. auf der GSM-Architektur mit Einbezug GPRS und UMTS-Erweiterungen:

- Zellenarchitektur, UMTS-Inseln, Funkzellenwechsel (Handover, Roaming)
- Räummultiplexing (Wiederverwendung Funkfrequenzen), Codemultiplexing (CDMA),
- Nutzung GPRS-Paketdatenfunk (aus GSM).

Hauptkomponenten

- Funkteilsystem (UTRAN): Funkzellen mit Mobilstation, Luftschnittstelle, NodeB (Basisstation, Sende-/Empfangseinheit; entspricht GSM-BTS: Base Transceiver Station). Funkversorgung der mobilen Teilnehmer.
- Vermittlungsteilsystem (Vermittlungseinrichtungen, Core Network): Vermittlungseinrichtung UMSC, Anschluss an andere Telefon- und Datennetze sowie andere Mobilfunknetze. Einbezug GPRS-Paketvermittlung (aus GSM).

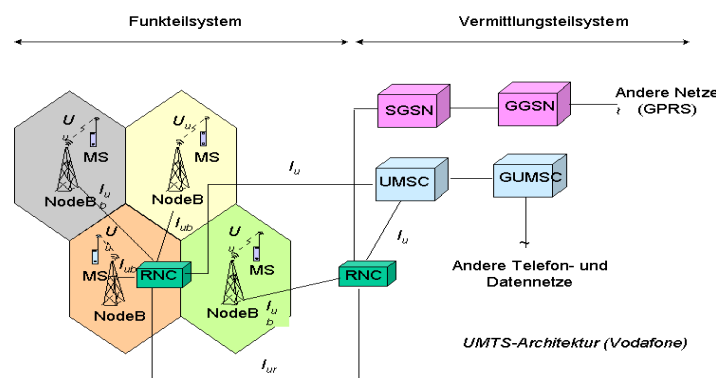


Abbildung 9.13: Zellenarchitektur UMTS-Netz (Vodafone)

Funkteilsystem (UTRAN): NodeB, Mobilstation, RNC, Air interface

NodeB: Basisstation

MS: Mobilstation

RNC: Radio Network Controller

Schnittstellen:  $I_u$  (Luftschnittstelle),  $I_{ub}$ ,  $I_{ur}$ ,  $I_u$

Vermittlungsteilsystem: Core Network, Vermittlungsstellen, GPRS (aus GSM)

UMSC: UMTS Switching Center

GUMSC: Gateway UMSC

SGSN: Serving GPRS Support Node

GGSN: Gateway GPRS Support Node

**Funkteilsystem**

*Mobilstation (MS)*: mobiles Endgerät, DSP (Digital Signal Processor), USIM.

*NodeB*: Basisstation im UMTS (Sende-/Empfangseinheit). Sichert die funktechnische Versorgung einer Funkzelle. Aufgaben wie BTS (Base Transceiver Station) im GSM-System. Über Luftschnittstelle  $U_u$  werden die Sprach- und Paketdaten zwischen NodeB und MS übertragen.

*RNC* (Radio Network Controller): verbindet mehrere NodeB (über Schnittstelle  $I_{ub}$ ). Hauptaufgabe: Weiterreichen von Gesprächen über Funkzellen hinweg (Handover).  $I_{ur}$ -Schnittstelle zwischen einzelnen RNC's. MS während eines Handovers mit NodeB und RNC verbunden. Falls unterschiedliche RNC: Inter-RNC-Soft-Handover.

*RNS* (Radio Network Subsystem): funktechnische Versorgung eines aus mehreren Zellen bestehenden Gebietes, bestehend aus dem RNC und den zugeordneten NodeB.

Gesamtheit aller RNS: UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) – für die Funkanbindung eines Mobilfunknetzes verantwortliches Netzwerk.

### Vermittlungsteilsystem

*UMSC* (UMTS Mobile Switching Center): Mobilvermittlungsstelle im UMTS-Netz. Vermittlung zwischen den RNC's und GUMSC, zuständig für die Weiterleitung von Verbindungen. UMSC und RNC über Schnittstelle  $I_u$  verbunden. Spezielle Gateway-UMSCs (GUMSC) dienen als Übergabepunkte in andere Telefonbzw. Datennetze. Falls Verbindungen in ein externes Netz übergeben werden, wird die Verbindung an das nächstgelegenen GUMSC geleitet. Aus GPRS-Netz übernommen:

- SGSN (Serving GPRS Support Node): Mobilvermittlungsstelle im Paketdatenfunk, regeln im GSM den Zugang zum GSM-Funknetz. Im UMTS für paketvermittelten Datenverkehr (bei Wechsel in GSM-Netz: *Intersystem-Handover* bzw. *3G-2G-Handover*).
- GGSN (Gateway GPRS Support Node): spezielle GPRS-Vermittlungsstellen für Verbindungen zu anderen Telefon- und Datennetzen sowie zu anderen Paketfunknetzen. GGSN zum UMTS-Netz über SGSN und RNC's verbunden.

### Übertragungsraten

Theoretischer Wert: 2 Mbit/s - steht allen aktiven Teilnehmern einer Funkzelle gemeinsam in einem 5-MHz-Kanal zur Verfügung. Da gesamte Bandbreite unter allen aktiven Teilnehmern aufgeteilt wird, werden auch die 2 Mbit/s auf alle aktiven UMTS-Nutzer einer Funkzelle aufgeteilt. Aus technischen Gründen z.Zt. max. 384 kbit/s verfügbar (6-fache ISDN-Datenrate).

#### **High Speed Downlink Packet Access (HSDPA):**

UMTS-Standard Version 5 sieht Verbesserung der Übertragungsraten und Verringerung der Übertragungsverzögerung beim Datentransport auf dem DSCH (Downlink Shared Channel) vor. Realisierung eines paketvermittelten Breitbandzuges in UMTS (in Ergänzung zu DSL-Zugangsleistung): 1,8 (2006) ... 7,2 Mbit/s.

#### **Zellatmung**

Effektive Größe einer Funkzelle „schrumpft“, je mehr Teilnehmer (TN) innerhalb einer Zelle eingebucht sind ~> Effekt als Zellatmung (engl.: cellbreathing) bezeichnet. Bei UMTS ist Zellradius von Teilnehmeranzahl abhängig. Gesamt-Rauschpegel erhöht sich bei jedem neuen TN im Frequenzband durch die Störinterferenzen. Falls zu viele TN, kann max. Sendeleistung eines am Zellrand der Funkzelle sich aufhaltenden TN nicht mehr ausreichen, um das Signal des TN an der Basisstation (NodeB) auswerten zu können. Nutzsignal dann vom Rauschen übertönt und TN verliert seine UMTS-Verbindung ~> Zelle somit „geschrumpft“. In verkehrsstarken Gebieten kann Zellatmung bei ungünstiger Planung zu Funklöchern führen.

## 9.4.2 Implementierungen (Lizenz, Einsatz)

### Lizenzvergabe in Deutschland

17.08.2000: Lizenzvergabe, ca . 50 Milliarden Euro. Stand nach 173 Runden:

T-Mobile (Telekom)	8.478 Mrd. €	Probleme wg. Milliardenausgabe
Viag Interkom	8.444 Mrd. €	

Vodafone (O2) / Mannesmann Group 3G	8.423 Mrd. €	Rücksetzung der Erwartungen
E-Plus (KPN <sub>Niederlande</sub> ) / Hutchinson	8.408 Mrd. €	
Mobilcom / Quam (Telefonica, Sonera)	8.394 Mrd. €	Probleme wg. Milliardenausgabe
Debitel	8.370 Mrd. €	kein Netz in DE aufgebaut freiwillig ausgeschieden

Hochgesteckte Erwartungen bis 2005 nicht erfüllt, Milliardenpoker, hohe Finanzlasten. Verbesserung in 2006: installierte Netze, Nutzerzahlen, Breitband-UMTS.

**Einsatz (Bilanz aus August 2005)**

Erster Start Febr. 2004 durch Vodafone: zunächst UMTS-Datenkarte für Surfen im Internet und Emails, später UMTS-Handy mit Videotelefon; 530 000 Kunden. T-Mobile: erreicht mit seinem UMTS-Netz gemäß Auflage ca. 55 % der Deutschen. Für Datenübertragung auch andere Mobilfunk-Technologien genutzt (WLAN, HotSpots). UMTS-Einsatz vorrangig in Ballungsgebieten, auf Land eher GPRS-Nutzung für Fotoübertragung.

Sachsen: 60 % mit UMTS versorgt, Dresden / Leipzig / Chemnitz komplett. Alle Städte mit > 10 000 Einwohnern sollen mit UMTS-Netzen ausgestattet werden. Verbesserung ab 2006.

**Breitband-UMTS**

UMTS und HSDPA als Alternative zum DSL-Festnetzanschluss: somit Voraussetzungen für mobiles Surfen, Video-Streaming, Telefonie, TV.

UMTS-Netze: weltweit ca. 80 UMTS-Netze, davon ca. 60 in Europa. (12/2006).

Nutzerzahlen:	Japan:	22,4 Mill. Nutzer
	Italien:	5 Mill. Nutzer
	Großbritannien:	4,7 Mill. Nutzer
	Deutschland:	2,3 Mill. Nutzer (weltweit viertgrößtes Netz)

Aufrüstung UMTS (bisher 384 kbit/s) mittels HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), auch als Turbo-UMTS (T-Mobile) oder Broadband-UMTS (Vodafone) bezeichnet:

1,8 Mbit/s 2006 ~> später 3,6 Mbit/s ~> 7,2 Mbit/s.

Neben den Flatrates bieten alle 4 MF-Netzbetreiber (T-Mobile, Vodafone, E-Plus, O2) auch volumen- und zeitbasierte Tarife an.

*Volumentarife:* web'n'walk XL (T-Mobile) *Sitzungstarife:* Web-Session (gebührenfrei Fair-Flat (Vodafone, O2) für bestimmtes Δt, z.B. bei Vodafone).

Alternativen: Wo HSDPA nicht verfügbar, dort UMTS (384 kbit/s), sonst GPRS (56 kbit/s).

T-Mobile als einziger Anbieter von EDGE in DE mit Datenturbo für GPRS mit 220 kbit/s.

**9.5 Architektur Standard ETSI/UMTS**

**9.5.1 Global Multimedia Mobility (GMM)**

**Global Multimedia Mobility (GMM)**

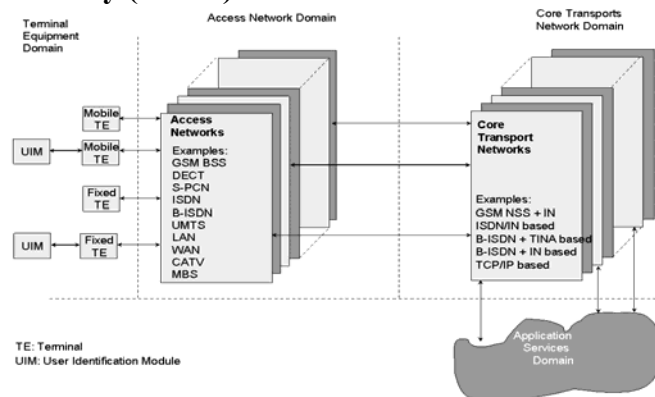


Abbildung 9.14: Global Multimedia Mobility (GMM)

GMM: Basis für den Aufbau von UMTS. Einteilung in verschiedene Bereiche (Domains) zur physikalischen Trennung.

UMTS-Domains: User Equipment Domain, Access Network Domain, Core Network Domain.

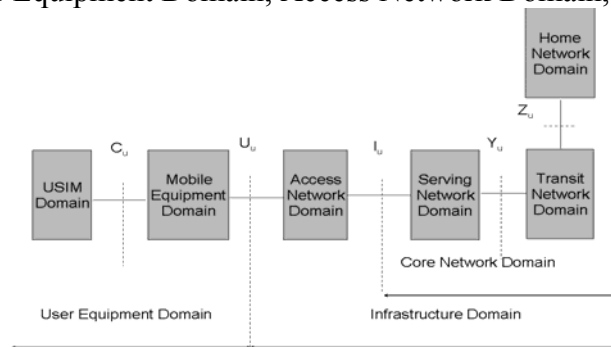


Abbildung 9.15: UMTS Domains

UMTS-Schnittstellen an den Bezugspunkten

$C_u$  (zwischen SIM-Karte und Endgerät)

$U_u$  (Luft-SS zwischen mobilen Endgerät und Zugangnetz im Infrastrukturbereich)

$I_u$  (zwischen Zugangnetz und Dienstenetz)

$Y_u$  (zwischen Dienstenetz und Transit-Netzwerk)

$Z_u$  (zwischen Transit-Netzwerk und Heim-Netzwerk)

### User Equipment Domain (UED)

UMTS-Domain UED zur Spezifikation des mobilen Endgerätes. Das Universal Subscriber Identity Module (USIM) enthält alle Informationen und Funktionen, die zur Verschlüsselung und Authentisierung des Endgerätes gegenüber Netz notwendig sind (analog SIMGSM). USIM-Karte konform zu ISO/IEC Spezifikationen 7816.

2 Kartenformate: Kreditkarten- und Plug-in-Format. Physikalisch ist USIM auf einer SIM-Karte untergebracht. Die Schnittstelle am Bezugspunkt  $C_u$  verbindet die SIM-Karte mit dem Endgerät. Am Bezugspunkt  $U_u$  ist das mobile Endgerät über die Luftschnittstelle mit dem Zugangnetz im Infrastrukturbereich verbunden. Endgerät enthält in einem speziellen Teil, dem sog. Mobile Termination (MT), alle zur Funkübertragung notwendigen Funktionen und weiterhin die Teilnehmerschnittstelle am *Terminal* (TE), über die Ende-zu-Ende-Verbindungen zwischen den Anwendungen realisiert werden. Ohne USIM nur Notrufe möglich.

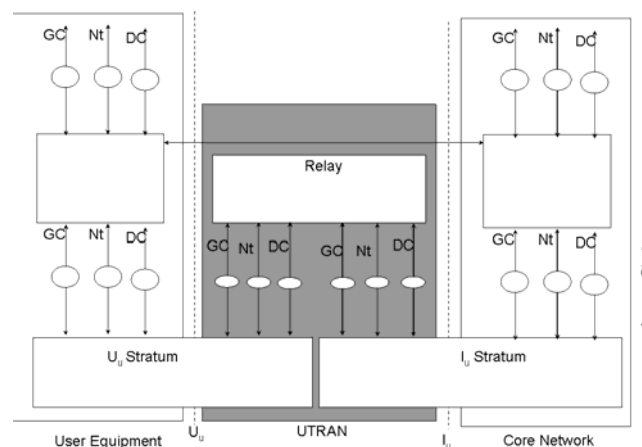


Abbildung 9.16: Zugangsebene mit UTRAN

Dienstzugangspunkte:

GC (General Control): unbestätigter Verteildienst, allgemeine Informationen

Nt (Notification): unbestätigter Verteildienst, Funk-/Nachrichten-Dienste

DC (Dedicated Control): Rufauf/abbau, Nutzdatenübertragung

### **Access Network Domain (AND)**

UMTS-Domain AND ist Teil der Infrastructure Domain. Zugangsnetz (Access Network Domain, AND) realisiert für die Teilnehmer den Zugang zum UMTS-Netz und die Verbindung zum Transportnetz. Die AND ist entweder durch ein UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) oder durch ein GSM-BSS realisiert.

### **Core Network Domain (CND)**

CND ist Teil der Infrastructure Domain. Das Kernnetz (*Core Network Domain*, CND) ist im UMTS eine integrale Plattform, die aus verschiedenen Transportnetzen bestehen kann, wie PDN- (z.B. Internet), GSM-, N-ISDN- oder B-ISDN-Transportnetzen, die über Netzübergänge (*Interworking Unit*, IWU) miteinander verbunden sind (N: Narrowband, B: Broadband).

Die CND ist weiter unterteilt in die Unterbereiche

- *Serving Network Domain* (SND),
- *Home Network Domain* (HND),
- *Transit Network Domain* (TND).

Die SND (Serving Network Domain) ist am Bezugspunkt  $I_u$  mit dem Zugangsnetz verbunden und beinhaltet alle für den Teilnehmer ortsabhängigen Funktionen, die der *Bewegung des Teilnehmers* innerhalb des Netzes folgen. SND realisiert weiterhin die Vermittlung von leitungs- und paketvermittelten Verbindungen.

HND (Home Network Domain) spezifiziert die Funktionen des Transportnetzes, die einen Bezug zu einem festen, vom jeweiligen Aufenthaltsort des Teilnehmers unabhängigen Ort haben. Insbesondere sind dies Funktionen zur Verwaltung von für einen Teilnehmer signifikanten Informationen oder zur Erbringung von ortsspezifischen Diensten, die nicht von der SND angeboten werden. In der HND sind die wesentlichen Funktionen angeordnet, die zur Erbringung von Diensten durch sog. *Service Provider* erforderlich sind. Weiterer Unterbereich der CND ist die TND (Transit Network Domain), die die Schnittstelle zu anderen Netzen realisiert.

## **9.5.2 Zugangsebene (Access Stratum) und Kernnetz**

### **Zugangsebene (Access Stratum)**

Die Zugangsebene (*Access Stratum*) wird durch die beiden Protokollstapel an den Bezugspunkten  $U_u$  und  $I_u$  zusammen mit der *Relay*-Funktion des UTRAN gebildet. Einordnung des UTRAN und der Zugangsebene in die UMTS-Architektur s. Abb. 9.16.

Zugangsebene dient zur transparenten Übertragung von Informationen zwischen der *Core Network Domain* (CND) und der *User Equipment Domain* (UED). Sie bietet Dienste über folgende **Dienstzugangspunkte** (SAP: Service Access Points) an:

*General Control (GC)*: Über GC-Dienstzugangspunkt wird ein unbestätigter Verteildienst zur Übermittlung von nicht nutzerspezifischen Informationen an Endgeräte innerhalb eines bestimmten geographischen Gebietes erbracht.

*Notification (Nt)*: Nt-Dienstzugangspunkt stellt Verteildienste zur unbestätigten Übertragung von nutzerspezifischen Informationen zur Verfügung. Über den Nt werden Funkruf- und Benachrichtigungsdienste realisiert.

*Dedicated Control (DC)*: Über DC-Dienstzugangspunkt werden Rufaufbau und Rufabbau sowie Nutzdatenübertragung realisiert. Rufaufbaudienst bietet gleichzeitig die Möglichkeit, bereits mit dem Rufaufbau Nachrichten zu übermitteln. Den einzelnen Übertragungsdiensten können Dienstgütern zugeordnet werden.

### **Kernnetz**

Das Kernnetz (*Core Network*), CN) ist logisch aufgeteilt in

- eine Circuit Switched Domain (CSD) für kanalvermittelte Dienste und
- eine Packet Switched Domain (PSD) für paketvermittelte Dienste.

Analog dazu ist die  $I_u$ -Schnittstelle zwischen Kernnetz und UTRAN logisch in die  $I_{uCS}$  und die  $I_{uPS}$  gegliedert. Zur CSD gehören alle funktionalen Einheiten des Kernnetzes, die zur Erbringung des kanalvermittelten Dienstes einschließlich der Signalisierung notwendig sind. Beim kanalvermittelten Dienst werden Betriebsmittel bei Verbindungsaufbau belegt und erst bei Verbindungsabbau wieder freigegeben. Entsprechendes gilt für die PSD, wobei Pakete unabhängig voneinander übertragen werden können.

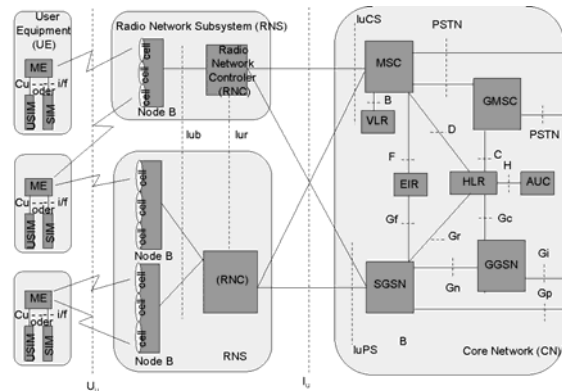


Abbildung 9.17: Architektur Zugangsebene und Kernnetz

ME: Mobile Equipment	SGSN: Serving GPRS Support Node
HLR: Home Location Register	GMSC: Gateway Mobile-services Switching Center
EIR: Equipment Identification Register	AUC: Authentication Center
MSC: Mobile-services Switching Center	GGSN: Gateway GPRS Support Node
VLR: Visitor Location Register	

Die einzelnen funktionalen Elemente gehören entweder zur PSD oder CSD oder werden von beiden gemeinsam genutzt.

Zur CSD (Circuit Switched Domain) gehören

- das Mobile-services Switching Centre (MSC),
- das Gateway Mobile-services Switching Centre (GMSC),
- das Visitor Location Register (VLR).

Zur PSD (Packet Switched Domain) gehören

- der Serving GPRS Support Node (SGSN),
- der Gateway GPRS Support Node (GGSN).

Die funktionalen Elemente des Kernnetzes entsprechen

- in der CSD im wesentlichen denjenigen des GSM und
- in der PSD denjenigen des *General Packet Radio Service* (GPRS).

### UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

*UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN) kennzeichnet die Funktionen und Protokolle zur *Datenübertragung über das terrestrische Funkzugangnetz*. Die Funktionen und Protokolle sind innerhalb der AND angesiedelt. Hierzu gehören die Protokolle am Bezugspunkt  $U_u$  zwischen dem MT (Mobile Termination, User Equipment Domain) und der AND (Access Network Domain) und die Protokolle am Bezugspunkt  $I_u$  zwischen der AND und dem Transportnetz. Das UTRAN bildet die Schnittstelle zwischen diesen beiden Bezugspunkten und beinhaltet daher Instanzen der  $U_u$ - und  $I_u$ -Protokollstapel.

### Funktionaler Aufbau des UTRAN

UTRAN besteht aus Anzahl von Funkteilsystemen (*Radio Network Subsystem*, RNS), die über  $I_u$ -Schnittstelle mit Transportnetz des CN verbunden sind. Zu einem Funkteilsystem gehören ein *Radio Network Controller* (RNC) und ein oder mehrere *Node B*. Node B ist eine logische Einheit, verantwortlich für die Funkübertragung in einer oder mehreren Zellen; sie kommuniziert über den Bezugspunkt  $I_{ub}$  mit dem TNC. Zur Teilnehmerseite (*User Equip-*

ment, UE) hin enthält ein *Node B* nur die physikalische Schicht des Uu-Protokollstapels. Jeder Verbindung zwischen einem UE und dem UTRAN ist ein RNC im sog. *Serving Radio Network Subsystem* (SRNS) zugeordnet. Werden einer Verbindung bei Bedarf von einem anderen RNC weitere Funkbetriebsmittel, z.B. für einen Soft-Handover, zur Verfügung gestellt, so wird das zugehörige RNS als *Drift Radio Subsystem* (DRNS) bezeichnet. Die Einstufung eines RNS als SRNS oder DRNS erfolgt verbindungsbezogen. Zwischen SRNS und DRNS besteht eine logische Verbindung am Bezugspunkt  $I_{ur}$ , die physikalisch auf die  $I_u$ -Schnittstelle abgebildet wird. Eine Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen dem UE und dem CN besteht nur über die  $I_u$ -Schnittstelle am SRNS.

### Funktionen des UTRAN (Überblick)

Funktion	Bemerkung
Admission Control	Zugriffssteuerung, Vermeidung von Überlastsituationen
Congestion Control	Stabiler Zustand bei Überlastsituationen
System Information Broadcasting	Informationsbereitstellung für Mobilstationen
Verschlüsselung auf Funkkanal	Schutz vor unerlaubtem Decodieren an Luftschnittstelle
Handover	Mobilitätsverwaltung und Dienstgüte, Weiterleitung
SRNS-Verlagerung	Rollenwechsel des RNC infolge Mobilität der Mobilstation
Konfiguration des Funknetzes	Konfiguration, Aktivierung/Deaktivierung Betriebsmittel
Funkkanalmessungen	Abschätzung der Qualität des Funkkanals
Makrodiversität	Vervielfältigung Datenströme, gleichzeitige Übertragung
Funkträgersteuerung	Umkonfigurierung von Funkdiensten, Rufauf/-abbau
Funkbetriebsmittelverwaltung	Unsymmetrische Verkehrslasten, Verbesserung Dienstgüte
DÜ über Funkschnittstelle	Übertragung von Nutz- u. Steuerdaten über Luftschnittstelle
Leistungssteuerung	Steuerung der Sendeleistung und Verbindungsqualität
Leistungssteuerung FDD-Modus	Auf-/Abwärtsstrecke, innerer und äußerer Regelkreis
Leistungssteuerung TDD-Modus	analog FDD-Modus, Messungen in Abwärtsstrecke
Kanalcodierung	Hinzufügen systematischer Redundanz zur DÜ-Sicherung
Zufallszugriff	Erkennen und Handhaben von Erst-Zufallszugriffen

### 9.5.3 Funkschnittstelle am Bezugspunkt $U_u$

#### Protokollstapel

Protokollstapel am Bezugspunkt  $U_u$  ist unterteilt in

- Bitübertragungsschicht,
- Sicherungsschicht,
- Vermittlungsschicht.

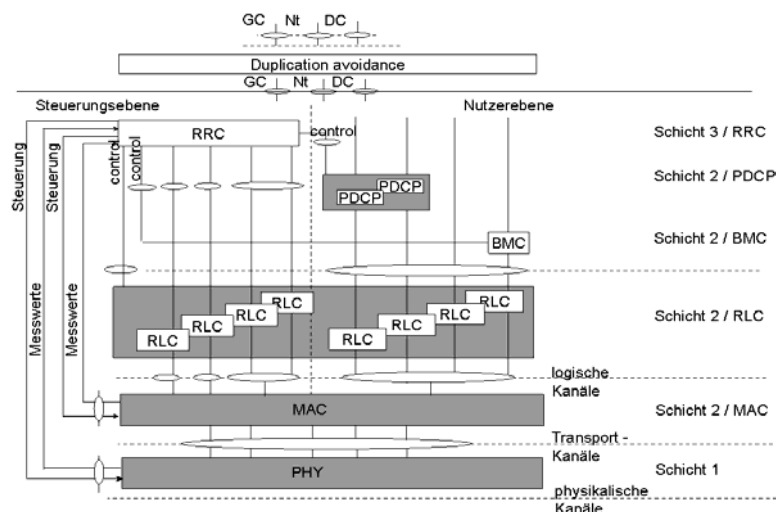


Abbildung 9.18: Protokollstapel am Bezugspunkt  $U_u$

Sicherungsschicht gesplittet in die Teilschichten

- *Medium Access Control (MAC)*,
- *Radio Link Control (RLC)*,
- *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)*,
- *Broadcast/Multicast Control (BMC)*.

Vermittlungsschicht besteht aus den beiden Teilen

- *Radio Resource Control (RRC)* und
- *Duplication Avoidance*, wobei nur die RRC-Schicht auch im UTRAN endet.

Die korrespondierende Instanz der *Duplication Avoidance* gehört nicht zum UTRAN, sondern ist ins *Core Network* ausgelagert. In der Schicht 3 und RLC-Schicht wird in Nutzer- und Steuerungsebene unterschieden, wobei die PDCP- und BMC-Schicht ausschließlich zur Nutzerebene gehören.

### 9.5.4 Aspekte der Schichtenarchitektur

#### Bitübertragungsschicht

##### Transportkanäle

Übertragungsdienste der Bitübertragungsschicht werden an den Dienstzugangspunkten über sog. Transportkanäle, die Dienste der MAC-Schicht über die logischen Kanäle erbracht. Für jedes UE (User Equipment) gibt es in der Steuerungsebene genau einen Dienstzugangspunkt der RLC- und der MAC-Schicht.

Bitübertragungsschicht erbringt Transportdienste für die MAC-Schicht an ihren Dienstzugangspunkten. Die Dienste sind dadurch gekennzeichnet, in welcher Art und Weise mit welcher Güte die Daten übertragen werden. Dienste der Bitübertragungsschicht werden daher auch Transportkanäle genannt.

##### Aufgaben der Bitübertragungsschicht:

Fehlerschutz/-erkennung für Transportkanäle mittels *Forward Error Correction (FEC)*, Messen der Übertragungseigenschaften des Funkkanals und Übermittlung der gemessenen Parameter, wie Bitfehlerhäufigkeit, Störabstand oder Sendeleistung an die RRC-Schicht, Vervielfältigen/Zusammenführen von Datenströmen bei Makrodiversität oder Soft-Handover, Gewichtung und Zusammenführen verschiedener physikalischer Kanäle, Multiplexen von Transportkanälen und demultiplexen des *Coded Composite Transport Channel (CCTrCH)*, Anpassen der Übertragungsrate (*Rate Matching*), Abbildung des CCTrCH auf physikalische Kanäle, Spreizen und Modulation der physikalischen Kanäle, Signalverarbeitung im Bandpaßbereich, Frequenz-, Chip-, Bit-, Zeitschlitz- und Rahmensynchronisation, Leistungssteuerung. Die Bitübertragungsschicht bildet die Transportkanäle auf physikalische Kanäle ab. Jedem Transportkanal ist ein sog. Transportformat oder ein Satz von Transportformaten zugeordnet ~> legen die Art der Abbildung fest. Ein Transportformat legt insbesondere die Kanalcodierung, die Verschachtelung und die Bitrate fest.

##### Mehrfachzugriff

Informationsübertragung über die Funkschnittstelle im UMTS basiert auf einer Kombination der Mehrfachzugriffsverfahren

- *Time Division Multiple Access (TDMA)*,
- *Frequency Division Multiple Access (FDMA)* und
- *Code Division Multiple Access (CDMA)*.

Kennzeichnend für das CDMA-Verfahren ist die Übertragung eines schmalbandigen Funksignals in einem breiten Frequenzspektrum, wobei das schmalbandige Signal durch eine geeignete Codiervorschrift auf ein breitbandiges Signal abgebildet wird, sog. Codespreizung. Jedem Benutzer eines Funksystems wird jeweils eine geeignete Codiervorschrift zugewiesen,



durch die das zu übertragende Signalspektrum auf ein Vielfaches seiner Originalbandbreite gespreizt wird. Die so erhaltenen Signale werden im gleichen Frequenzband übertragen.

## **Sicherungsschicht (MAC, RLC, BMC, PDCP)**

### **Teilschichten und Dienste**

Sicherungsschicht besteht aus insgesamt 4 Teilschichten:

- *Medium Access Control (MAC)*,
- *Radio Link Control (RLC)*,
- *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)*,
- *Broadcast/Multicast Control (BMC)*,

wobei die BMC- und die PDCP-Teilschicht nur der Nutzerebene angehören. Sicherungsschicht stellt folgende Dienste bereit: Datenübertragung mit verschiedenen Dienstgüten, Schicht-2-Verbindungsaufbau und -abbau, Rundsendedienste, Anpassung an nicht-UTRAN-Protokolle, z.B. TCP/IP.

### **MAC-Teilschicht**

#### ***Dienste der MAC-Teilschicht***

Dienste der MAC-Teilschicht für die RLC-Teilschicht werden mit Hilfe sog. logischer Kanäle erbracht. Über diese wird die unbestätigte Übertragung von Dienstdateneinheiten (Service Data Unit, SDU) der MAC-Schicht zwischen MAC-Partnerinstanzen realisiert. Hierbei sind die SDU's in der MAC-Schicht nicht segmentiert.

Die logischen Kanäle werden innerhalb der MAC-Schicht auf die Transportkanäle abgebildet. MAC-Schicht erstellt für RRC-Schicht (Vermittlungsschicht) Messwertberichte, z.B. Informationen zu Auslastung, Dienstgüte. RRC-Schicht entscheidet bei Bedarf über eine Umkonfigurierung der belegten Betriebsmittel. Umkonfigurierung der MAC-Parameter beinhaltet z.B. das Wechseln des TFS (Transport Format Set) oder des Transportkanals.

#### ***Funktionen der MAC-Teilschicht***

Auswahl eines geeigneten Transportformats (TF), Verwaltung von Prioritäten, Verwaltung gemeinsamer Transportkanäle, Multiplexen logischer Kanäle auf Transportkanäle, Wechseln des Typs eines Transportkanals, Verschlüsselung, Zufallszugriff.

Logische Kanäle sind die Dienste der MAC-Schicht für die RLC-Teilschicht

- Steuerkanäle (Control Channels): übertragen Informationen der Steuerebene,
- Verkehrskanäle (Traffic Channels): übertragen Informationen der Nutzerebene.

Logischer Kanal ist durch die Art der übertragenen Informationen definiert. Es gibt 8 verschiedene logische Steuerkanäle.

### **RLC-Teilschicht**

#### ***Dienste der RLC-Teilschicht***

RLC-Schicht erbringt der darüber liegenden Schicht folgende Dienste:

Auf- und Abbau einer RLC-Verbindung, Transparente Datenübertragung, Unbestätigte Datenübertragung, Bestätigte Datenübertragung, Einstellen der Dienstgüte, Melden von nicht-behebbarer Übertragungsfehlern. Transparente, bestätigte und nicht-bestätigte Datenübertragungsdienste werden auf verschiedene logische Kanäle abgebildet.

#### ***Funktionen der RLC-Teilschicht***

Zur Erbringung des Transportdienstes sind innerhalb der RLC-Teilschicht folgende Funktionen erforderlich: Segmentierung und Wiederherstellung, Verkettung von RLC-SDUs, Auffüllen von PDUs, Fehlererkennung, Fehlerkorrektur, Folgerichtige Übertragung von RLC-SDUs, Erkennen von Mehrfachübertragungen, Flusssteuerung, Verschlüsselung, Aussetzen und Wiederaufnahme der Datenübertragung.

### **BMC-Teilschicht**

Aufgabe der BMC-Schicht ist das Übermitteln von Nachrichten an alle oder einige UE (User Equipment) in einer Zelle. Die BMC-Teilschicht existiert nur in der Nutzerebene und ist transparent für alle Dienste außer für Rundrufdienste (*Broadcast/Multicast*). Die BMC-Schicht besteht im UTRAN aus einer Instanz der BMC-Entity pro Zelle. Die Übertragung von BMC-PDUs erfolgt mittels des unbestätigten Übertragungsdienstes der RLC-Schicht über einen CTCH (Common Traffic Channel).

### **PDCP-Teilschicht**

PDCP-Teilschicht ist eine Anpassungsschicht zur transparenten Übertragung von Netzschicht-PDUs anderer Protokolle, wie z.B. IP über die Uu-Schnittstelle.

Funktionen der PDCP-Teilschicht: Kompression der Nachrichtenköpfe von PDUs der Netzschicht, Datenübertragung, Puffern von PDCP-SDUs.

## **Vermittlungsschicht (RRC, Duplication Avoidance)**

### **RRC-Schicht (Radio Resource Control)**

RRC-Schicht verwaltet und steuert die Nutzung der Funkbetriebsmittel und hat deshalb über Steuerdienstzugangspunkte Verbindungen zu allen anderen Schichten, um deren Konfiguration zu steuern. Steuerdienstzugangspunkte dienen daher nicht der Kommunikation zwischen Partner sondern ausschließlich zwischen Schichten desselben Protokollstapels. Verbindungen zwischen RRC und niedrigeren Schichten dienen dem *Empfang von Messwerten* der Bitübertragungs- und MAC-Schicht sowie dem *Steuern von Funktionen* in den einzelnen Schichten. RRC-Schicht bestimmt z.B. den Sollwert des inneren Kreises der Leistungsregelung, die in der Bitübertragungsschicht durchgeführt wird. Solange sich die Verbindung des CN zum UTRAN am Bezugspunkt Iu nicht ändert, muss das UTRAN eine verlustlose Übertragung gewährleisten. Dies gilt auch für Handover innerhalb desselben SRNS. Diese Sicherungsfunktion wird von der RLC-Schicht erfüllt. Beim Wechsel des SRNS stellt die Duplication-Avoidance-Schicht sicher, dass dabei keine Daten verloren gehen.

## **Netzwerkschicht**

### **Funktionen der Netzwerkschicht**

- Rundsenden von Nachrichten,
- Funkruf,
- Auf- und Abbau von RRC-Verbindungen zwischen UE (User Equipment) und UTRAN,
- Einrichtung, Auslösung und Konfiguration von Trägerdiensten,
- Zuweisung, Auslösung und Konfiguration von Funkbetriebsmitteln,
- Steuerung der Dienstgüte,
- Mobilitätsfunktionen für die RRC-Verbindung,
- Übertragen und Auswerten von Meßwertberichten,
- Routing von PDU's höherer Schichten,
- Steuerung der Dienstgüte,
- Leistungssteuerung,
- Langsame dynamische Kanalvergabe im TDD-Modus,
- Zellwahl im *Idle Mode*,
- Sicherstellen der Integrität von RRC-Nachrichten,
- Steuerung der Verschlüsselung,
- Timing Advance im TDD-Modus.

### **Aufbau der Netzwerkschicht**

Struktur der RRC-Schicht auf Netzseite

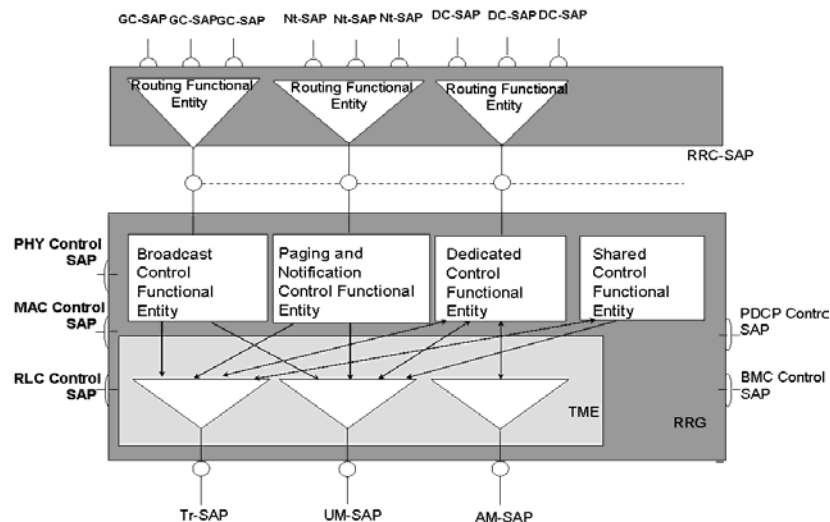


Abbildung 9.19: Struktur der RRC-Schicht

Über die C-SAPs werden Steuerinformationen und Messwerte zwischen RRC-Schicht und den jeweiligen darunterliegenden Schichten ausgetauscht. Die Dienste der RRC-Schicht werden über die Dienstzugangspunkte *General Control (GC)*, *Notifikation (Nt)* und *Dedicated Control (DC)* erbracht.

Die *Routing Functional Entity (RFE)* leitet dabei auf der UE-Seite Nachrichten an verschiedenen Mobilitätssteuerungs- bzw. Verbindungssteuerungs-Entitäts und auf der UTRAN-Seite an verschiedene CNDs weiter.

Alle Rundsendedienste, die über den GC-SAP erbracht werden, sind in der *Broadcast Control Functional Entity (BCFE)* realisiert. Die BCFE kann nur den unbestätigten oder den transparenten Übertragungsdienst der RLC-Schicht nutzen.

Die *Paging and Notification Control Functional Entity (PNFE)* beinhaltet alle Funktionen zur Erbringung von Rundsende- und Benachrichtigungsdiensten, die über den Nt-SAP erbracht werden. Wie BCFE kann PNFE nur den transparenten oder den unbestätigten RLC-Dienst nutzen. UE-spezifische Funktionen sind in der *Dedicated Control Functional Entity (DCFE)* enthalten. RRC-Dienste dieser Entity werden über den DC-SAP erbracht. Die DCFE kann alle Übertragungsdienste der RLC-Schicht nutzen. Im TDD-Modus wird die DCFE zusätzlich durch Funktionen der *Shared Control Functional Entity (SCFE)* unterstützt, die die Belegung des PDSCH und des PUSCH steuert.

Über die *Transfer Mode Entity (TME)* greifen die verschiedenen Entities auf die SAP's der RLC-Schicht zu. Da die Protokolle für die GC, Nt und DC SAPs physikalisch in verschiedenen Einheiten (z.B. Node-B oder SRNC) enden können, können die verschiedenen Dienste auch auf verschiedenen RLC-SAPs des gleichen Typs abgebildet werden.

## 10 Drahtlose lokale Netze (Wireless LAN)

### 10.1 Drahtlose lokale Netze im Überblick

#### 10.1.1 Einordnung und Merkmale

##### Einordnung

Funkwellen als Übertragungsmedium zwischen den Stationen. Vorteile: keine Verkabelung erforderlich, geringe Installationskosten, Endgeräte sind beweglich (portabel):

- Ortsveränderung während Betriebspausen *oder* mobiles Endgerät,
- Terminalmobilität / Nutzymobilität, connected / disconnected mode.

Je nach Funkwellenlänge und Standard unterschieden in

- Lokale Funknetze (W-LAN):  
2 Mbit/s (Entwicklung zu 11... 54 ... 108 ... 300 Mbit/s, indoor/outdoor, 50 – 300 m)  
2 Standards für Funk-LAN: IEEE 802.11 und ETSI HIPERLAN
- Breitbandfunknetze: Mobile Broadband Systems, Wireless ATM (→ IP): 100 Mbit/s
- HomeRF: Industriestandard für Heimelektronik, Kombination Funk und DECT
- Wimax: Breitbandige Funkverbindung, Standard IEEE 802.16a, ab ca. 2006 (3,5 GHz, 70 Mbit/s, bis 50 km)

Hinzu kommen die Netze für die Nahbereichskommunikation (z.T. überlappend mit WLAN).

Einsatz als Raumnetze bzw. körpernahe Netze.

- WPAN: Wireless Personal Area Networks (Basis: Infrarot oder Funkwellen)  
Infrarotnetze: 2 ... 16 Mbit/s (Nahverbindung, im Raum)  
Bluetooth: 1 ... (2) Mbit/s (Nahverbindung, ca. 10 m; 2.4 GHz).  
Zigbee: 250 Kbit/s, 10 – 75 m, 868 / 915 / 2400 MHz  
NanoNet: 2 Mbit/s, 60 – 900 m, 2,4 GHz  
UWB (Ultra Wideband): 200 Mbit/s, 10 m, 3,1 – 10,6 GHz
- Entfernte Identifikation:  
RFID (Radio Frequency Identification): Identifikationstechnik  
NFC (Near Field Communication): Nahverbindung von Geräten, Nutzung RFID
- Sensornetze

##### Charakteristika von W-LANs

Vorteile (infolge drahtloser Verkabelung):

*Kostenfaktor:* Netzwerkverkabelung, Verlegen der Kabel.

*Planungsaspekte:* Verkabelungskonzeption schon bei Planung von Gebäuden, aufwendige spätere Änderung ~> Anzahl Kabel und Dosen für künftige Nutzung auslegen.

In manchen Gebäuden ist das *Verlegen von Kabeln* aufwendig oder unmöglich ~> Einsatz in denkmalgeschützten Gebäuden bzw. bei besonders massiven Wänden.

*Reichweite* von Netzwirkkabeln i.allg. auf ein Gebäude beschränkt. Mit Funk Zugang zu LAN auch außerhalb von Gebäuden im Umkreis von hundert Metern möglich ~> somit auch Gebäude untereinander vernetzbar, ohne Erdarbeiten.

I.allg. sorgfältige *Verkabelung* stationärer Rechner (Verbergen in Kabelschächten). Dagegen Netzwirkkabel von mobilen Rechnern, die nur kurz mit Netzwerk verbunden werden, meistens „fliegend“ verlegt ~> nicht störend, keine gefährliche Stolperfallen.

Durch diese Vorteile sind drahtlose Netze für *klassische Büroumgebungen* und *spontane Netze* (ad-hoc-Netze) besonders geeignet.

Nachteile (vorwiegend aus Benutzung der *Funkübertragung*):

Drahtlose Netze haben gegenüber drahtgebundenen Netzen eine (z.T. deutlich) geringere *Bandbreite* und eine signifikant höhere *Fehlerrate*.

Bei Verwendung des Funkmediums sind ggf. *nationale Restriktionen* zu beachten.

Funksignale über das lokale Netz hinaus abgestrahlt ~> Übertragungen *leicht abhörbar*. Daher sind Mechanismen zur Authentifizierung und Verschlüsselung zu integrieren. HW zur Funkübertragung z.Zt. noch *teurer* als die HW für drahtgebundene Netzwerke.

Bei mobilen Geräten mit eigener Stromversorgung erfordert die Funkübertragung ein erhebliches Maß an *Batteriestrom*.

*Abstrahlung* von Funksignalen: Störung anderer Systeme, auch Wirkung auf Menschen

### Anwendungsbereiche (Auswahl)

*Spontane Netze (ad-hoc-Netze)*, z.B. Einsatz in Messehallen für kurzfristige Demonstrationsaufbauten oder Konferenzschaltungen.

Einsatz drahtloser Netze bei *Katastropheneinsätzen* (z.B. Erdbebengebiete): häufig hierbei drahtgebundene Netzinfrastruktur nicht vorhanden oder beschädigt, kurzfristiger Aufbau einer neuen drahtgebundenen Infrastruktur zu aufwendig.

In *Krankenhäusern*: Gerätschaften müssen auf einfache Weise von Raum zu Raum verschoben werden können, durch eine drahtlose Anbindung ist der Transfer von *Diagnosedaten* möglich. Allerdings muss für einen solchen Einsatz genau geprüft werden, dass die Funksignale vorhandene Geräte nicht stören.

In Produktionsbereichen können *mobile Transporteinheiten* drahtlos mit Rechnern vernetzt werden, die den Produktionsablauf kontrollieren.

Als *hot-spots* für drahtlosen Internet-Zugang (viele Großstädte flächendeckend mit Access Points versorgt, siehe Seattle).

## 10.1.2 Bekannte Standards

### Standard IEEE 802.11

Standardisierung der Zugriffsprotokolle für kabelgebundene LAN: IEEE 802 (MAC, LLC). Um das Sicherungsprotokoll 802.2 (LLC, Logical Link Control) auch bei wireless LAN verwenden zu können, wurde Standard IEEE 802.11 für W-LAN entwickelt. DLC-Schicht (Data Link Control) ist in 3 Subschichten aufgeteilt:

IEEE 802.2 Data Link Control Sublayer (LLC)

IEEE 802.10 Security and Integrity Sublayer

IEEE 802.11 Wireless Media Access Control Sublayer

Für MAC-Subschicht (unterhalb des LLC-Protokolls) wurden *Protokolle für unterschiedliche Frequenzen* (Media 1 bis 4, physikalische Schicht) entwickelt.

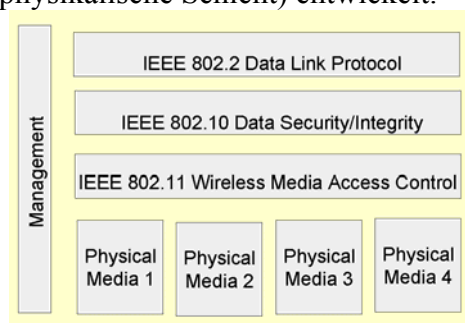


Abbildung 10.1: Protokolle für WLAN (MAC)

### ETSI HIPERLAN

HIPERLAN: High PERFORMANCE Local Area Networks. Zwei Standards für lokale Funknetze (seit Ende 1994): HIPERLAN/1, HIPERLAN/2. Dafür Frequenzen von 5,2 GHz und 17,1 GHz vorgesehen.

Für Benutzer verfügbare maximale Datenrate hängt von der Entfernung der kommunizierenden Stationen ab. Bei kurzen Reichweiten bis zu etwa 50 m wird eine asynchrone Datenrate von 20 Mbit/s erreicht, bei Entfernung von 800 m ca. 1 Mbit/s. Für verbindungsorientierte

Dienste (wie Videotelefonie) werden mindestens 64 kbit/s angeboten. Die maximale Datenrate entspricht dem ISDN Primärmultiplexanschluss mit 2048 kbit/s.

FunkLAN	ETSI-Frequenzzuweisung	Standardisierungsgruppen
W-LAN	2,4 und 5 GHz	
	59 ... 62 GHz (vorerst)	IEEE 802.11
	61 ... 61,5 GHz (B = 500 MHz)	
HIPERLAN	5,15 ... 5,35 GHz oder	ETSI TC RES 10
	5,47 ... 5,65 GHz (B = 150 MHz)	
und	17,1 ... 17,3 GHz (B = 200 MHz)	
Wide Band Data Transmission Systems	2,4 ... 2,5 GHz (B = 100 MHz)	ETSI TC RES 2

Abbildung 10.2: Frequenzzuweisungen für WLAN und HIPERLAN

Weiterentwicklung des HIPERLAN: W-ATM (wireless ATM).

Entwicklung eines auch für gebäudeinterne Kommunikation geeigneten Funksystems, das B-ISDN-Dienste mobilen Teilnehmern verfügbar macht (seit 3. Jahrht. Ersetzen ATM durch IP-Technologien). Datenraten: ca 100 Mbit/s, prognostizierte Inbetriebnahme 2005/2010.

## 10.2 Wireless LAN nach IEEE 802.11

### 10.2.1 WLAN und Protokollarchitektur

#### Wireless LAN und Hot Spots

Begriff *Wireless LAN (W-LAN)* häufig für 2 Arten verwendet: Sammelbegriff für alle drahtlosen lokalen Netzwerke sowie Begriff für drahtlose Netze nach Standard IEEE 802.11.

1997: Start der Spezifikation des W-LAN-Standards nach IEEE 802.11. Erste Spezifikation (1997): Datenraten bis 2 Mbit/s. Erweiterungen (1999): 802.11a (max. 54 Mbit/s) und 802.11b (max. 11 Mbit/s).

W-LAN-Standard hat große Verbreitung im Bereich lokaler Netze erlangt. Auch für sog. *Hot Spots*, d.h. öffentliche Plätze oder Gebäude mit hoher Benutzerzahl, zunehmend für mobilen Zugang zu Web u.dgl. eingesetzt. Somit können Anwender in Hotels, Flughäfen, Bahnhöfen o.a. drahtlos mit dem Internet verbunden werden.

#### Protokollarchitektur für W-LAN nach IEEE 802.11

Standard IEEE 802.11 ist eine von vielen IEEE-802-Netzwerkspezifikationen. Aus IEEE-802-Standards bekannte Einteilung in die Schichten LLC (*Logical Link Control*), MAC (*Media Access Control*) und PHY (*Physical Layer*) wurde in den Standard 802.11 übernommen.

Sicherungsschicht (Data Link Layer)	LLC	802.2 Logical Link Control		
	DLL	MAC	802.11 MAC (Media Access Control)	
Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	PLCP	802.11 PLCP (Physical Layer Convergence Protocol)		
	PHY	PMD	802.11 PMD Infrarot	802.11 PMD FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
				802.11 PMD DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Abbildung 10.3: Protokollarchitektur von IEEE 802.11

PLCP: Physical Layer Convergence Protocol  
PMD: Physical Medium Dependent

LLC-Schicht durch Standard IEEE 802.2 definiert, verbindlich auch für W-LAN. Somit kann Vermittlungsschicht (Schicht 3, OSI-Modell) gleiche Schnittstelle benutzen, unabhängig von Übertragungstechnik in den niedrigen Schichten, z.B. W-LAN, Ethernet oder Token Ring.

W-LAN definiert drei Arten der Bitübertragung:

- 1 \* *Infrarotübertragung* sowie
- 2 \* *Funkübertragungen* (FHSS und DSSS).

Daher Bitübertragungsschicht (PHY) in zwei Teilschichten aufgeteilt:

*Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)*: Bietet der MAC-Schicht einen einheitlichen Zugriff auf die niedrigen Schichten an.

*Physical Medium Dependent (PMD)*: Definiert konkret die verschiedenen Verfahren zur Bitübertragung.

### 10.2.2 Betriebsmodi für WLAN nach IEEE 802.11

#### Zwei Betriebsmodi für W-LAN nach IEEE 802.11

*Infrastruktur-Modus*: Anbindung der mobilen Rechner („Stationen“) erfolgt grundsätzlich über feste Basisstationen („Access Points“). Access Points sind Rechner, die sowohl über drahtlose Anbindung nach IEEE 802.11 als auch drahtgebundene Anbindung (z.B. nach IEEE 802.3) verfügen. Access Point (i.d.R. Spezialgeräte) bieten somit den Stationen einen Zugang zu einem stationären Netz. Drahtgebundenes Medium dient auch den Access Points zum Austausch von Informationen, wenn Stationen zwischen den Funkzellen wandern.

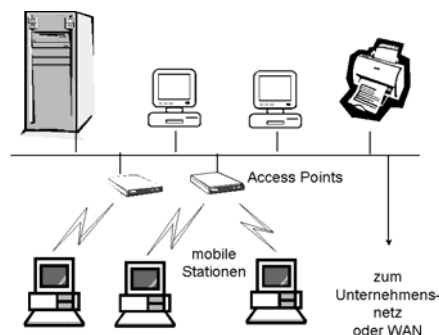


Abbildung 10.4: WLAN-Infrastrukturnetz mit Access Points

*Ad-hoc-Modus*: Hierbei mobile Rechner nur untereinander verbunden, keine Anbindung an festes Netz. Falls kein höheres Protokoll eingesetzt, können nur Stationen miteinander kommunizieren, die in gegenseitiger Reichweite sind.

#### Access Point

Im *Infrastruktur-Modus* realisiert Access Point bestimmte zentrale Funktionen zur Koordination, z.B. Synchronisation der Uhren oder Power Management.

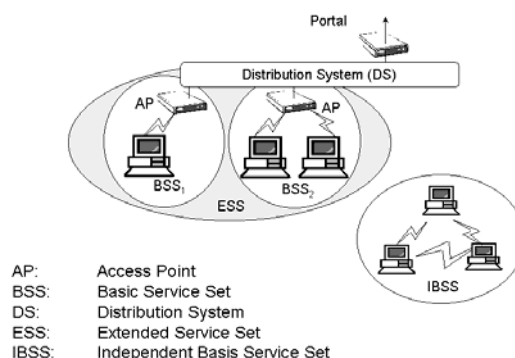


Abbildung 10.5: WLAN Service Sets

Im *Ad-hoc-Modus* alle Stationen gleichberechtigt. Es gibt keine ausgezeichnete Station, die besondere Aufgaben übernimmt. I.d.R. Verfahren im ad-hoc-Modus aufwendiger.

*Service Sets*: Wichtige Entität in Ad-hoc- und Infrastruktur-Netzen nach IEEE 802.11.

- *Basic Service Set (BSS)*: liegt dann vor, wenn zwei oder mehr Rechner miteinander verbunden sind. Einer der Rechner kann dabei ein Access Point sein.
- *Independent Basic Service Set (IBSS)*: einfachstes BSS. Es entsteht, wenn zwei oder mehr Stationen im Ad-hoc-Modus miteinander verbunden werden, d.h. kein Access Point beteiligt ist.
- *Extended Service Set (ESS)*: dabei sind mehrere BSS miteinander verbunden. Konzept des ESS unterscheidet sich aus Sicht der LLC-Schicht nicht von einem IBSS. Um diese Transparenz zu erhalten, müssen die Access Points über ein sog. *Distribution System (DS)* verbunden werden.

IEEE 802.11 legt nicht fest, wie ein DS (Distribution System) aufgebaut ist. Es kann selbst aus drahtlosen oder drahtgebundenen Netzwerken bestehen, die über Brücken verbunden sind. Ein ESS bildet die Voraussetzung für den automatischen Zellenwechsel mobiler Stationen, das so genannte *Roaming*.

### Portal

Bildet die letzte Komponente der IEEE 802.11-Architektur. Ein Portal stellt eine Verbindung zu weiteren Netzwerken dar (i.allg. als logische Komponente). So kann auch ein Access Point die Aufgabe eines Portals übernehmen, wenn hierdurch ein Zugang zu einem stationären Netzwerk ermöglicht wird.

## 10.2.3 Bitübertragungsschicht in IEEE 802.11

### Luftschnittstelle (Air Interface)

In dieser Schicht größte Unterschiede zu drahtgebundenen Netzen, insbes. durch die hohe Fehlerrate an der Luftschnittstelle. Fehlerquellen:

- Rauschen, Mehrwegeausbreitung usw.  $\leadsto$  führt zu Interferenzen,
- Funksignale von anderen W-LAN-Stationen, die mit Übertragungen kollidieren,
- Funksignale von Netzwerken, die gleiche Frequenzen wie W-LAN verwenden, z.B. Bluetooth oder HomeRF,
- Störsignale von Geräten, die eigentlich nicht für die Funkübertragung vorgesehen sind, z.B von Mikrowellenherden, sog. Man-made-Noise.

IEEE 802.11 umfasst nicht nur Funkübertragung, sondern auch eine Infrarot-Variante. Bitübertragung über Air Interface erfolgt auf Frequenzband um 2,4 GHz, auch als ISM-Band (Industrial Science Medical) bezeichnet. Dies in vielen Ländern lizenzfrei nutzbar. Neben 2,4-GHz-ISM-Band gibt es zwei weitere ISM-Bänder um 900 MHz und 5 GHz. Richtwerte für Reichweiten bei der Funkübertragung: 30 m (indoor), 300 m (outdoor).

### Funkübertragung

Zur Funkübertragung stehen 2 Spreizverfahren zur Verfügung: FHSS und DSSS.

#### *FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)*

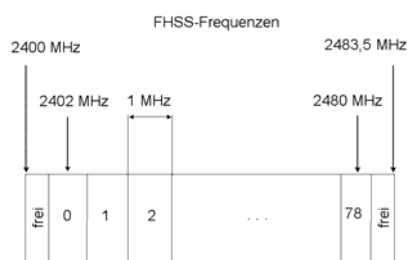


Abbildung 10.6: Verwendete Frequenzen von FHSS



Frequenzsprungverfahren, um Störungen auf einer bestimmten Frequenz zu kompensieren. Verfügbares Frequenzspektrum in fast allen Ländern auf 79 Kanäle aufgeteilt. In Frankreich, Spanien, Japan reduzierter Frequenzbereich: 23 Kanäle. Frequenzen werden in schneller Folge (mind. 2,5-mal pro Sekunde) nach einer Zufallszahlenfolge gewechselt.

Aufbau eines FHSS-Frames

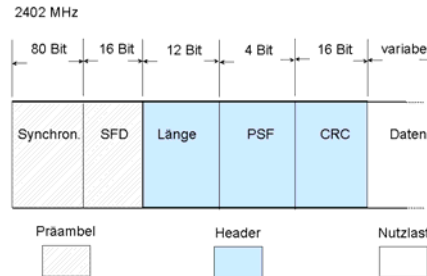


Abbildung 10.7: Format eines FHSS-Frames

Jeder Frame ist in die Teile Präambel, Header und Nutzlast einteilbar. Präambel besteht aus festen Bitfolge. Synchronisation enthält Folge von 0-1-Bits. Startbegrenzung (*Start Frame Delimiter, SFD*) besteht aus einem festgelegten 16-Bit-Wort. Header umfasst drei Felder: ein Feld enthält Länge des Datenfeldes, ein zweites die Datenrate der Nutzlast (*PSF, PLCP Signalling Field*). Das letzte Feld sichert Header mit einer CRC-Prüfsumme. Eigentliche Nutzlast hat eine variable Länge zwischen 0 und 4095 Bytes. Präambel und Header grundsätzlich mit 1 Mbit/s übertragen, während für die Nutzlast 1 und 2 Mbit/s möglich sind.

### **DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)**

DSSS-Verfahren hat sich gegenüber FHSS durchgesetzt. Es basiert auf Bandspreizung nach dem CDMA-Verfahren ~> erlaubt bessere Ausnutzung des Frequenzbandes und ist relativ unempfindlich gegenüber Störungen. IEEE 802.11 sieht für DSSS auf dem ISM-Band 14 Kanäle vor.

Aufbau eines DSSS-Frames

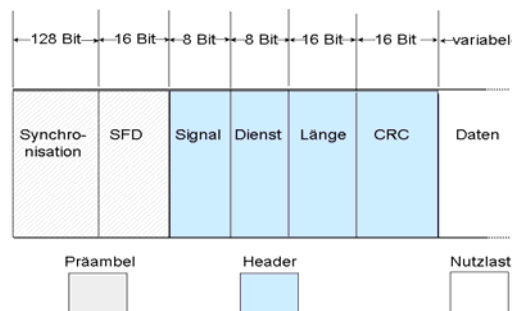


Abbildung 10.8: Aufbau eines DSSS-Frames

Frame beginnt mit Präambel, bestehend aus Synchronisation und SFD (Start Frame Delimiter). Der Header besteht aus einem Feld *Signal*, das i.w. dem Feld PSF von FHSS entspricht, einer Länge und der CRC-Prüfsumme. Das Feld *Dienst* ist für zukünftige Verwendungen reserviert. Eigentliche Nutzlast hat (wie bei FHSS-Frame) eine variable Länge zwischen 0 und 4095 Bytes.

## **10.2.4 Zugriff auf das Funkmedium (MAC-Schicht)**

### **Zugriffsverfahren**

Zugriff auf das Funkmedium regelt MAC-Schicht. Senden gleichzeitig zwei oder mehrere Stationen -> Kollision -> d.h. Daten zerstört. Zwei Möglichkeiten zur Kollisionssteuerung:

- *Verhinderung* der Kollisionen: ggf. lassen sich Kollisionen zwar nicht ganz vermeiden, es wird jedoch versucht, die Wkt. dafür zu reduzieren.

- *Entdeckung* der Kollisionen: Man verhindert Kollision nicht, integriert aber Mechanismen, um sie zu *entdecken* und später zu behandeln.

Analoges Problem bei *drahtgebundenen Netzen* mit gemeinsamen Zugriff auf Kabelmedium. IEEE 802.3 definiert hierzu für Ethernet eine Variante des Verfahrens **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*): Dabei Kollisionen nicht vermieden. Sendende Stationen können Kollisionen erkennen, da sie ständig Medium abhören und feststellen, ob Frames unverändert übertragen werden. Liegen Kollisionen vor, wird Übertragung nach Wartezeit erneut durchgeführt.

Mechanismus zur Kollisionserkennung bei Funknetzen nicht einsetzbar. Sender überdeckt am Sendeort alle Signale anderer Sender. Kollisionen können damit durch Abhören des Mediums durch den Sender nicht erkannt werden. Für W-LAN deshalb alternatives Verfahren: **CSMA/CA** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) ~> hält Wkt. für Kollision gering. Zusätzliches Quittierungsverfahren sichert, dass bei Kollision die Nutzdaten nicht unerkant verloren gehen. IEEE 802.11 definiert drei verschiedene Zugriffsverfahren:

- \* Einfaches CSMA/CA,
- \* CSMA/CA mit RTS/CTS (Request/Clear To Send),
- \* Point Coordination Function (PCF).

Davon nur das „einfache CSMA/CA“ für konkrete WLAN-Realisierung verbindlich, die anderen sind optional. Beide ersten Verfahren sind unter dem Begriff *Distributed Coordination Function (DCF)* zusammengefasst (kommen ohne zentrale Koordination aus). PCF-Verfahren nur im Infrastruktur-Modus verfügbar, erfordern Koordination durch Access Point.

### Einfaches CSMA/CA

Will ein Sender das Medium belegen, so hört er erst das Medium ab. Findet gerade eine Übertragung statt, wird das Ende und zusätzlich eine weitere Wartezeit abgewartet. Ist das Medium dann immer noch frei, wird mit der Übertragung begonnen. Medium-Zugriffsregelung über sog. *Interframe Spaces (IFS)*. 3 Interframe Spaces, die unterschiedliche Prioritäten repräsentieren: DIFS, SIFS, PIFS. Je kürzer ein Interframe Space, umso schneller belegt ein Sender das Medium, desto höher ist damit seine Priorität. Wird das Medium während der Wartezeit wieder von einer anderen Station belegt, beginnt ein sog. *Backoff*-Verfahren. Die sendewillige Station begibt sich wieder in den Wartezustand und hört das Medium ab. Die neue Wartezeit unterscheidet sich dabei von der vorherigen. Das Verfahren wird so oft wiederholt, bis eine Wartezeit vergangen ist, ohne dass das Medium von einer anderen Station belegt wurde.

### CSMA/CA mit RTS/CTS

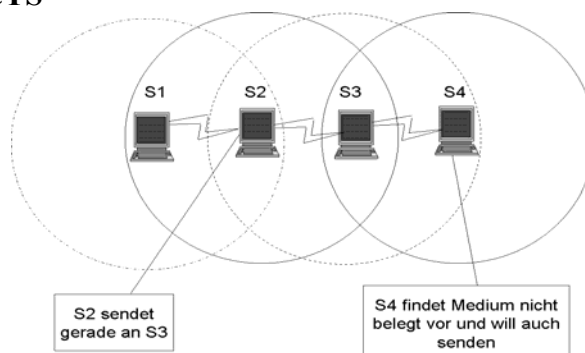


Abbildung 10.9: Hidden-Terminal-Problem

Den bisherigen Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass jede Station jede andere empfangen kann. Damit ist es jeder Station möglich, ein belegtes Medium zu erkennen und entsprechend zu warten. Durch die begrenzte Sender-Reichweite ist diese Annahme jedoch nicht immer gültig („Hidden-Terminal“).

Station 4 kann nur Station 3 empfangen, Stationen 1 und 2 liegen außerhalb der Reichweite. Station 4 könnte daher ein freies Medium ermitteln, obwohl Station 2 gerade an Station 3 sendet. Da Station 3 jedoch sowohl Station 2 als auch Station 4 empfangen kann, würde eine parallele Sendung den Empfang stören ~> Hidden-Terminal-Problem.

Das Hidden-Terminal-Problem wird mit Hilfe eines weiteren Zugriffsverfahren behoben, allerdings optional. Es basiert auf Austausch von zusätzlichen kurzen Frames, sog. RTS- (*Request to Send*) und CTS- (*Clear to Send*) Frames. Sendewillige Station sendet an Empfänger ein RTS-Frame nach einer üblichen Bewerbung um das Medium. Empfänger bestätigt dieses mit einem CTS-Frame. Zwischen den Frames wird lediglich die Zeit *SIFS* (*Short Interframe Space*) gewartet. Durch Austausch dieser Frames gilt das Medium für andere Stationen als belegt. Stationen, die entweder das RTS- oder das CTS-Frame mitgehört haben, begeben sich in den Wartezustand.

Im Beispiel kann Station 4 nicht den RTS-Frame von Station 2 mithören, jedoch die Antwort von Station 3. Damit Medium als belegt betrachtet, obwohl Übertragung nicht empfangbar.

### **Point Coordination Function (PCF)**

Bisherige Verfahren können keine minimale Bandbreite oder maximale Verzögerung für die Datenübertragung garantieren. Im worst case können sich Kollisionen für eine bestimmte Zeit häufen ~> führt zur Beendigung der Übertragung. Für manche Anwendungen sind jedoch Garantien bezüglich Verzögerung und Bandbreite zwingend erforderlich. IEEE 802.11 bietet hierzu das optionale Verfahren *Point Coordination Function (PCF)* an. Für PCF ist eine ausgezeichnete Station notwendig, der sog. *Point Coordinator (PC)*. Funktion wird i.allg. von einem Access Point übernommen. PCF-Verfahren ist nur im Infrastruktur-Modus verfügbar. PCF-Modus wechselt sich mit DCF-Modus ab (DCF: Distributed Coordination Function). Möchte Point Coordinator in PCF-Modus wechseln, muss er erst darauf warten, dass das Medium frei ist. Danach sendet er nach der Wartezeit *PIFS* (*PCF Interframe Space*) einen Frame, der den Start des PCF-Modus für alle Stationen anzeigt.

## **10.2.5 Weitere Funktionen der MAC-Schicht**

### **Uhrensynchronisation**

Beteiligte Stationen benötigen eine gemeinsame Zeitbasis. Viele Netzfunktionen erfordern genau synchronisierte Uhren, z.B. bei Berechnung der Wartezeit für Mediumzugriff oder beim Wechsel der Frequenzen beim FHSS-Verfahren. Standard bietet zur Uhrensynchronisation eine Funktion, sog. *Timing Synchronization Function (TSF)*.

Synchronisation erfolgt über Beacon-Frames, die periodisch ausgesendet werden und neben wichtigen Verwaltungsinformationen die lokale Zeit beinhalten. Alle Stationen, die einen Beacon-Frame empfangen, korrigieren darauf ihre internen Uhren. Eine Station, die einen Beacon-Frame nicht fehlerfrei empfängt, fordert kein neues Beacon an, stattdessen wartet sie auf den nächsten. Die Übertragung von Beacons findet in periodischen Abständen statt. Da die Station, die das Beacon generiert, jedoch das Backoff-Verfahren durchführen muss, kann es u.U. verzögert versendet werden.

### **Power Management**

Mobile Geräte müssen Batteriestrom sparen. Funkeinrichtungen zum Senden und Empfangen verbrauchen viel Energie ~> ökonomischer Einsatz wichtig. Eine Möglichkeit Batteriestrom zu sparen: komplette Sende- und Empfangselektronik wird deaktiviert, wenn nicht benötigt, sog. schlafender Zustand (*Sleep Mode*). Wenn Übertragung ansteht, wird Funk-HW wieder aktiviert und Station wechselt in sog. wachen Zustand (*Awake Mode*).

Eine Anwendung, die Pakete sendet, kann leicht die *Zeitpunkte* ermitteln, bei denen Station in den wachen Zustand wechseln muss. Allerdings müssen evtl. auch Pakete empfangen werden.

Hier Zeitpunkte nicht klar, da Pakete zu beliebigen Zeitpunkten eintreffen können ~> zumindest müsste Empfangs-HW ständig eingeschaltet bleiben.

Standard sieht zur Lösung des Problems folgendes *Verfahren* vor:

- Begibt sich eine Station in schlafenden Zustand, werden alle an Station gerichteten Pakete vom Sender zwischengespeichert. Periodisch muss sich Station aus schlafenden Zustand in wachen Zustand begeben und zwischengespeicherte Pakete abholen. Danach geht sie wieder in schlafenden Zustand. Zeit der Schlafperiode ist anwendungsabhängig und sollte deshalb von der entsprechenden Anwendung gesteuert werden.
- Eine Schlafperiode wird außerplanmäßig immer dann sofort beendet, wenn die lokale Anwendung Pakete versenden möchte.

### **Roaming**

Reichweite eines Access Points liegt bei etwa 30 m innerhalb von Gebäuden. Soll ein ganzes Gebäude mit W-LAN ausgestattet werden, müssen u.U. mehrere Access Points eingerichtet werden. Mobiler Endbenutzer hat dabei folgende Anforderungen: Homogenes Netz, d.h. unabhängig an welcher Position eine Station eingeschaltet wird. Bewegt sich die Station räumlich, so soll Zugang zum Netz auch während einer laufenden Übertragung erhalten bleiben. Zugehöriger Mechanismus: *Roaming* (Begriff Roaming hat bei MFN andere Bedeutung). Roaming in WLANs eher mit Begriff *Handover* vergleichbar, da dieser einen Zellenwechsel beschreibt. Historisch jedoch Begriff Roaming durchgesetzt und durchgängig verwendet.

*Roaming in 802.11* wird in den folgenden Schritten durchgeführt: Zuerst erkennt mobile Station, dass Sendestärke eines Access Points zu niedrig ist. Daraufhin sucht sie nach einem neuen Access Point, indem sie entweder durch passives Mithören einen neuen Access Point auffindig (*Passive Scanning*) oder durch spezielle Frames auf sich aufmerksam macht (*Active Scanning*).

Ist ein geeigneter Access Point gefunden, registriert sie sich dort und wartet auf eine Quittung. Der neue Access Point muss nun die Information über den Zellenwechsel im Netzwerk bekannt geben. Insbesondere muss er den alten Access Point darüber informieren, dass dieser nun nicht mehr für die entsprechende Station verantwortlich ist. Verfahren funktioniert nur, wenn sich die Access Points über das *Distribution System* untereinander verständigen können. Dies bedeutet, dass sie direkt miteinander vernetzt sind. Für größere Flächen, beispielsweise eine ganze Stadt oder gar die gesamte Erdoberfläche, ist dieses Verfahren nicht mehr sinnvoll einsetzbar, da kein durchgängiges Distribution System vorliegt. Lösungen auf höheren Protokollschichten, bspw. auf Vermittlungsschicht (u.a. *Mobile IP*).

### **Sicherheit**

Einsatz des Sicherheitskonzepts von IEEE 802.11 (insbes. IEEE 802.11i).

*WEP (Wired Equivalent Privacy)*

Verschlüsselungsverfahren nach IEEE 802.11 auf Basis einer RC4-Chiffrierung. Bereitstellung von Funktionen für Paketverschlüsselung (Schlüssellängen 40 / 64 / 104 bzw. 128 Bit) und Authentisierung (Challenge-Response-Verfahren).

Verfahren gilt seit 2007 als extrem unsicher: WEP-Schlüssel kann in wenigen Minuten „geknackt“ werden ~> SW aircraft der TU Darmstadt (Tews, Weinmann, Pyshkin).

*WPA und Nachfolger WPA 2 (Wi-Fi Protected Access 2)*

Sicherheitsstandard für WLAN nach IEEE 802.11a, b, g. Insbesondere WPA 2 implementiert die Funktionen des neuen Sicherheitsstandards IEEE 802.11i.

WPA 2 integriert Verschlüsselungsalgorithmus AES (Advanced Encryption Standard); WPA nutzt noch den Stromchiffrierer RC4 wie WEP. Außerdem bei WPA 2 zusätzlich zu TKIP noch das Verschlüsselungsprotokoll CCMP hinzugefügt, das WPA 2 auch im ad-hoc-Modus ermöglicht (wird TKIP später ablösen).

Mit ausreichend langem Paßwort (z.B. 63 Byte mit GB/KB und Sonderzeichen und Ziffern) geschützter WLAN-Router mit WPA 2 gilt heute als nicht knackbar.

Authentisierung des Clients am Access Point (und umgekehrt) kann erfolgen

- mit geheimen Text, sog. "Pre-Shared-Key" oder
- mit einem RADIUS-Server. RADIUS-Server ermöglicht auch zentrale Benutzeradministration inkl. Accounting sowie zusätzliche Authentisierungsmethoden durch Verwendung EAP und TTLS ~> sog. Enterprise-Variante von WPA 2.

WPA 2 erfüllt die strengen Sicherheitsvorschriften nach FIPS 140-2 in US-Behörden.

### **10.2.6 Weiterentwicklung von IEEE 802.11**

#### **Standards IEEE 802.11a und 802.11b**

Erweiterung von IEEE 802.11 in weiteren Standards. Bisher zwei Hauptlinien:

- Erweiterung des Standards auf dem 2,4-GHz-Band (z.B. IEEE 802.11b),
- Standards für das 5-GHz-Band (z.B. IEEE 802.11a).

WLANs auf dem 5-GHz-Band erlauben höhere Datenraten, allerdings noch keine volle Marktdurchdringung. Zudem ist das 5-GHz-Band nicht in allen Ländern freigegeben. Dagegen wird versucht, die Übertragungsrate auf dem 2,4-GHz-Band zu erhöhen.

#### **Übersicht zu IEEE-802.11-Standards und -Arbeitsgruppen**

802.11	WLAN für 1-2 Mbit/s auf dem 2,4-GHz-Band
802.11a	WLAN bis 54 Mbit/s auf dem 5-GHz-Band (nicht Deutschland -> Hiperlan/2)
802.11b	Erweiterung von 802.11 bis 11 Mbit/s auf dem 2,4-GHz-Band
802.11b-cor	Korrekturen zu 802.11b
802.11d	Anpassungen an nationale Regelungen
802.11e	MAC-Erweiterung zu 802.11a / b für QoS und verbessertes Power Management
802.11f	Kommunikation zwischen Access Points (IAPP, Inter Access Point Protocol)
802.11g	Höhere Datenraten (ab 20 Mbit/s, z.B. 54 Mbit/s) auf dem 2,4-GHz-Band
802.11h	Höhere Datenraten auf dem 5-GHz-Band (europäische Version für 802.11a)
802.11i	MAC-Erweiterung für verbesserte Sicherheits- und Authentisierungsmechanismen (z.B. AES: Advanced Encryption Standard)

### **10.3 ETSI HIPERLAN**

#### **10.3.1 HIPERLAN/1**

##### **ETSI HIPERLAN**

ETSI (European Telecommunication Standards Institute): Standards GSM, DCS1800, HIPERLAN, W-ATM, sowie GMM (Global Multimedia Mobility), u.a. UMTS.

HIPERLAN (High Performance Radio Local Area Network): Familie von Spezifikationen für drahtlose Netzwerke. Standardisierung durch ETSI für W-LAN mit Datenraten ab 20 MBit/s. 1996 erster Standard vollendet: HIPERLAN/1 für Datenraten bis 23,5 MBit/s auf dem 5-GHz-Band. Standard allerdings kaum in kommerzielle Produkte umgesetzt. Auf Basis des HIPERLAN/1-Standards ~> Weiterentwicklung zu HIPERLAN/2 (abgeschlossen in 2000).

##### **Eigenschaften HIPERLAN/1**

Frequenzband von 5120 ... 5300 MHz, aufgeteilt auf 5 Kanäle. Datenraten bis 23,5294 Mbit/s. Reichweite ca. 50 m. Um die effektive Reichweite zu erhöhen, können Knoten Pakete weiterreichen (*Forwarding*). HIPERLAN/1 definiert Mechanismen zum Sparen von Batteriestrom.

##### **Referenzmodell**

Referenzmodell von HIPERLAN/1 beschreibt die beiden untersten OSI-Ebenen Bitübertragungs- und Sicherungsschicht: Bitübertragungsschicht (PHY) entspricht der Bitübertragungs-

schicht von IEEE 802.11. Sicherungsschicht (DLL) hingegen in zwei andere Teilschichten unterteilt: Medium Access Control (MAC) und Channel Access Control (CAC).

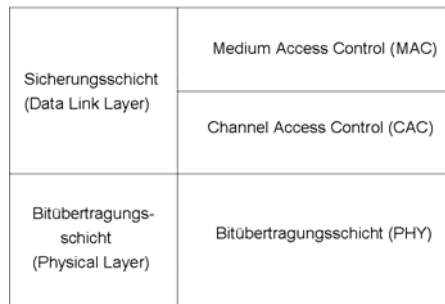


Abbildung 10.10: Protokollarchitektur HIPERLAN/1

*Medium Access Control (MAC):*

- MAC-Schicht erlaubt das Versenden von Daten mit Hilfe von Dienstprimitiven.
- Einem Datenpaket kann eine Priorität von 0 bis 4 zugewiesen werden, die sich aus der Zeit berechnet, die eine Anwendung für die Auslieferung vorgesehen hat.
- Schicht enthält auch Funktionen zur Verschlüsselung und zum Energiesparen.

*Channel Access Control (CAC):*

- CAC-Schicht ist mit der MAC-Schicht aus IEEE 802.11 vergleichbar und regelt den Zugriff auf das Funkmedium.
- HIPERLAN/1 verwendet hierzu ein spezielles Zugriffs-Verfahren, das die Prioritäten der Pakete berücksichtigt (*EY-NPMA: Elimination-Yield Non-preemptive Priority Multiple Access*).

### 10.3.2 HIPERLAN/2

#### Weiterentwicklung zu HIPERLAN/2

BRAN-Projektgruppe entwickelte HIPERLAN/1 zu HIPERLAN/2 weiter. Mit HIPERLAN/2 sind zwei Hauptbereiche abzudecken: HIPERLAN/2 soll wie IEEE 802.11 alle Funktionen eines traditionellen lokalen Netzwerks übernehmen. Zusätzlich soll HIPERLAN/2 als drahtloses Zugangsnetzwerk für Weitverkehrsnetze einsetzbar sein. Als Anwendungen sind dabei Multimedia-Anwendungen mit hohen Qualitätsanforderungen vorgesehen. HIPERLAN/2 soll vorallem mit anderen Netzwerken wie UMTS und ISDN zusammenarbeiten. Insbesondere ist eine Kopplung von HIPERLAN/2 mit dem drahtlosen ATM (*Wireless ATM*) vorgesehen. Der erste Bereich zielt auf Anwendungen im Büro- und Heimbereich ab, der zweite auf kommerzielle Anwendungen innerhalb und außerhalb von Gebäuden. Insbes. die Kopplung von HIPERLAN/2 und MFN (z.B. UMTS) soll neue Möglichkeiten eröffnen.

#### Eigenschaften von HIPERLAN/2

Frequenzband von 5150 ... 5350 MHz oder 5470 ... 5725 MHz. Datenraten bis 54 Mbit/s. Reichweite ca. 30 m in Gebäuden und 150 m außerhalb. Netzwerk kann sowohl im Ad-hoc-Moduls als auch im Infrastruktur-Modus betrieben werden. Der HIPERLAN/2-Standard sieht dazu folgende Bezeichnungen vor:

- *Direct Mode* für Ad-hoc-Modus,
- *Centralized Mode* für Infrastruktur-Modus.

Standard unterstützt Definition von Dienstgüte-Parametern (*Quality of Service, QoS*). Es werden Mechanismen zum Sparen von Batteriestrom definiert. Eigenschaften sind mit denen des 5-GHz-Standards von IEEE 802.11 vergleichbar. HIPERLAN/2 daher oft als europäisches Gegenstück von IEEE 802.11a betrachtet.

#### Referenzmodell

HIPERLAN/2 definiert die 3 Schichten Bitübertragungsschicht (PHY), Data Link Control (DLC) sowie Convergence Layer. Aufsetzende Schichten sind nicht Bestandteil des Stan-

dards. Die Bitübertragungsschicht entspricht den Bitübertragungsschichten anderer Referenzmodelle (z.B. IEEE 802 oder OSI).

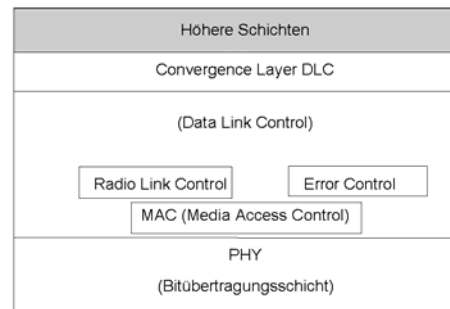


Abbildung 10.11: Referenzmodell HIPERLAN/2

DLC-Schicht (Data Link Control) unterteilt in:

- \* *Radio Link Control (RLC)*:
  - Kryptografische Verschlüsselung des Nachrichtenstroms,
  - Handover und Power Management,
  - Starten und Beenden von Verbindungen, Broadcast und Multicast.
- \* *Error Control (EC)*: übernimmt Aufgaben im Rahmen der zuverlässigen Datenübertragung, die i.w. auf einem ARQ-Mechanismus beruht.
- \* *Media Access Control (MAC)*: entspricht i.w. der entsprechenden Schicht aus 802.11

Convergence Layer übernimmt zwei Hauptaufgaben:

- \* Für den Transport werden große Pakete in kleinere unterteilt.
- \* Zusätzlich die Anforderungen höherer Schichten auf die DLC-Schicht abgebildet.
- \* Zwei Arten von Convergence Layer:
  - *Zellenbasierte Convergence Layer* sind ausgelegt, um Pakete fester Länge zu transportieren (notwendig beispielsweise für ATM-basierte Netzwerke).
  - *Paketbasierte Convergence Layer* können Pakete unterschiedlicher Länge transportieren (geeignet für paketbasierte Netzwerke mit Ethernet).

### Core Networks

Besondere Beachtung wurde bei der Konzeption von HIPERLAN/2 der Interaktion mit anderen Netzwerken gewidmet. Grund: HIPERLAN/2 sollte nicht als isoliertes Netz eingesetzt werden, sondern als Zugang für weitere Netze, sog. *Core Networks*. Core Networks verbinden die einzelnen HIPERLAN/2-Netzwerke. Sie sind meist Weitverkehrsnetze. Die Verbindung von HIPERLAN/2 mit anderen Netzwerken eröffnet viele Möglichkeiten. So HIPERLAN/2 einsetzbar, um Hot Spots abzudecken, bei denen durch die hohe Teilnehmerzahl eine Abdeckung durch ein Mobilfunknetz wie GSM schwierig ist. Mit HIPERLAN/2 könnte einer wesentlich höheren Zahl von Teilnehmern der Zugang zu einem Mobilfunknetz ermöglicht werden.

Aufbau einer Verbindung zwischen den Netzwerken:

- Ein Endpunkt der Kommunikation ist ein mobiles Terminal. Ausgehend von einer Anwendung werden Nachrichten über einen Protokollstapel sowie die HIPERLAN/2-Schichten geleitet.
- Über Luftschnittstelle gelangen die Daten zu einem Access Point. Neben den Stapeln für das HIPERLAN/2 sowie dem Core Network befinden sich hier die *Inter Working Functions (IWF)*. Diese stellen eine Art Vermittlung zwischen HIPERLAN/2-Netzwerk und Core Network dar.
- Der weitere Kommunikationsweg liegt außerhalb der Spezifikation von HIPERLAN/2.

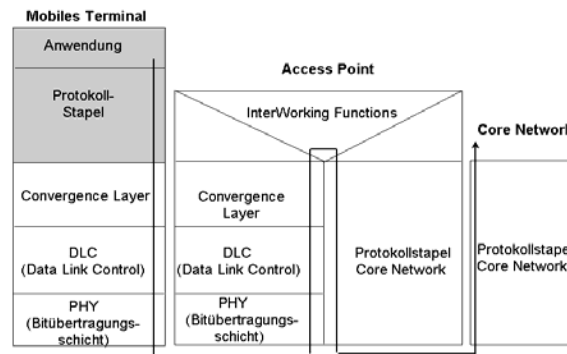


Abbildung 10.12: Verbindung HIPERLAN/2 und Core Network

## 10.4 Wireless ATM (W-ATM)

### 10.4.1 Motivation

#### ATM und W-ATM

Ende 80er ... Anfang 90er Standard B-ISDN (Broadband-ISDN) durch ITU/ISO entwickelt. Technologien: LWL, SDH, ATM.

*Asynchronous Transfer Mode (ATM)* als Vermittlungs- und Transporttechnologie, für hohe Datenraten (155, 622 bis 2 488 MBit/s) und verschiedene Verkehrsklassen.

1991 Gründung ATM-Forum, durch Unternehmen Cisco, Newbridge, NET und Stratacom ~> sollte Standardisierung außerhalb ISO und für lokale ATM-Netze koordinieren. Entwicklung drahtloser Kommunikationstechnologien ~> dabei entstand Bedarf zum Einsatz ATM auch auf drahtlosen Medien.

1996 vom ATM-Forum die Gruppe *Wireless ATM (W-ATM)* eingerichtet für drahtlose Erweiterung von ATM. Verfahren für Datenraten von 25 MBit/s für das 5-GHz-Band konzipiert. Reichweite ist mit IEEE 802.11 vergleichbar und soll zwischen 30 und 300 m liegen.

*Innovation* der ATM-Technologie: Dienstgüte-Eigenschaften und Skalierbarkeit.

Die von ATM bereitgestellten Dienstgüte-Eigenschaften auch für mobile Stationen interessant, obwohl durch temporäre Unterbrechungen Qualitätseinbußen auftreten. Existierende TK-Dienste, die auf ATM basieren, können durch eine drahtlose Erweiterung nahtlos zu mobilen Diensten erweitert werden. Aber stärker IP-Technologien in Entwicklung.

### 10.4.2 Standard W-ATM

#### Entwicklung des Wireless-ATM-Standards

Koordinierung von Wireless ATM durch *Wireless ATM Working Group* (1996). Soll u.a. sicherstellen, dass Wireless ATM zum kabelgebundenen ATM kompatibel ist ~> Einsatz für 2005 ... 2010 vorgesehen; fraglich wegen Einsatz IP-Technologien.

Zwei Problemkreise bei der Entwicklung von W-ATM:

*Drahtloser Zugriff*: Spezifizierung, wie ATM-Technologie für die Funkschnittstelle zu erweitern ist (Definition der Dienstgüte-Eigenschaften muss auch für die Luftschnittstelle gelten). Zugriff auf Funkmedium bei W-ATM durch Schicht *Radio Access Layer (RAL)* realisiert. RAL vereint Funktionen der OSI-Schichten 1 und 2. Als RAL's sollen extern spezifizierte Netze eingesetzt werden, insbesondere HIPERLAN/2.

*Mobilitätsmanagement*: Problemstellungen, die mit der Mobilität der drahtlosen Stationen zusammenhängen und die mit *Handover-* oder *Roaming-Verfahren* gelöst werden müssen. Bei Wireless ATM diese Funktionen unter dem Begriff *Mobile ATM* zusammengefasst.



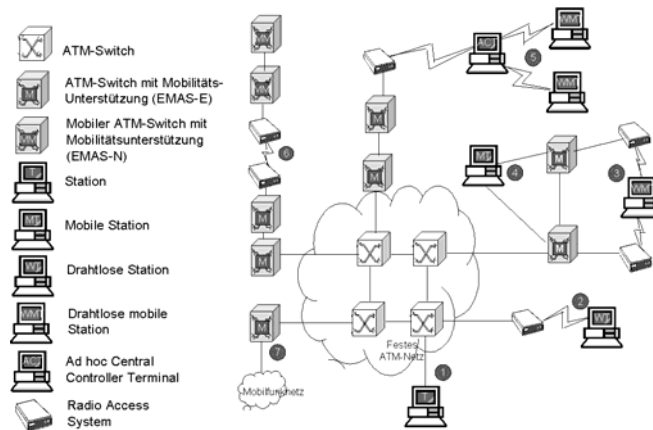


Abbildung 10.13: Wireless-ATM Szenarien

*Komponenten des Szenarios:*

- Klassische *ATM-Switches*.
- *ATM-Switches* mit Mobilitätsunterstützung, sog. *EMAS (End User Mobility Enabled ATM Switch)*: unterschieden zwischen *EMAS-N (EMAS-Network)* und *EMASE-E (EMAS-Edge)*. *EMAS-E* sind direkt mit einem Funksystem verbunden, während *EMAS-N* sich innerhalb des Netzwerks befinden.
- *RAS (Radio Access System)*: unterteilt in *Access Point* (dienen als Rechnereinheiten) und in *Radio Transceiver* (Sende- und Empfangseinrichtungen).
- *Stationen (Terminal, T)*: unterschieden zwischen mobilen Stationen (*Mobile Terminal, MT*), drahtlosen Stationen (*Wireless Terminal, WT*) und mobilen drahtlosen Stationen (*Wireless Mobile Terminal, WMT*).

Wichtig: Trennung zwischen Mobilität und drahtlosem Zugang. Eine Station kann mobil sein, obwohl sie drahtgebunden an das Netzwerk angeschlossen ist. Umgekehrt kann eine Station drahtlos angebunden, jedoch fest an einem Ort installiert sein.

Kombination dieser Komponenten ergibt mehrere Konfigurationen.

### Zukunft von Wireless ATM

Ungewisse Zukunft von Wireless ATM: Durch Einsatz immer schnellerer Ethernet-Switches befindet sich das drahtgebundene ATM auf dem Rückzug ~> bevorzugt nur noch als Backbone-Netzwerk eingesetzt, z.B. B-WiN (1996-2000): Nutzung Cross-Connect-NW der Telekom). Für lokale Netze besitzt ATM praktisch keine Bedeutung mehr ~> dies mindert auch die Chancen auf Erfolg für Wireless ATM. Zudem deckt Wireless ATM einen sehr großen Bereich von Szenarien ab ~> macht Technologie sehr komplex und teuer. Trend zu IP-Technologien („all IP“). IP muss aber noch die QoS-Kriterien erfüllen.

## 10.5 HomeRF und SWAP

### HomeRF Working Group und SWAP

März 1998: Bildung der *HomeRF Working Group*: Gruppe von Herstellern (u.a. Intel, Compaq, IBM, HP, Microsoft, Motorola). Ziel: Entwurf eines Standards zu drahtlosen Netzwerke für Heim- und Privatanwender-Szenarien. Resultierende Spezifikation: *SWAP (Shared Wireless Application Protocol)*. *SWAP* konkurriert direkt mit Standard IEEE 802.11b (ähnliche Eigenschaften bezüglich Reichweite und Bandbreite).

Ausrichtung in Richtung Heimnetzwerk ~> besondere Bedeutung des Kostenfaktors. HomeRF so konzipiert, dass entsprechende Hardware-Komponenten wesentlich kostengünstiger hergestellt werden können als beispielsweise bei IEEE 802.11b.

### Zielsetzung von HomeRF

Zweigeteilte Zielsetzung von HomeRF: HomeRF als vollständiges Netzwerk zur Vernetzung von Computern sowie Einsatz für Geräte im Konsumbereich. Beispiele: Vernetzung schnurloser Telefone, Drahtlose Verbindung von MP3-Playern mit Kopfhörern.

Damit steht HomeRF in der Zielsetzung zwischen drahtlosen LAN (W-LANs) und WPANs (Wireless Personal Area Networks). HomeRF ist ein sog. Misch-Standard: Funk-LAN, angenähert an IEEE 802.11 (SWAP), schnurlose Telefonie, angenähert an DECT.

### Eigenschaften von HomeRF

Frequenzbereich: 2,4-GHz-Band. Datenrate 10 MBit/s (ab 2003: 20 MBit/s). Reichweite ca. 50 m. Auf Bitübertragungsschicht wird das FHSS-Verfahren von IEEE 802.11 eingesetzt (Frequency Hopping Spread Spectrum): hierbei Frequenz 50-mal pro Sekunde gewechselt. HomeRF erlaubt bis zu 8 priorisierte Kanäle für Multimedia-Datenströme. Bis zu 8 bidirektionale Audiokanäle einrichtbar; dabei DECT-Protokoll genutzt, allerdings im 2,4-GHz-Band statt 1,9-GHz-Band. Bis zu 127 Stationen im Netz zugelassen. HomeRF unterstützt sowohl den Ad-hoc- als auch den Infrastruktur-Modus. Allerdings im Ad-hoc-Modus weder priorisierte Kanäle noch Audiokanäle benutzbar.

### HomeRF Protokollstapel

Zur Datenübertragung verschiedene Protokolle eingesetzt:

Reine Datenübertragung: über *TCP*. Auf MAC-Ebene wird Datenübertragung nicht priorisiert, d.h. keine Dienstgüte-Garantien. Streams über *IP* (z.B. Internet-Audio- oder Videostreams) sowie Sprachübertragung (*Voice over IP, VoIP*). Streams werden besonders behandelt und erhalten reservierte Zeitscheiben zur Übertragung der entsprechenden Daten. Audioübertragung: über *DECT-Protokoll*. Dazu feste Zeitrahmen vorgesehen.

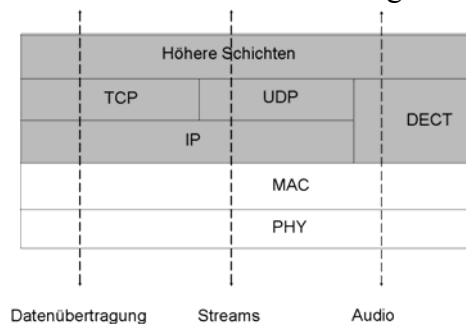


Abbildung 10.14: HomeRF Protokollstapel

### HomeRF Datenübertragung

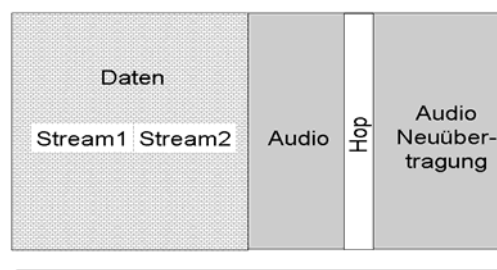


Abbildung 10.15: HomeRF Übertragung verschiedener Kanalarten

Kanalarten: Unpriorisierte Daten werden zuerst in einem Zyklus gesendet. Zugriff auf Funkmedium durch CSMA/CA-Verfahren (analog zu IEEE 802.11). Am Anfang eines Datenblocks wird eine Zeit für die priorisierten Streams reserviert. Dadurch erhalten diese die notwendige Bandbreite. Nur der Bereich, der nach der Stream-Übertragung verbleibt, kann für unpriorisierte Daten verwendet werden. Audiodaten nicht über CSMA/CA-Verfahren, da die-

ses keine Zeit für Zugriff auf das Medium garantiert und somit für Audioübertragung ungeeignet à stattdessen TDMA. Besonderer Mechanismus gestattet Neuübertragung fehlerhafter Audiopakete. Nachdem die Audiopakete für einen bestimmten Zyklus übertragen wurden, kann sofort eine Neuübertragung gestartet werden. Hierbei nur die Pakete übertragen, die als fehlerhaft eingestuft wurden. Neuübertragung findet sofort nach dem Frequenzsprung statt. Damit gesichert, dass sich Störungen auf einem Frequenzband nicht auf die Neuübertragung auswirken ~> somit Sprachqualität gesteigert.

## 10.6 Vergleich drahtloser lokaler Netze

### Merkmale der verschiedenen Standards zur drahtlosen lokalen Vernetzung

Netz	Organisation	spezifiz.	max. Datenrate	Frequenz	Reichweite
IEEE 802.11	IEEE	1997	2 MBit/s	2,4 GHz	30-300 m
IEEE 802.11a	IEEE	1999	54 MBit/s	5 GHz	100 m
IEEE 802.11b	IEEE	1999	11 MBit/s	2,4 GHz	30-300 m
HIPERLAN/1	ETSI	1996	23,5 MBit/s	5 GHz	50 m
HIPERLAN/2	ETSI	2000	54 MBit/s	5 GHz	30-150 m
Wireless ATM	ATM Forum	i.V.	25 ... 100 MBit/s	5 GHz	30-300 m
HomeRF	HomeRF	1998	10 MBit/s	2,4 GHz	50 m

Reichweite: abhängig von jeweiligen Umgebung (Angaben: falls Bereich: indoor – outdoor; falls Einzelwert: Bezug auf Büroumgebung in Gebäuden).

### Besonderheiten

IEEE 802.11: Standard in IEEE-802-Rahmenwerk eingegliedert (auch als „drahtloses Ethernet“ bezeichnet, da wie Ethernet-Standard IEEE-802.3 verwendet) ~> erleichtert Betriebssystem- und Treiberentwicklungen. IEEE 802.11 eingesetzt für *lokale Netze* und *Hot Spots*.

HIPERLAN: Standard ausgefeilter gegenüber IEEE 802.11 bei Zugriff auf gemeinsames Medium. Enthält unikale Möglichkeit, spezielle Stationen zur Weiterleitung von Paketen einzusetzen (Forwarder). HIPERLAN/2 kann mit sog. Core Networks kooperieren. Damit eignet sich HIPERLAN/2 auch für Hot Spots zur Entlastung eines Mobilfunknetzes.

Wireless ATM: Spezifikation des Standards noch in Entwicklung (~> IP-Technologien). Kompliziertes Verfahren, da viele Einsatzszenarien abgedeckt werden sollen. Einsatz zur Anbindung drahtloser Stationen an ein Weitverkehrsnetz, weniger für lokale Netze.

HomeRF: Netzwerk für Konsum- und Privatanwendermarkt, niedrige Kosten. Priorisierte Multimediasströme und Audio: Einsatz im Heimbereich, auch als vollwertiges Rechnernetz.

### Zukunft drahtloser lokaler Netze

Zwar ständige Steigerung der Übertragungsraten, aber geringere Übertragungsleistung als drahtgebundene lokale Netze, z.B.

Ethernet, drahtgebunden: 10 - 100 Mbit/s, 1 / 10 / 40 Gbit/s

Drahtloses Ethernet: 10 - 54 - (108) Mbit/s

Gegenwärtig dominierende Anwendung drahtloser lokaler Netze: Bürokommunikation, u.a. Zugriff auf gemeinsame Dateien, Datenbanken oder Anwendungen.

Verstärkt: Online-Zugang zum Internet über Access Points (verschiedene Städte bieten Netz von AP), Aufbau von HotSpots für große Teilnehmerzahlen. Zukünftig: Übertragung von Multimediatdaten ~> größeres Datenvolumen, geringere Verzögerungen. Daraus resultieren Anforderungen an Bandbreite, z.B. Multimediatdaten im Internet, Hochauflösende Fernsehbilder (stoßen an Grenzen aktueller Bandbreiten), Verkehrstelematik.

## 11 Wireless Personal Area Networks (WPAN)

### 11.1 Nahbereichskommunikation

#### Raum- und körpernahe Netze

Mobile Kleingeräte (Digitalkamera, Mobiltelefon, PDA, drahtloser Kopfhörer, Armbanduhr, aushaltgeräte) ~> limitierte Ressourcen für Verarbeitung (Prozessor, Speicher, E/A), Übertragung, Energie. Geräte und Netze für drahtlose Nahbereichskommunikation entwickelt, Einsatz als Raum- bzw. körpernahe Netze. Wichtigste Varianten:

- WPAN (Wireless Personal Area Networks): Hauptvertreter: IR, Bluetooth, ... W-USB.
- Entfernte Identifikationstechniken: RFID, NFC.
- Sensornetze (ubiquitous computing ~> globalisierte Informationsgesellschaft).

Bekannte Einsatzgebiete (Auswahl):

Drucken von Fotos einer Digitalkamera auf Fotodrucker, Anschluss eines drahtlosen Headsets an Mobiltelefon, Anschluss peripherer Geräte für PC (Maus, Tastatur, Bildschirm), Vernetzung von Haushaltgeräten, Warenlogistik, Produktidentifikation., Vernetzung von PDAs zum Austausch kleiner Datenmengen (Visitenkarten, Synchronisation von PIM-Daten (z.B. Outlook), Push-Emails, Gesundheitshemd, Gedächtnishilfe MEMOS).

*Merkmale von WPAN:*

- Kurze Reichweite (einige Zentimeter bis Meter), i.d.R. von einer Person genutzt.
- Geringe Ladekapazität der Stromversorgung --> energiesparende Übertragung. z.T. Energieversorgung durch magnetische Induktion (z.B. Sensornetze).
- i.allg. automatische Konfigurierung, integrierte Suchfunktionen für Geräte und Dienste. Hoher Grad an Selbstorganisation. Massen- und Konsummarkt.
- Spezialisierte Anwendungen, WPAN keine "Verlängerung" traditioneller Netze.
- Keine Mehrpunkt-Verbindung (WLAN), nur Point-to-Point zw. 2 Geräten, ggf. Point-to-Multipoint.

Technische Umsetzungen drahtloser Nahbereichskommunikation (Entfernung ca. 0.5 – 10 m)

- WPAN: Infrarot (IrDA), Bluetooth; Zigbee, NanoNet, UWB (Ultra Wideband), W-USB.
- Identifikationstechniken: RFID (Radio Frequency Identification), NFC (Feldfunk).
- Sensornetze.

### 11.2 Infrarot-Netze (IrDA)

#### Infrared Data Association (IrDA)

IR (Infrarot): Fa. Hewlett Packard (1979), Verbindung Taschenrechner HP-41C mit Drucker. 1993 Zusammenschluss von 30 Firmen (incl. HP), um einheitlichen Standard zu definieren. Bezeichnung der Gruppe und des Standards: **Infrared Data Association (IrDA)**.

1994: 1. Standard IrDA 1.0 (sog. SIR, Serial Infrared): Datenraten bis 115,2 kbit/s.

1995: Erweiterung IrDA 1.1 (sog. FIR: Fast Infrared): Datenraten bis 4 Mbit/s.

1999: Erweiterter Standard (sog. VFIR: Very Fast Infrared). Datenraten bis 16 Mbit/s.

Seit Jahr 2000 mehr als 150 Firmen im IrDA.

IrDA-Protokoll in verschiedene Betriebssysteme integriert, u.a. Windows, OS/2, MacOS, Linux, und in die Handheld-BSS PalmOS, EPOC, Windows CE / Mobile. Viele Geräte standardmäßig mit IR-Hardware ausgerüstet.

IrDA-Spezifikation umfaßt 2 Teilstandards: *IrDA CONTROL* und *IrDA DATA*.

**IrDA CONTROL:** für Anbindung von Rechnerperipherie, z.B. drahtlose Mäuse, Tastaturen, Spielesteuerung, Joysticks. Eigenschaften:

- Geringe Datenraten notwendig (bis 75 kbit/s),
- Abstand zwischen Kommunikationspartnern bis zu 5 m.

**IrDA DATA:** für anspruchsvolle Kommunikationsszenarien.

Standard IrDA bezieht sich i.allg. auf IrDA DATA mit folgenden Eigenschaften:

- Datenraten bis zu 16 Mbit/s und Entfernungen bis zu 1m.
- Suchfunktionen nach Geräte in Kommunikationsreichweite und installierten Diensten.
- Automatischer Austausch von Kommunikationsparametern zwischen Geräten.
- Mehrere zuverlässige logische Kanäle zwischen Geräten verfügbar.
- Nachrichten unzuverlässig via Broadcast an mehrere Geräte gleichzeitig versendbar.
- Ein Transportprotokoll übernimmt Flusskontrolle und Segmentierung langer Nachrichten.
- Serielle und parallele Schnittstellen emulierbar; Netzwerkanbindungsprotokoll verfügbar.
- Optionales Protokoll erlaubt Transport komplexer strukturierter Datenobjekte.

### Infrarot-Kommunikation

Frequenzbereich bei  $10^8$  GHz, Übertragungsraten 2,4 kbit/s ... 16 Mbit/s. Markante Unterschiede zwischen IR-Kommunikation und Funk-Übertragung: IR zwar wie Funk für menschliches Auge *unsichtbar*, unterliegt aber wie das sichtbare Licht der *Strahlenoptik* und kann massive *Gegenstände* nicht durchdringen. Reichweite der IR-Sender begrenzt, Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger erforderlich, im Gegensatz zu Funk (Funkstrahlung kann Gegenstände durchdringen). Vorteile durch begrenzte Reichweite: geringere Störungen benachbarter Funk- bzw. IR-Sender; höhere Abhörsicherheit gegenüber Funk (IR gestattet zwar passives Mithören, aber Mithörer muss sich in Sichtweite befinden).

Eigenschaften der IR-Kommunikation:

- Sonnenlicht stört IR  $\leadsto$  Beschränkung auf Gebäudeinneres.
- IR störanfällig gegen Fremdlicht (Kunstlicht, Sonnenlicht), aber unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störfelder  $\leadsto$  geeignet für Einsatz in Produktionshallen.
- IR ohne hohe Beschränkungen (z.B. in Frequenzspektrum, Bandbreiten, Lizenzen). IR darf entsprechenden Bereich des elektromagnetischen Spektrums beliebig nutzen.
- IR gut für WPAN geeignet: keine Beschränkungen, kostengünstige Installation und Betrieb  $\leadsto$  Einsatz in Konsum- und Haushaltgeräten.

### IrDA-Protokollstapel

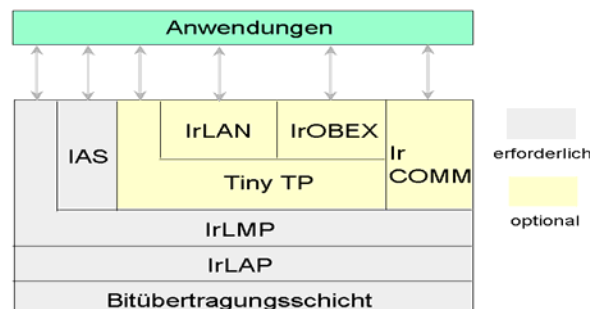


Abbildung 11.1: IrDA-Protokollstapel

Bitübertragung: Realisierung der optischen Übertragung (elektromagnetische Wellen bei  $10^8$  GHz).

IrLAP (Infrared Link Access Protocol): zuverlässige Übertragung über eine Verbindung zwischen 2 Geräten.

IrLMP (Infrared Link Management Protocol): mehrere logische Verbindungen über eine physische Verbindung.

IAS (Information Access Service): Auskunft über Dienste anderer Partner ("gelbe Seiten").

Tiny TP (Tiny Transport Protocol): Flusskontrolle auf Basis der logischen IrLMP-Kanäle. IrCOMM (Infrared Communications): emuliert serielle oder parallele Schnittstellen.

IrOBEX (Infrared Object Exchange Protocol): für Austausch komplexer Objekte ("Beamen").

IrLAN (Infrared Local Area Network): Anbinden eines Gerätes über Infrarot an ein existierendes lokales Netz.

IrMC (Infrared Mobile Communications): Sammlung von Formatspezifikationen für den Austausch mobiler Daten.

## Aufgaben der IrDA-Protokollschichten

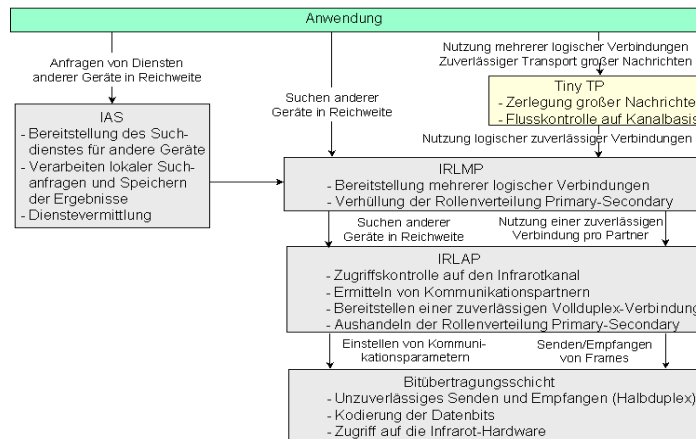
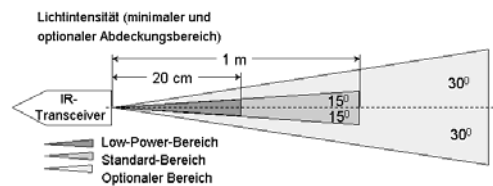


Abbildung 11.2: Aufgaben der IrDA-Protokollschichten

## IrDA-Protokolle

### Erforderliche Protokolle:

**Bitübertragungsschicht:** Realisierung der optischen Übertragung (Standard spezifiziert Darstellung der Bits, Übertragungsgeschwindigkeit, optische Charakteristika). Infrarot-Transceiver: Senden/Empfangen von Infrarotsignalen (in vielen mobilen Geräten integriert).



Übertragungsgeschwindigkeiten des IrDA-Standards

Datenraten	Spezifikation	Modulation
2.4 - 115.2 kbit/s	SIR	RZI (Return Zero Inverted)
0.576 Mbit/s	FIR	RZI
1.152 Mbit/s	FIR	RZI
4.0 Mbit/s	FIR	4PPM (4 Pulse Position Modulation)
16 Mbit/s	VFIR	HHH (1,13)
Serial-, Fast-, Very; Halbduplex (nicht gleichzeitiges S/E)		

Abbildung 11.3: IrDA Bitübertragungsschicht

**IrLAP (Infrared Link Access Protocol):** zuverlässige Übertragung zwischen zwei Geräten.

**IrLMP (Infrared Link Management Protocol):** IrLAP sichert eine Verbindung, IrLMP stellt mehrere logische Verbindungen über eine physische Verbindung zur Verfügung.

**IAS (Information Access Service):** Gibt Auskunft über verfügbare Dienste anderer Kommunikationspartner ("gelbe Seiten"), Dienstvermittlung.

### Optionale Protokolle und Mechanismen:

**Tiny TP (Tiny Transport Protocol):** Protokoll realisiert Flusssteuerung auf Basis der logischen IrLMP-Kanäle. Große Nachrichten für Transport in kleine aufgeteilt und am Zielort wieder zusammengesetzt. Damit pro Sendevorgang große Datenmengen (bis zu 64 KByte) übertragbar. Nachrichtenformat dabei nur um 1 Byte erweitert. Tiny TP (Tiny Transport Protocol): zwar optionales Protokoll, aber von IrDA dringend empfohlen, da es wichtige Funktionen für den Datentransport übernimmt. Anwendungen, die auf Tiny TP aufbauen, können folgende Dienstleistungen in Anspruch nehmen:

- Suchen anderer Geräte in Kommunikationsreichweite (über IrLMP),
- Abfragen, welche Dienste diese Geräte anbieten (über IAS),
- Nutzen dieser Dienste, indem Komm.-Verbindungen aufgebaut werden (über Tiny TP).

**IrCOMM (Infrared Communications):** Protokoll emuliert serielle RS-232- oder parallele Centronics-Schnittstellen. Anwendungen, die für solche Schnittstellen entwickelt wurden,

können so ohne Modifikationen die IR-Verbindung nutzen, z.B. Anwendungen über Infrarot drucken, Modems über Infrarot nutzen, Kommunikationsprotokolle über serielle Schnittstelle (z.B. TCP/IP über PPP).

*IrOBEX (Infrared Object Exchange Protocol)*: Protokoll ermöglicht Austausch komplexer Objekte (sog. "Beamen"), wie beispielsweise Visitenkarten, formatierte Texte, Grafiken.

*IrLAN (Infrared Local Area Network)*: Protokoll dient zum Anbinden eines Gerätes über Infrarot an ein existierendes lokales Netz, und zwar so, als ob das Gerät über eine traditionelle Netzwerkkarte verfügt. IrLAN unterstützt 3 verschiedene Betriebsmodi:

- Access Point: Zugriff zum Netzwerk erfolgt über ein weiteres Gerät, das sowohl Netzwerkkarte als auch IR-Anschluss besitzt.
- Peer-to-Peer: nur 2 Geräte über IR verbunden (Dienste genutzt wie bei Netzwerkkarte).
- Hosted: Geräte mit Rechner verbunden, der über Netzwerkkarte verfügt. Im Gegensatz zum Modus Access Point teilen sich die Geräte eine NW-Karten-Adresse.

*IrMC (Infrared Mobile Communications)*: Rahmenwerk (kein Protokoll) für die mobile Kommunikation mit IrDA. Sammlung von Formatspezifikationen für den Austausch mobiler Daten, u.a. Visitenkarten, Kalendereinträge, Texte und Nachrichten. Zusätzlich kann ein Audiokanal eingerichtet werden (allerding wegen der geringen Reichweite und hoher Bandbreite nur bedingt sinnvoll).

## 11.3 Bluetooth

### 11.3.1 Nahbereichs-Funktechnologie für portable Geräte

#### Zielstellungen

Bluetooth – offene Spezifikation zur Übertragung von Daten und Sprach über Ad-hoc-Funkverbindungen. Initiiert durch Ericsson Mobile Communications (EMC), Hauptsitz in Lund. Mai 1998: Gruppe Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba; mittlerweile > 2000 Mitglieder.

Ziel der SIG (Special Interest Group):

- herstellerunabhängiger Standard für funkbasierte Peer-to-Peer Datenübertragung (z.B. HW/SW-Entwicklungen von Microsoft, Motorola, 3Com, Lucent, ...),
- mit kostengünstiger Implementierung.

Mit relativ geringen HW-Kosten ist ab Jahr 2000 der Markt mit allen Bereichen der Consumer-Elektronik zu versorgen, z.B. drahtlose Kommunikation zwischen Stereoanlagen <--> Videorecorder, Peripheriegeräte <--> PC, sowie Mobiltelefon als schnurloses Endgerät.

Automatische Verbindung, ohne Konfigurationsdetails für Anwender.

Auch in Notebooks, PDA's und als Wireless LAN (Problem: Bluetooth <--> IEEE 802.11b). Einsatz in PkW für schnurlose Telefonie und Freisprecher (Adapter zu MFN). Somit Bluetooth als Funktechnik für mobile Geräte im Nahbereich, Vereinfachung der kabellosen Kommunikation mobiler, portabler Geräte.

#### Versionen

Version 1.0: 05.07.1999.

Version 1.1: verbesserte Version, 01.12.2000. Entwickeltes Release 22.02.2001 bietet unter anderem Spezifikation für generisches Zugangsprofil (Generic Access Profile, wie z.B. drahtlose Telefonie, LAN Access, Ultimate Headset).

Version 1.2: dynamische Geräteadressen (Einführung „Anonymous Mode“), auch Portierung auf Linux (z.B. Fa. Axis: Linux-basierter Bluetooth-Access-Point).

Version 2.0 (ab 2004): Erweiterung auf 4, 8 oder 12 Mbit/s (Jaap Hartsen).

#### Bluetooth-Technologie

Skandinavische Entwicklung (Ericsson, EMC/Lund), benannt nach skandinavischem Wikinger-König Harald Blauzahn. Vorgesehen als Defacto-Standard des drahtlosen Daten- und

auch Sprach-Verkehrs. Zunächst auf Distanz von 10 m beschränkt, auch  $\geq 100$  m geplant (durch Einsatz entsprechender Signalverstärker), aber kritisch wegen WLAN nach IEEE 802.11 (lizenzfreies 2.4-GHz-Band). I.d.R. Verbindung zw. 2 Geräten, als Netz wechselseitig bis zu 8 Geräte (Piconet).

Gesamte Funkelektronik auf 1 Chip (Preis: \$ 20 US --> \$ 2 US). Durch geringe Größe in alle Geräte integrierbar (von Kaffeemaschine bis Scanner in Kugelschreibergröße).

#### *Eigenschaften*

- Datenübertragung im 2,4 GHz Mikrowellenbereich (ISM-Band)
- Spreiztechnik: Frequenz Hopping  $\rightarrow$  Vermindern von Interferenzen und Fading.
- Übertragung der Pakete mit Time Division Duplex (TDD) in 0,625 ms großen Zeitfenstern (1600 hop/s). Frequenzband in 79 Kanäle unterteilt (in einigen Ländern nur 23 Kanäle).
- Datenübertragung über relativ kurze Distanz (10 cm – 100 m)
- Implementierung Stromsparmodi: Sniff  $\rightarrow$  Hold  $\rightarrow$  Park
- 3 Verbindungstypen:
  - \* Punkt-zu-Punkt: Verbindung zwischen 2 Geräten (Master-Slave).
  - \* Piconet: bis zu 8 Geräte: ein Master und 7 Slaves.
  - \* Scatternet: bis zu 10 Piconetze. Jedes Piconetz besitzt sog. „Gateway-Device“ (Master).

### **Bluetooth-Übertragung**

Verwendung des unlizensierten 2,4-GHz-Bandes zur Datenübertragung. Einsatz von Frequency-Hopping zur Vermeidung von Interferenzen, wobei die Datenpakete in festgelegten Zeitfenstern über bestimmte, minimal veränderte Frequenzen (in 79 Sprüngen á 1MHz zwischen 2.402 und 2.480 GHz) übertragen werden. Im Vergleich mit anderen Systemen, die im gleichen Frequenzspektrum arbeiten, werden kleinere Datenpakete und schnelleres Frequency-Hopping verwendet. Datenrate: i.allg. 1 Mbit/s (ab 2004: Erweiterung auf 4 / 8 / 12 Mbit/s). Das sog. Baseband ist Bestandteil des Core-Protokolls von Bluetooth, bestehend aus einer Kombination von Circuit- und Packet-Switching.

Kombination von FDM und TDM: Datenpakete unterschiedlichen Frequenzen (Hops) übertragen. Innerhalb der Frequenzen: Slots (i.allg. verwendet 1 Paket nur 1 Slot, kann aber je nach Größe über bis zu 5 Slots verteilt sein).

#### Unterstützte Sprach- und Datenkanäle

- 1 asynchroner Datenkanal und 4 gleichzeitige synchrone Voice-Kanäle
  - oder 1 Kanal, der gleichzeitig synchrone Voice- und asynchrone Datenströme realisiert.
- Jeder Voice-Kanal unterstützt eine 64 kbit/s-Verbindung. Asynchroner Kanal: Asymmetrische Übertragung von 721 kbit/s in eine Richtung, wobei Gegenstrom auf 57,6 kbit/s eingeschränkt ist. Symmetrische Verbindungen: im asynchronen Kanal mit 432,6 kbit/s. Alle Audio- und Datenpakete können mit verschiedenen Stufen von FEC- oder CRC-Fehlerkorrektur versehen werden. Verschlüsselung ist ebenfalls möglich.

Bluetooth-Sender/Empfänger suchen in ihren Einzugsbereich permanent nach neuen Geräten (Discovery), stellen die Verbindung her, sorgen für die notwendige Bandbreite (je Gerätetyp und potenzieller Übertragungsrate). Bluetooth hat folgende Protokolle adaptiert: PPP, TCP/UDP, IP, OBEX, vCard, vCal; WAP und WAE wird ebenfalls unterstützt für den mobilen Internet-Zugang.

Sendeleistung von Bluetooth i.allg. 1 mW ( $\sim$  Sendereichweite 10 cm). Mittels optionalen Funkmodul Leistung auf 100 mW erhöhbar ( $\sim$  Sendereichweite ca. 100 m).

Geräte anhand Sendeleistung und Reichweite in 3 Klassen unterteilt:

- Class 1: Sendeleistung 1 - 100 mW (0 bis 20 dbm; Reichweite bis ca. 100 m).
- Class 2: Sendeleistung 0,25 - 2,5 mW (-6 bis 4 dbm; Reichweite ca. 10 m).
- Class 3: Sendeleistung bis 1mW (bis 0 dbm; Reichweite 0,1 – 10 cm).



## Konkurrenz für Funknetzwerke

Einsatz Bluetooth problematisch für Unternehmen, die bereits WLAN-Lösungen nach dem 802.11b-Standard (2,4-GHz-Band) einsetzen. Allerdings arbeiten diese im Gegensatz zu Bluetooth etwas kontrollierter. Die W-LAN-Lösungen „hören“ erst einmal, ob gerade weiterer Funkverkehr stattfindet (CSMA/CA: RTS/CTS-Signale). Ist die Frequenz belegt, wird gewartet. Für 10 m Funkdistanz unproblematisch, bei Radius  $\geq 100$  m fraglich, ob Bluetooth in Unternehmen erlaubt wird; insbes. wenn Handys oder PDA's selbst mit Bluetooth ausgerüstet werden.

### 11.3.2 Architektur von Bluetooth

#### Verbindungsstrukturen

- Punkt-zu-Punkt (*Basis-System*): Verbindung zwischen 2 Geräten (Master-Slave).
- Piconetz (Grundeinheit eines *Bluetooth-Systems*): 1 Master-Knoten und bis zu 7 Slave-Knoten in einem Umkreis von max. 10 m. Mehrere Piconetze können in einem großen Raum vorhanden sein und sogar über einen Bridge-Knoten verbunden werden.
- Scatternetz: Verbund von bis zu 10 Piconetzen. Ein sog. „Gateway Device“ übernimmt gegenüber dem eigenen Piconet die Funktion des Masters.

Master/Slave-Design aus Kostengründen entwickelt. Slaves führen nur aus, was Master-Gerät vorgibt. Somit ist Piconetz im Prinzip ein zentralisiertes TDM-System: Master steuert den Takt und entscheidet, wer in welchem Zeitschlitz übertragen darf. Kommunikation immer Master - Slave, eine direkte Kommunikation Slave - Slave ist nicht möglich.

#### Stromsparmodi

Zusätzlich zu den sieben aktiven Slave-Knoten können in einem Netz bis zu 255 geparkte Knoten vorhanden sein. Das sind die Geräte, die der Master in den Ruhezustand gesetzt hat, um den Batteriegebrauch zu senken.

Geparkte Geräte haben keine Verbindung, sind jedoch bekannt und können innerhalb weniger Millisekunden reaktiviert werden. Zum Zustand Park gibt es auch noch zwei dazwischen liegende Stromsparmodi: Hold (Halten) und Sniff (Abhören).

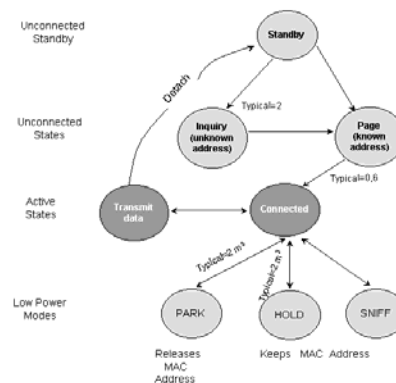


Abbildung 11.4: Verbindungsaufbau und Stromsparmodi

#### Protokollarchitektur

Schichtenmodell Bluetooth als offene Architektur entwickelt, um Kommunikation mit verschiedenen Anwendungen zu unterstützen, d.h. verschiedene Protokollstacks und eigene Anwendungs-SW. Allen gemeinsam ist eine physikalische Schicht (physical layer) und Sicherungsschicht (data link layer).

Bluetooth-Architektur enthält Bluetooth-spezifische Protokolle (wie L2CAP, LMP) und allgemeine (adoptiert) Protokolle (wie TCP/UDP, IP, OBEX, vCard u.a.). Somit Wiederverwendung vorhandene Protokolle, um existierende Anwendungen auch mit der Bluetooth-Technologie zu nutzen. Da Bluetooth-Spezifikation offen ist, besteht für Firmen die Möglich-

keit, eigene Anwendungsprotokolle zu implementieren und sie in der Protokollarchitektur von Bluetooth auf vorhandene aufzusetzen. Zusätzlich ist noch das HCI (Host Controller Interface) spezifiziert, das eine Kommandoschnittstelle zum Baseband Controller und Link Manager (LMP) bereitgestellt.

Protokolle in 4 verschiedene Schichten eingeteilt:

Protokoll Schicht	Protokolle im Stapel
Bluetooth Core Protocols	Baseband, L2CAP, LMP und SDP
Cable Replacement Protocol	RFCOMM
Telephony Control Protocols	TCS Binary, TCS AT-Commands
Adopted Protocols	UDP/TCP, PPP, IP, OBEX, vCard, vCal, WAP, usw.

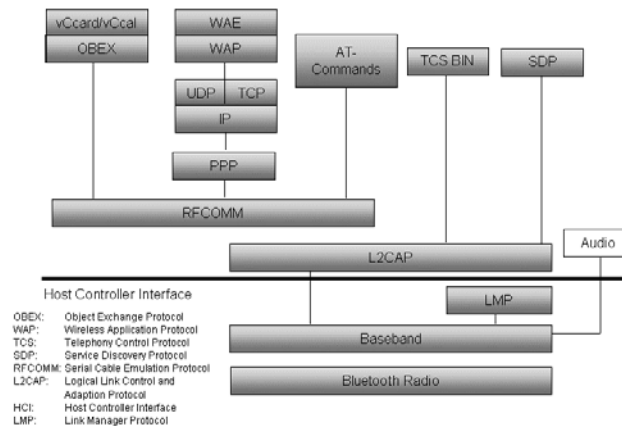


Abbildung 11.5: Protokollstapel Bluetooth

### Kern-Protokolle und Schnittstellen (Auswahl)

#### Link Manager Protocol (LMP) / Link Controller

- Verbindungssetup und Sicherheitsmechanismen, wie Authentisierung, Generierung und Verteilung der Schlüssel,
- LMP kontrolliert die Baseband-Paketgrößen, Power Modi und den Verbindungsstatus einzelner Geräte.

#### Host Controller Interface (HCI)

- Kommandoschnittstelle für Link Manager und Baseband Controller

#### Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)

- Adaptiert Protokolle höherer Schichten über dem Baseband. Ähnlich wie LMP, aber mit Unterschied, dass L2CAP verschiedene Dienste für höhere Schichten bereitstellt, u.a. Protokolle zu Multiplexing, Segmentation und Reassembly (SAR).
- L2CAP erlaubt Anwendungen, Datenpakete bis zu Größe von 64 kByte zu übertragen, im Modus ACL (Asynchronous Connection-Less), SCO nicht unterstützt.

#### Serial Cable Emulation Protocol (RFCOMM)

- Protokoll zur Emulation serieller Schnittstellen („Cable Replacement Protocol“), u.a. RS 232 Emulation (Telefonie-Schnittstelle),
- einfaches Transportprotokoll, Dienste für Protokolle höherer Schichten wie OBEX.

#### Service Discovery Protocol (SDP)

- Dienstvermittlung mit Bluetooth: da Bluetooth in dynamischer Umgebung arbeitet (Geräte mobil, Piconetz veränderlich), können Dienste hinzukommen bzw. wegfallen.
- Bluetooth sorgt für die Identifikation bzw. Bereitstellung der Dienste. Erst danach wird Verbindung zum Endgerät hergestellt.

#### Telephony Control Protocols (TCS-Binary bzw. TCS-AT Commands)

- TCS-Binary: bitorientiert, Rufsteuerung zum Aufbau von Sprach- und Datenverbindungen, Mobilitätsmanagement der Geräte.
- TCS-AT Commands: Befehle zur Steuerung von Handys, Modems und Fax-Geräten.

### 11.3.3 Sicherheitsmechanismen von Bluetooth

#### Sicherheitsarchitektur

Sicherheitskonzeption in Bluetooth ist Teil der Sicherheitsarchitektur eines spezifischen Anwendungsprofils. Dazu durch SIG verschiedene Usage Models definiert. Jedes einzelne der möglichen Anwendungsszenarien wird von einem dieser Profile begleitet, das die Protokolle und deren Interaktionen beschreibt, u.a. Ultimate Headset Profile, Service Discovery Protocol, Synchronisation Protocol.

Das Generic Access Profile („Schale“ der Protokollarchitektur) verfügt über generische Prozeduren zum Auffinden von Bluetooth-Geräten (idle mode procedures) und Funktionalitäten für ein Verbindungsmanagement (connection mode procedures), die in 2 Verbindungsmodi unterscheidet: Connectable Mode und Non-Connectable Mode (Gerät im Connectable Mode kann vom Master abgesetzte PAGE Messages beantworten). Weiterhin sind in diesem Profil sicherheitsrelevante Aspekte umgesetzt, die durch den Authentifikationsprozess auf der Link Layer und der Wahl bestimmter Sicherheitslevel definiert sind.

#### Sicherheitslevel

Bluetooth-Geräte können auf 3 verschiedenen Sicherheitslevel betrieben werden

- Non Secure Mode (Modus 1)
  - Keine Authentisierung, keine Verschlüsselung; lediglich Frequenz Hopping erschwert das Belauschen der Übertragung.
- Service Level Enforced Security (Modus 2)
  - Keine Sicherheitsprozeduren auf Link-Ebene (L2CAP); Verlagerung auf Applikationsebene.
  - Authentisierung beim Verbindungsaufbau durch explizite Aufforderung möglich.
- Link Level Enforced Security (Modus 3)
  - Verlangt gegenseitige Authentisierung beider Parteien und Verschlüsselung des Payloads.
  - Link-Ebene bietet kryptografische Authentisierung und Verschlüsselung des Payloads.
  - Automatische Authentisierung ist Bestandteil des Verbindungsaufbaus.

#### Authentisierung über Bluetooth

Im Sicherheitsmodus 3 erfolgt eine automatische Authentisierung, bevor eine Verbindung aufgebaut wird. Diese besteht aus 2 Phasen: Initialisierungsphase und Authentisierungsprotokoll.

##### 1) Initialisierungsphase

Dazu 3 Phasen: Generierung Init Key ( $K_{init}$ ), Generierung und Vereinbarung des Link Key.

##### 1. Generierung eines Initialisierungsschlüssels

- 128 bit langer Init Key dient dem Schutz der Datenkommunikation während der Initialisierungsphase.
- Generierung per Blockchiffre-Algorithmus ( $E_2$ )
- $E_2 = \text{„SAFER+“}$  und zusätzliche Additionsoperation; damit  $E_2$  nicht invertierbar.
- SAFER+ = 64 bit Blockchiffre; 128 bit Schlüssellänge
- Zur Chiffrierung werden die eindeutige 48 bit lange Bluetooth Device Address, ein 128 bit langer Zufallswert und ein vereinbarter PIN-Code (1-16) und dessen Länge benötigt.
- Init Key verfällt nach Aufbau der Verbindung.

##### 2. Generierung des Link Keys

- Dient der Authentisierung; wird unter anderem vom vorherigen Link Key abgeleitet.
- Je nach Anwendung und Möglichkeit Auswahl eines der folgenden 28 bit langen Link Keys: Unit Key, Combination Key, Master Key.

##### Unit Key

- fester Schlüssel; wird nur bei der ersten Verwendung erzeugt und nie verworfen.
- wird aus  $BD\_ADDR$  und einem Zufallswert mittels  $E_2$  erzeugt.

### Combination Key

- wird bei jeder Session neu erzeugt.
- besteht aus 2 XOR verknüpften Teilschlüssel.
- Teilschlüssel (DB\_ADDR + Zufallswert) werden wieder mit E2 erzeugt.

### Master Key

- findet nur bei Punkt-zu-Mehrpunkt Kommunikation Verwendung.
- verfällt nach Verbindungsaufbau.
- Master erzeugt Master Key mittels 2 Zufallszahlen und  $L=16$ .
- Erzeugung eines „Overlay Keys“ (OVL) auf beiden Seiten.
- Master Key wird mit OVL XOR verknüpft an Slave versandt.

### 3. Vereinbarung eines Authentisierungsschlüssels (Link Key) zwischen 2 Endgeräten

- Vereinbarter Link Key übernimmt Funktion des Authentisierungsschlüssels; veränderbar nach Verbindungsaufbau.
- Bei neuer Session aktueller Link Key = neuer Init Key.

## II) Authentisierungsprotokoll

- Besteht aus zweistufigen Challenge-Response-Protokoll; verwendet symmetrischen Authentisierungsschlüssel (Link Key).
- Normalerweise initiiert durch Master; im Sicherheitsmodus 2 anwendungsspezifisch.
- Master (Verifier) versendet Zufallszahlen an Slave (Claimant). Slave erzeugt daraus, der eigenen Geräteadresse und dem Link Key einen sog. „Signed Response“ (SRES) mittels E1
- E1 ist eine Hintereinanderschaltung von „SAFER+“ und mod. „SAFER+“
- Slave verschickt SRES an Master. Master vergleicht mit eigenem errechneten Wert.  
Für gegenseitige Authentisierung -> Wiederholung des Protokoll durch Client initiiert
- Bei Fehlschlag müssen beide Geräte ein Zeitintervall abwarten; steigt exponentiell mit Anzahl der Fehlschläge (Erschweren von DoS und Brute-Force Attacken)

## Datenverschlüsselung

Verschlüsselung auf Link-Ebene durch Stromchiffrierung mit 8 ... 128 bit langem Verschlüsselungsschlüssel. Verschlüsselungsschlüssel wird in jeder Session aus Link Key abgeleitet (plus Geräteadresse und Zufallszahl).

Master wählt zwischen 2 Encryption Modes; Slave bestätigt Auswahl. Applikation legt Mindestlänge  $L_{min}$  des Schlüssels fest (Mode 2). Jedes Gerät besitzt feste Vorgaben, wie groß Schlüssel maximal  $L_{max}$  sein kann. Festlegung der Schlüssellänge:  $\max \{(L_{min}...16) \text{ komb. } (1...L_{max})\}$ . Aushandlung der Schlüssellänge; Falls keine Einigung, kommt keine Verbindung zustande (~> Verhindern unsicherer Verbindungen). Daten werden mit dem Encryption Key XOR verknüpft versandt.

### Sicherheitslücken

Zufallsgeneratoren sind nicht spezifiziert (implementierungsunabhängig). Die meisten Geräte haben festen PIN oder keinen ~> aber Kompromitierung des Init Keys, da BD\_Adress bekannt und Zufallswert im Klartext übermittelt wird. Alle abgeleiteten Schlüssel können erzeugt werden. Minimale Verschlüsselungslänge nur auf Applikationsebene vereinbart (Mode 2). Minimale Schlüssellänge nicht setzbar, da HCI keinerlei Funktionen dafür bereitstellt (abhängig vom Hersteller). Einige Geräte verwenden reduzierte (maximale) Schlüssellänge (56 bit oder vereinzelt sogar nur 8 bit). „Man-in-the-Middle“ Attacken möglich. Problem: Synchronisation mit dem Master. Lösung: zeitliche Entkopplung der Datenpakete; Clocktakt wird um 1 versetzt.

Attacken auf Algorithmus E0 mit Komplexität von  $2^{66}$  sind bekannt (Vergleich: „Brute-Force“ Attacken:  $2^{127}$ ). Manipulation der Nutzdaten möglich durch „Kippen“ einzelner bits und Neuerrechnung des CRC möglich. Blockchiffre „SAFER+“ weist Schwächen auf.

## 11.4 Neue Entwicklungen der drahtlosen Geräteanbindung

### 11.4.1 Drahtlose Identifikationstechniken (RFID, NFC)

#### RFID (Radio Frequency Identification)

Technologie zur entfernten Identifizierung mittels Funkfrequenztechnik im Nahbereich ~> Basisfunktionalität für Ubiquitous Computing.

*Systemaufbau:*

Hauchdünner Transponder-Chip (Etikett) und Sende/Empfangseinheit (Antenne). Datenübertragung über elektromagnetische Wellen ohne Berührung und Sichtkontakt. Batterie oder andere Energiequelle nicht erforderlich: Energieversorgung aus dem Sendesignal nach dem Prinzip der magnetischen Induktion. Preis: RFID-Chip inkl. Antenne kostet wenige Cents.

*Einsatzgebiete (Auswahl):*

Handel: Warenkennzeichnung, bargeldloser Einkauf in Kaufhallen (Vorteil gegenüber Barcode: mehr Informationen auf RFID-Chip verfügbar). Vereinfachung der Verwaltung und Logistik, u.a. in Bibliotheken, Containerhäfen, militärische Einrichtungen, Krankenhäuser, Kaufhäuser, Produktion.

Bekannte einfache Anwendungsform: *Diebstahlschutz in Kaufhäusern*. Antennen in „Türschleusen“ senden ein Hochfrequenzsignal aus. Der in der Verpackung der Produkte integrierte Chip nimmt über kleine Antenne das Signal wahr und sendet Antwort zurück. Hierbei nur Auswertung eines binären Wertes: bezahlt / nicht bezahlt.

*Allgemeinere Anwendung:* Man kann eindeutige Seriennummer aus dem Chip auslesen bzw. bis zu einige hundert Bits drahtlos auf den Chip schreiben. Entfernung wenige Meter. Wichtige Anwendung: *Logistik*. Kontrolle und Identifikation der Produkte einer Lagerhalle, lückenlose Verfolgung der Warenströme und Lieferketten.

*Verknüpfung mit Internet und Datenbank:* Die eindeutige Objektidentifikation in Echtzeit durch RFID-Chips, deren Vernetzung mit dem Internet und entfernten Datenbanken, eröffnet weitreichende Anwendungsmöglichkeiten, u.a. automatisierte Lagerhaltung, kassenloser Supermarkt, automatisch einstellbare Waschmaschinen (Auslesen der Wäsche-Chips), RFID-Chips im Abfall: bestimmt „Verwendung“ in Müllsortieranlage, RFID-Chips in Bordkarte eines Flugreisenden: damit Reisender auch im Flughafenbereich lokalisierbar (~> kann Ausruf über Lautsprecher ersetzen).

#### NFC (Near Field Communication)

*Drahtlose Nahverbundstechnologie:* Nokia, Sony und Philips kooperieren zur Entwicklung einer neuen drahtlosen Übertragungstechnologie ~> Near Field Communication (NFC): dient zur drahtlosen Verbindung von Geräten wie Digitalkameras, Mobiltelefonen und Notebooks auf kurzen Entfernungen von wenigen Zentimetern. Neue Feldfunk-Technologie ab Ende 2004 auf dem Markt (Mitteilung auf Cebit in Hannover).

Beispiel einer NFC-Nutzung: Nutzer lädt mit einem Mobiltelefon Tour-Informationen von einem mit einem Smart Chip versehenen Plakat seiner Lieblingsband herunter, indem er das Handy vor das Poster hält. Anschließend kann er die Tickets elektronisch kaufen und diese auf seinem Handy speichern und das Mobiltelefon als Eintrittskarte verwenden.

Timo Poikolainen (Nokia): „Bluetooth, Infrarot und andere drahtlose Systeme werden durch NFC nicht ersetzt, sondern ergänzt“. NFC basiert zum Teil auf RFID.

### 11.4.2 Weitere Entwicklungen

#### Stand nach Cebit 2005 bzw. 2008

Ergänzung zu Bluetooth, WLAN, UMTS, GPRS usw., insbesondere zur Vernetzung von Geräten im Haushaltbereich. Neue Technologien unter Beibehaltung der bisherigen Standards.

Seit Jan. 2008 Freigabe von Funkfrequenzen im Bereich 6 – 8,5 GHz in Deutschland. Nutzung für W-USB (Wireless USB). Technische Details der Funkstandards:

Bezeichnung	Frequenz	Übertragungsrate	Reichweite
Zigbee	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	250 Kbit/s	10 – 75 m
NanoNet	2,4 GHz	2 Mbit/s	60 – 900 m
Wimax	3,5 GHz	70 Mbit/s	bis 50 km
Ultra Wideband	3,1 – 10,6 GHz	200 Mbit/s	10 m
W-USB	6 – 8,5 GHz	480 / 110 Mbit/s	3 / 10 m

### Zigbee

Neuer technischer Standard für Funkverbindung im Nahbereich (2005). Technische Details:

Frequenzbereich: 868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz

Übertragungsrate: 250 Kbit/s

Reichweite: 10 – 75 m

Konsortium von Elektronikherstellern, wie Motorola und Samsung. Einsatz bei Vielzahl von Produkten und Anwendungen für Verbraucher, Industrie und Behörden. Anwendungen: Verbindung von Haushaltgeräten auf Strecke von 10 ... 75 Metern, Steuerung von Beleuchtungsanlagen, Chips, eingebaut in Fernbedienungen, Computermäusen oder Sicherheitssystemen.

### NanoNet

Anwendungen wie Zigbee zur drahtlosen Nahbereichskommunikation (Funkverbindung), aber höhere Reichweite und weniger störanfällig. Hersteller: Nanotron. Technische Details:

Frequenzbereich: 2,4 GHz

Übertragungsrate: 2 Mbit/s

Reichweite: 60 – 900 m

Einsatz: Kommunikation zwischen Maschinen, im Haushalt (z.B. drahtlose Bedienung von Rollläden, Brandmelder oder Klimaanlage). Nanonet-Chips sind einfacher zu bauen und verbrauchen weniger Strom. Produkte ab Mitte 2005. Reichweiten: 900/ 60 m (out(indoor)).

### Wimax

Standard IEEE 802.16a, Schließen der Versorgungslücken im breitbandigen Internet. Schnelle, breitbandige Funkverbindung zum Einsatz für längere Distanzen. Technische Details:

Frequenzbereich: 3,5 GHz

Übertragungsrate: 70 Mbit/s

Reichweite: bis 50 km

Chip-Hersteller: Intel. Konsortium: Wimax Forum (Intel, Ericsson, Fujitsu u.a.). Ziel: Anschlüsse mit DSL-Leistung drahtlos über längere Strecken. Entfernung: theoretisch bis 50 km (aber Abschattung durch Hindernisse).

Einsatz dort, wo keine DSL-Anschlüsse. Aber in Deutschland fraglich, da hier die Infrastruktur für breitbandiges und kabelgebundenes Internet vergleichsweise gut. Pilotprojekt in Selm (Westfalen). Produkte: ca. 2005/06. Anfänglich sog. Residential Gateways: Geräte, die Wimax empfangen und in Protokolle übersetzen, die von WLAN verstanden werden. Wimax-fähige Endgeräte ab 2006/07 in Handel, z.B. Notebooks.

### UWB (Ultra-Breitband oder Ultra Wideband)

Entwicklung u.a. durch Intel. Persönliches Netzwerk (WPAN), aber deutlich höhere Bandbreiten als Bluetooth. Somit max. Reichweite bei 10 m. Technische Details:

Frequenzbereich: 3,1 – 10,6 GHz

Übertragungsrate: 200 Mbit/s

Reichweite: 10 m

UWB vergleichbar mit Bluetooth, aber wäre für Bluetooth-Aufgaben unterfordert. Sinnvoller hierbei Einsatzgebiete zur Übertragung von Audio- und Videodaten vom Rechner zum Abspielgerät im Wohnzimmer. Produkte: nach 2007 zu erwarten.

## DSL (Digital Subscriber Line)

Nutzung Kupferkabel (Tel.-Anschluss: analog, ISDN) für breitbandigen Anschluss über Zugangstechnologie zu Backbone-Netzwerken (Internet) durch DSL. Ausnützung der höheren Frequenzen (Sprache bis 4 kbit/s) zur Datenübertragung. Bekannt: ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line), Telekom: T-DSL; download: 8 Mbit/s, upload 768 kbit/s (ab 2006: 16 Mbit/s bzw. 1 Mbit/s).

Dazu wird vom Provider (z.B. T-Com) ein Splitter bereitgestellt (Frequenzweiche). An den Splitter anschließbar: DSL-Modem, Fax, Telefon. Splitter teilt die Daten aus dem Telefonnetz auf in Telefon-, Fax- und Internetdaten (online-Zugang).

DSL-Modem über Ethernet-Kabel oder USB-Schnittstelle mit PC verbunden. Auch mehrere im NW verbundene Computer über das Modem via DSL mit Internet verbindbar. DSL-Modem als externes Gerät verfügbar (hier kein PC-Eingriff erforderlich) oder als PC-Karte für den PCI-Steckplatz des Mainboards (dadurch evtl. Ethernet-Anschluss freigehalten für Verbindungen zu anderen PCs im LAN).

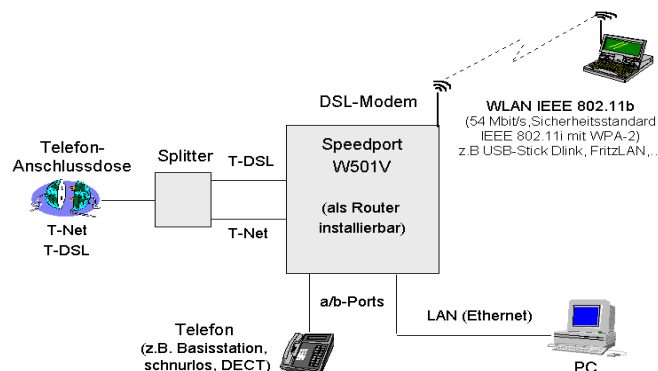


Abbildung 11.6. Anschlusskonfiguration (Beispiel T-DSL)

Soll Zugriff über DSL-Anschluss mit mehreren Computern durchgeführt werden, ist ein Router erforderlich (z.B. NAT-Router), an den die PCs angeschlossen werden. Router bietet auch größere Sicherheit gegenüber Netzangriffen, z.T. sind diese auch mit einfachen Firewalls ausgerüstet (z.B. Schließen von nur selten genutzten Ports).

## Funkstandard WLAN (Wireless Local Area Network)

Standards:

IEEE 802.11: 2 ... 54 (108) Mbit/s, Aufbau von hot-spots, Access Points. Verschiedene Standards, u.a. IEEE 802.11b: 11 und 54 Mbit/s, 2,4 GHz, 30-300 m (seit 1999).

IEEE 802.11i: unterstützt Sicherheitsstandard nach WPA-2 (Wi-Fi Protected Access 2).

HIPERLAN/1 und /2, nach Standard ETSI (54 Mbit/s).

Damit kabellose Verbindung auch bei DSL-Anschluss zwischen PC und Splitter/Modem. Dazu benötigt der PC eine WLAN-Karte bzw. WLAN-USB-Stick. Auf Seite des Netzanschlusses ist ein WLAN-Modem/Router erforderlich, der die Daten an den Splitter weiterleitet und per Funk an den PC überträgt.

Beispiele: WLAN-Router DG834GB von Netgear (mit ADSL-Modem, Firewall und einem 4-Port-Switch für bis zu 4 PC, die per Netzwerkkabel an Router anschließbar sind).

Moderne DSL-Modems (z.B. Speedport W501V) mit Router-Fkt. u. WLAN (IEEE 802.11i).

## Bluetooth als Alternative zu WLAN

HW-Hersteller AVM (Berlin) bietet eine Alternative zu WLAN: *Access Point BlueFritz*. AP-DSL vereint DSL-Modem, DSL-Router und ISDN-Karte in einem Gerät und ermöglicht u.a. den Zugriff auf den DSL-Anschluss via Bluetooth. Der PC benötigt für den Online-Zugang einen Bluetooth-Adapter, der an einen USB-Anschluss des Rechners gesteckt wird. Übertra-

gungsraten: bis zu 723 Kbit/s. Zum Vergleich: DSL: 768 Kbit/s (ausreichend für WLAN, aber Senkung durch Störfaktoren ist zu berücksichtigen), Ethernet: 100 Mbit/s (dagegen konstant). DSL nicht sicher gegenüber Dialer-Programmen.

### **11.4.3 UWB (Ultra Wideband)**

#### **Drahtlose Ultra-Wideband-Kommunikation**

Ergänzung zu IR, Bluetooth, NFC u.a., Einsatz als WPAN. Verwendung eines alten Ansatzes: kurzzeitiges Senden mit hoher Bandbreite. Entfernung bis 10 m, Datenraten >100 Mbit/s.

Anwendungen:

- „Piepende Milchtüte“ (Chip: mit Barcode ~> sendet bei Verfall eine SMS ans Handy).
- Mit hoher Bandbreite können z.B. Bilder einer Digitalkamera über Funk durch kurze Impulse bis zu zehn Mal schneller an PC überspielt werden als mit heutigem WLAN.

Grundlagenuntersuchungen im Projekt Pulser: Koordination durch GWT/TU Dresden. EU-Förderung: ca. 30 Mio. €.

UWB-Funktechnologie, basierend auf der Übertragung von Funksignalen mit großer Bandbreite, mindestens 500 MHz (i.d.R. 3,1 - 10,6 GHz). Übertragungsraten: 200 Mbit/s ... Gbit/s. Große Datenmengen kabellos in kürzester Zeit übertragen. Da alle attraktiven Funkbänder besetzt sind, werden lizenzfreie Frequenzreserven genutzt: Anstelle modulierter Signale in schmalen Frequenzbändern, werden bei UWB kurze Impulse auf einem breiten Frequenzspektrum erzeugt. Das Signal wird gespreizt, die Verschlüsselung erfolgt durch Variationen in der zeitlichen Folge der Impulse.

Marktstudie in Europa: ab 2009 werden 157 Mio. Geräte in der Heimelektronik, PCs und Mobilfunk mit UWB erwartet (weltweit 543 Mio.). UWB-Chips sollen in PCs, Fernseher, DVD-Player, aber auch in Armbanduhren, Handys, Milchtüten oder Kühlschränken eingesetzt werden. Anwendung insbesondere dort, wo die anderen Systeme an ihre Grenzen stoßen.

Reichweite: 3 – 10 m (WLAN: 50 – 300 m). Neue Anwendungsfelder für UWB-Chips:

- drahtlose Sensornetze: Energiearme Sensoren mit Funkverbindung. Anwendungen mit niedrigen Datenraten, z.B. zur Überwachung von Waldbränden, Standortverfolgung in Fertigungshallen und Lagern, Überwachung von Luft- und Gewässerqualität.
- drahtloser USB-Anschluss für externe Geräte am Computer, mit hoher Übertragungsraten.

### **11.4.4 Wireless USB**

Wireless USB (W-USB): Funktechnologie im Nahbereich zum drahtlosen Anschluss peripherer Geräte. 2 Spezifikationen für die funkbasierte Erweiterung des USB-Standards:

CWUSB (Certified Wireless USB) durch USB Implementers Forum.

WUSB von Cypress Semiconductors, nicht von USB-Organisation unterstützt.

W-USB basiert auf UWB- (OFDM-) Technologie (ECMA-368, WiMedia Alliance). Übertragungsraten entfernungsabhängig:

480 Mbit/s (bis 3 m, spezielle Chips für bis 9 m), 110 Mbit/s (bis 10 m).

Übertragung im Frequenzband zwischen 3,1 und 10,6 GHz, aufgeteilt in 5 Bandgruppen. Ein Band belegt Bandbreite von 528 MHz. Frequenzen weltweit noch nicht freigegeben. Frequenzfreigabe des Bereiches 6 bis 8,5 GHz durch EU für 2010 erwartet.

Für DE erfolgte Frequenzfreigabe am 16.01.2008, erste Geräte auf CeBIT 2008. Geräte als einfaches Device, Host (HUB für 127 Devices) oder Inhouse-Equipment. Stellt MSC-Funktion (Mass Storage Device) für Lese/Schreibzugriff auf Speicher bereit.

### **11.4.5 WLAN und FritzBox-WLAN**

#### **WLAN (Wireless LAN)**

Standards: IEEE 802.11x (Industrie- und Heimnetze), IEEE 802.16 (breitbandig, z.B. Wi-max), HIPERLAN (ETSI, z.B. für UMTS Core Network).



WLAN leistungsfähiges, kabelloses Heimnetz (Daten, Video, Musik, Internetzugang), Quasi-Standard IEEE 802.11b, sog. **WiFi-Standard**: 54 Mbit/s, gestattet Verbindung von Geräten unterschiedlicher Hersteller. Einige Hersteller (wie Netgear, D-Link, Belkin) bieten höhere Übertragungsraten (108 ... 300 Mbit/s), aber nicht für alle Geräte kompatibel.

Probleme bei WLAN:

- Reichweite (Sendeleistung, Abschattungen, Hindernisse) ~> gute Positionierung nötig,
- Sicherheit (DSL-Zugang, Passwort, default-Einträge, WEP- bzw. WPA-Verschlüsselung, Firewall, Netzwerkkennung SSID),
- Beschränkung der IP-Adressen und Identifikation der Netzwerkkarten (MAC-Adresse),
- Konfigurierung: kompliziert, z.T. vorkonfigurierte Geräte (z.B. FritzBox-WLAN).

### **Standards für WLAN nach IEEE 802.11 (Auswahl)**

*IEEE 802.11a*: 54 Mbit/s, Standard 1999, Frequenzbereich bei 5 GHz, Reichweite ca. 25 m

*IEEE802.11b*: 11 Mbit/s (-> 54 Mbit/s), Standard 1999, Frequenzbereich bei 2,4 GHz, Reichweite bis 300 m. Weit verbreitet, Kompatibilität zum Standard 802.11g.

*IEEE 802.11g*: 54 Mbit/s, Standard 2002/2003, abwärtskompatibel zu IEEE 802.11b. Beschränkung auf max. Ü-Rate von 54 Mbit/s, Reichweite wie IEEE 802.11b (300 m). Infolge Kompatibilität können IEEE 802.11g Router und Access Points problemlos in ein bestehendes IEEE 802.11b-Netz integriert werden.

*IEEE 802.11i*: unterstützt Sicherheitsstandard nach WPA-2 (Wi-Fi Protected Access 2).

### **Vorkonfigurierte WLAN-Produkte**

FritzBox-WLAN: mit eingestellten Sicherheitseinstellungen. Hersteller: AVM (Berlin).

Hercules WiFi-Serie: mit Bediensoftware und Handbücher; Hersteller: Guillemot.

## 12 Plattformen für Wireless Applications

### 12.1 Drahtloser Datenaustausch in mobilen Umgebungen (OBEX, SyncML, Versit)

#### Charakteristika mobiler Szenarien

Traditionell: drahtgebundene Netze, Infrastrukturnetze, Leitungs- und Paketvermittlung. Erweiterung: drahtlose Netze, Ad-hoc-Netze, Sprach- und Datenkommunikation.

Unterschiede zu stationären Szenarien:

- \* Verbindung oft spontan aufgebaut und beendet.
- \* automatisches Aushandeln der Übertragungsparameter, Dienstsuche.
- \* Geräten unterschiedlicher Hersteller (Datenformat, Protokoll), z.T. proprietäre Lösungen.

Spezielle Charakteristiken mobiler Endgeräte (HW, SW, Betriebssysteme). Weiterhin automatische Konfigurierung, Datensynchronisierung, Sicherheitsaspekte.

Dazu verschiedene Anwendungsprotokolle der mobilen Datenkommunikation, u.a. OBEX, SyncML, Versit (vCard, vCalendar, vNote, vMessage), WAP (Datenstruktur WML), i-Mode (Datenstruktur cHTML).

#### OBEX (Object Exchange Protocol)

##### Konzeption

OBEX für einfachen Datenaustausch zwischen mobilen Geräten. Basis-Idee: Übertragung von "Objekten", ohne konkrete Datenformate im Protokoll zu spezifizieren, u.a. Textnachrichten, Visitenkarten, Memos, Bilder einer Digitalkamera. Unzureichend für kontinuierliche Datenströme (wie Audio- und Videoströme).

Unterlegte Infrastrukturen: Infrarot (Basis IrDA, sog. IrOBEX), Bluetooth (L2CAP), Internetprotokolle TCP/IP. OBEX-Unterstützung in verschiedenen Betriebssystemen: PalmOS, MS Windows (ab Version 2000), Windows CE bzw. Mobile, Pocket PC 2002, Aripas (von C-Technologies für elektronische Stifte), einige Mobiltelefone.

Einsatz in Palm-Geräten unter PalmOS. Mittels „Beamen“ können einzelne Datensätze eingebauter Standardanwendungen (z.B. Terminverwaltung, Adressen, Memos) an andere Palm-Nutzer per Infrarot übertragen werden. Bekannte Anwendung: Übertragung elektronischer Visitenkarten.

##### Struktur

OBEX auf Anwendungsebene auf Datei-Niveau (Put/Get) abgebildet. OBEX kann auf jedem zuverlässigem Transportprotokoll aufsetzen. Protokollstrukturen (Beispiele): Internetprotokoll TCP/IP, Bluetooth Transport-Protokoll L2CAP, OBEX-Variante IrOBEX von IrDA.

Beispiel: Integration von OBEX in die IrDA-Protokollhierarchie.

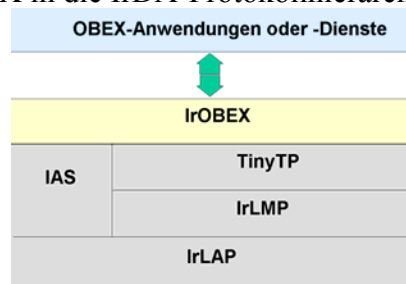


Abbildung 12.1: OBEX und IrDA-Protokollhierarchie

TinyTP: zuverlässiges Transportprotokoll;  
 IAS-Dienst: zum Ablegen näherer Informationen des Dienstes und für Abfrage von anderen Geräten.

## SyncML (Synchronization Markup Language)

### Konzeption

SyncML: Plattform-unabhängiger Standard zur Datensynchronisation zwischen Computern und zur Datenübertragung in mobilen Anwendungsszenarien. Daten: beliebige Info's, i.allg. PIM-Daten (Adressen, Kalendereinträge) oder Emails.

SyncML ist auch Beschreibungssprache (Basis: XML) und Protokollvereinbarung.

Spezialform: SyncML-DM (SyncML for Device Management) für Fernwartungsfunktionen für mobile Endgeräte, u.a. Verwaltung von Konfigurationen und SW-Aktualisierungen über einen Server.

*Plattformunabhängigkeit:* Offener Standard (nichtproprietär) für Endgeräte unterschiedlicher Hersteller und allge-meiner Netzwerkarchitektur ~> erlaubt Synchronisation über Internet, Mobilfunknetz oder direkt verbundene Endgeräte: TCP/IP, WSP (Wireless Session Protocol im WAP) oder OBEX.

### Aufgabenstellung

Grundaufgabe: Synchronisation der Datenbestände zwischen portablen Geräten über ein beliebiges Netzwerk, z.B.

- zwischen zentraler Datenbank und Geräten mobiler Außendienstmitarbeiter,
- zwischen Kalendern aus PDAs und zentralem Kalender einer Firma,
- Lesen von Emails über mobile Endgeräte, wobei zentrale Mailbox konsistent bleibt (Push-Dienst),
- Mitnahme von Dokumenten, Editierung auf Reise und spätere Synchronisation mit Heimbestand.

Jedes beliebige Gerät mit SyncML-konformen Client kann Daten mit SyncML-fähigen Server abgleichen, unabhängig von Betriebssystem und Hersteller. Typische Endgeräte: PC, Mobiltelefone, Handcomputer (Laptop, PDA, Smartphone).

SyncML Konsortium (Anfang 2000): Initiative von Ericsson, IBM, Lotus, Motorola, Nokia, Palm Inc., Psion, Starfish, Symbian. Später in OMA (Open Mobile Alliance) angesiedelt, über 200 Firmen (nicht Microsoft). Für MS Pocket-PCs gibt es SyncML Clients von Drittanbietern. Ende 2000: erste Spezifikationen und prototypische Implementationen verfügbar.

### Datensynchronisation

Abgleichen der Datenbestände zwischen verschiedenen Endgeräten (PC, Notebook, ... Mobiltelefon). Dabei u.a. kontrolliert, welches Endgerät welche Daten hat, ob das andere Endgerät die anderen Daten will, ob bei unterschiedlichen Datenversionen Änderungen beibehalten werden sollen.

SyncML-Nachrichten in einer Client/Server-Kooperation ausgetauscht:

- i.allg. Start einer Synchronisation durch Client,
- ab SyncML Version 1.3 auch Push vom Server zum Client.

SyncML-Nachrichten ähnlich Email-Nachrichten strukturiert: Kopf mit Empfänger- / Sender-Informationen, sowie Synchronisations-IDs für Server, gefolgt von Synchronisationsbefehlen zum Hinzufügen, Löschen oder Ersetzen von Daten.

*Konzepte zur funktionellen Datensynchronisation*

- ID handling: zur eindeutigen Identifikation eines Datensatzes (z.B. Adresseintrag). Realisierung durch eindeutige ID (identification data – i.d.R. eine Nummer). Darüber auch Gerät ausweisbar.
- Change detection: definiert, ab wann ein Datensatz als geändert gilt. Meist mit *timestamp* (Datum inkl. Uhrzeit) kombiniert – damit Zeitpunkt der Änderung definiert.-Modification exchange: Definiert, wie eine Änderung durchgeführt wird: Löschung, Ersetzung oder Neuerstellung.

- Conflict detection: Erkennung der Konfliktfälle, z.B. gleichzeitiges Ändern, wessen Daten sind zu synchronisieren.
- Conflict resolution: Hierbei entschieden, wie die erkannten Konfliktfälle zu lösen sind, z.B. zuerst oder zuletzt geändert ~> Festlegung des Datensatzes als Referenz zur Aktualisierung.
- Slow and fast synchronization: Festlegung, ob alle Daten zu vergleichen sind oder nur die Daten, die sich seit dem letzten Synchronisationsvorgang geändert haben.

## Architektur

SyncML als Client/Server-Architektur:

- Client: mobiles Gerät (Mobiltelefon, PDA, Notebook), Server: stationärer Rechner.  
Auf beiden laufen die eigentlichen Anwendungen, zusätzlich *Client-* bzw. *Server-Agents* für das Synchronisationsprotokoll.
- Auf Server zusätzlich sog. *Sync Engine* zur Analyse und Modifikation der Daten.

Realisierung des SyncML-Konzepts durch 2 Protokolle:

- Synchronisationsprotokoll (*SyncML Synchronization Protocol*): Verständigung der an der Synchronisation beteiligten Partner und Ausführung der Synchronisation,
- Darstellungsprotokoll (*SyncML Representation Protocol*): Spezifikation der Kodierung für Datentransport und Festlegung der Grundoperationen zur Datensynchronisation.

Kommunikationsprotokolle:

- HTTP (für Web), WSP (Sitzungsprotokoll des WAP), OBEX (für Bluetooth und IrDA).
- ggf. weitere Protokolle, wie Email-Protokolle des Internet (SMTP, POP3, IMAP), TCP/IP, proprietäre drahtlose Transportprotokolle.

*SyncML-Protokollaufbau:*

SyncML sichert einheitliches Austauschprotokoll für alle Geräte, unabhängig vom Gerätetyp und Übertragungsweg:

- Verschiedene Gerätetypen: PDA, Handheld, Mobiltelefon, Digitalkamera, Laptop, PC.
- Etablierte Kommunikationsprotokolle, wie HTTP (für Web), WSP (Sitzungsprotokoll des WAP), OBEX (für Bluetooth und IrDA); ggf. weitere Protokolle, wie Email-Protokolle des Internet (SMTP, POP3, IMAP), TCP/IP, proprietäre drahtlose Transportprotokolle.
- Datenaustausch über SyncML-Synchronisationsprotokoll.

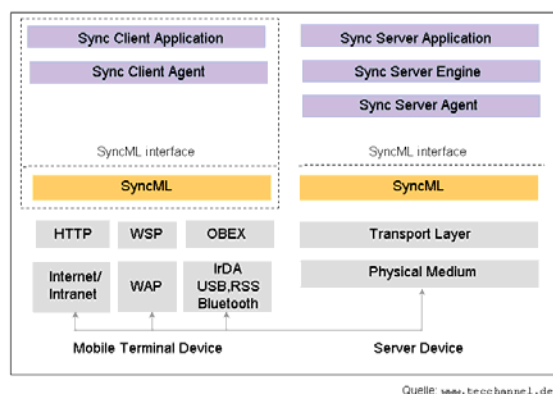


Abbildung 12.2. SyncML Protokollaufbau

*Synchronisationsablauf zwischen Client und Server bei SyncML:*

- Datenaustausch erfolgt über SyncML-Schnittstelle (Interface)
- SyncML-konvertierte Daten werden über beliebiges Protokoll zwischen Client und Server übertragen: HTTP (TCP/IP), WSP (WAP) oder OBEX (Bluetooth, Infrarot).
- Sync Client Agent leitet einen Synchronisationsvorgang auf Basis des SyncML-Protokolls ein und verwaltet die Übertragungsvorgänge auf Client-Seite.

- Auf der Gegenseite wartet der Sync Server Agent auf eine Synchronisationsanforderung.
- Die Sync Engine führt dabei eine Analyse durch und prüft, welche Daten zu verändern sind. Dazu öffnet und modifiziert sie Datenbanken, reagiert auf Veränderungen im Terminkalender oder aktualisiert die Ordner des Email-Programms.

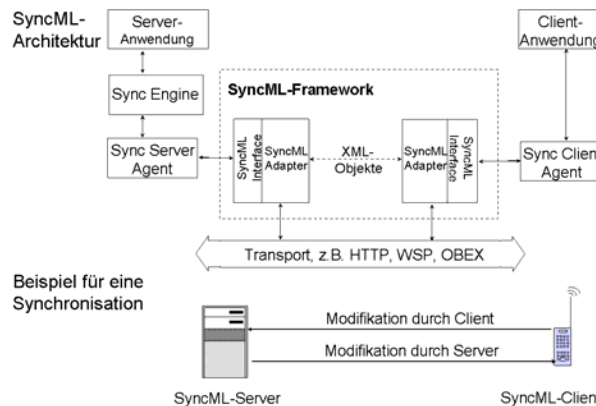


Abbildung 12.3: SyncML Infrastruktur

### Synchronisation von Datenbeständen

Datenbank hierbei als Sammlung von Dateien und Verzeichnissen; Identifikator gebildet aus Dateiname und Pfad. Verwenden Client und Server unterschiedliche Identifikatoren, so bezeichnet man diese serverseitig als GUID (Global Unique Identifier) und clientseitig als LUID (Local Unique Identifier). Zuordnung GUID <-> LUID erfolgt über spezielle Tabelle.

7 verschiedene Synchronisationstypen, u.a.

- Einweg-Synchronisation Client (Client sendet Änderungen an Server),
- Einweg-Synchronisation Server (Server sendet Änderungen an Client),
- Zweiwege-Synchronisation (Abgleich der Client- und Serverdaten durch Austausch).

### SyncML-Nachrichten zwischen Client und Server:

Nachrichten besitzen Teilnachrichten, die auch eine Unterstruktur aufweisen können, Verschieden Tags, Anwendung XML als Beschreibungssprache, die beliebige Verschachtelungen erlaubt.

### Anwendung (Auswahl)

- Synchronisation von PIM-Daten (Kalender, Aufgaben, Adressen, ...), z.B. für Microsoft Outlook.
- Daten-Synchronisation von Push Emails.

Bekanntes SW-Werkzeug: Funambol: Java OpenSource SyncML-Server und SyncML-Clients, ehemals *sync4j*.

### Formate des Versit-Konsortiums

Infrared Data Association (IrDA) erkannte Bedeutung zur Festlegung von Datenformaten für Datenaustausch zwischen mobilen Geräten ~> Gründung *Versit-Konsortium*: u.a. Apple, AT&T, IBM, Siemens, HP. Ziel: Spezifikation von Standards von Formaten für drahtlosen Datenaustausch ~> nach 1996 durch Internet Mail Consortium weitergeführt.

Durch Versit-Konsortium definierte Formate:

**vCard:** Format entspricht der elektronischen Visitenkarte. Neben dem Namen können Bilder, Logos, und Töne in einer vCard gespeichert werden.

**vCalendar:** Ein vCalendar-Eintrag definiert ein Ereignis aus einem Kalender: einfacher Eintrag (z.B. 31.12.2006: "Silvesterparty"), komplexe, regelmäßig wiederkehrende Einträge (z.B. jeden 1. Dienstag im Monat 17 - 20 Uhr: "Vorstandssitzung").

**vNote** und **vMessage**: Format für kleine textuelle Notizen oder Nachrichten. Nur geringe Anwendungsverbretung im Gegensatz zu vCard und vCalendar. Formate vCard und vCalendar von vielen Geräten unterstützt, insbesondere Organizern.

Über OBEX-Protokoll einfacher Datenaustausch möglich. 4 Formen der Unterstützung beim Austausch von Objekten:

1. Minimum Level: Nur Übertragung einzelner Datensätze (z.B. einzelne Visitenkarten).
2. Access Level: Mehrere Datensätze auf einmal übertragbar (z.B. ganzes Telefonbuch).
3. Index Level: Datensätze anhand eines Indexes identifiziert und gezielt übertragen.
4. Sync Level: Synchronisation der Datenbestände zweier Geräte.

Beispiel vCard:

```
BEGIN:VCARD
VERSION:2.1
N;CHARSET=ISO-8859-1:Irmscher;Klaus
ADR;;;Rechnernetze & Verteilte Systeme\
Augustusplatz 10-11;Leipzig;;04109;Germany
ORG:Universität Leipzig
TEL;PREF;WORK;VOICE:+49 341 97 32 271
TEL;WORK;FAX:+49 341 97 32 289
EMAIL;WORK;INTERNET:irmscher@informatik.uni-leipzig.de
X-PALM-CUSTOM;2;Interests:Mobile Computing
X-PALM-CUSTOM;3;Homepage:http://www.informatik.uni-leipzig.de/rnvs/
UID:1900581
END:VCARD
```

Elektronische Visitenkarte oder Eintrag im elektronischen Adressbuch, Einträge können mit vCard-Format zwischen portablen Geräten ausgetauscht werden, vCard-Format auch von Web-Browsern verstanden.

## 12.2 WAP (Wireless Application Protocol)

### 12.2.1 Drahtloser Internet-Zugang zu Web-Inhalten

#### WAP und WML

Bisherige Technologie für entfernten Zugriff auf Unternehmens- bzw. zentrale Daten: Kombination aus Laptop, Web-Browser und Handy oder Modem. Probleme solcher Remote-Access-Szenarios: geringe Bandbreite, unsichere Verbindung, fehleranfällige Setups, Bedien-Unfreundlichkeit und Datensicherheit.

Abhilfe durch WAP-Technologie (**WAP: Wireless Application Protocol**):

- \* Anwender greift nur noch über ein Device (Handy, PDA oder Handheld) auf die Daten in der "Unternehmens"-Zentrale zu.
- \* WAP sichert geringen Bandbreitenbedarf, geringe Display-Auflösung.
- \* Es existieren WAP-Anbindungen an bestehende Web-Systeme und Web-Tools.

Zentraler Bestandteil einer WAP-Anwendung: sog. **WAP-Gateway**. Aufgabe: WAP-Seiten an mobiles Gerät liefern (Handy <--> WAP-Gateway <--> WAP-Server). Info-Anbieter muss seine Dienste in WAP-gerechter Form an WAP-Gateway senden, d.h. als *WML-Daten* und *WMLScripts* (WML: Wireless Markup Language). Berücksichtigung kleiner Displayfläche und eingeschränkte Tastaturoptionen der meisten WAP-Endgeräte.

3 Vorgehensweisen für die Transformation der Daten nach WML:

- \* Verwendung eines Transformationstools eines Herstellers für die Standard-SW,
- \* Konvertierung bereits vorhandener Web-Seiten nach WML unter Verwendung kommerzieller Tools,
- \* Aufsetzen auf Internet-Protokollen der anzubindenden Systeme wie POP3, LDAP oder Telnet mit kommerzieller Software.

Für einige Standardsoftware-Programme gibt es Zusätze, die Daten aus der klassischen Anwendung extrahieren und nach WAP / WML umsetzen können; ebenso umgekehrt.

## 12.2.2 WAP Konzeption und Funktionsweise

### WAP-Forum

Mobilfunkhersteller Ericsson, Motorola, Nokia und Softwarehaus Unwired Planet gründen 1997 das WAP-Forum. Zielstellungen: Spezifikation eines Protokollstandards (1998), Entwicklung des Wireless Application Protocol (WAP), erste Unterstützung durch marktfähige Endgeräte (1999), Schwerpunkt Mobilfunktelefone, aber auch WAP-fähige Pager und PDAs. WAP erweitert Web auf mobilen Zugriff, d.h. Nutzer kann Seiten abrufen und über Hyperlinks zwischen den Seiten navigieren.

Protokollentwurf berücksichtigt limitierte Ressourcen der Mobilgeräte und des Ü-Kanals: langsame CPUs der WAP-Geräte, kleine Speicher (RAM, ROM), i.d.R. keine Massenspeicher, kleine Displayanzeigen, oft nur schwarz-weiß, eingeschränkte Eingabemöglichkeit, z.B. Handy-Tastatur, Mobilfunknetz: ungenügende Bandbreite, Stabilität und Verfügbarkeit.

### Web-Anwendung

Kommunikation zw. Browser und Web-Server erfolgt über die Internet-Protokolle HTTP, TCP/UDP, IP. Daten in HTML oder XML aufgebaut. Web-Browser übernimmt die Darstellung im Client.

WAP-Gateway: In die Verbindung zwischen Mobile-Device und HTTP-Server wird ein WAP-Gateway eingefügt. Kommunikation zwischen WAP-Gateway und Web-Server erfolgt über HTTP, zwischen WAP-Gateway und Client über WAP.

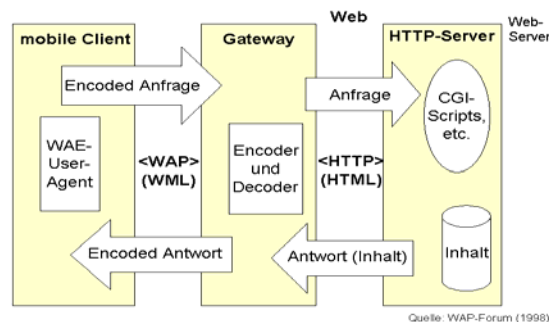


Abbildung 12.4: WAP Gateway

2 Aufgaben des WAP-Gateways: Übersetzung zwischen HTTP und WAP, Codieren des abgehenden WAP-Stroms bzw. Decodieren ankommender Daten.

Durch die Codierung werden die zu übertragenden Daten komprimiert ~> Reduzierung der Datenmenge und Einsparung von Bandbreite. Zusätzlich kann das Gateway das Caching von Content (Inhalt) übernehmen oder WML-Seiten dynamisch in Abhängigkeit von Benutzergruppen anpassen. Auf Client-Seite nun kein Web-Browser mehr, sondern ein Micro-Browser, der u.a. codiertes WML und WMLScript versteht. WAP verfügt außerdem über neue Möglichkeiten, wie Telefonie-Schnittstelle.

### WAP Infrastruktur

Verschiedene Möglichkeiten, um Seiteninhalte auf WAP-fähiges Endgerät zu transportieren. Datenstruktur: Inhalte, die von WAP-Endgeräten dargestellt werden sollen, müssen in der Beschreibungssprache WML (Wireless Markup Language) vorliegen. WML analog HTML, aber mit limitiertem Sprachumfang und speziell für mobile Endgeräte ausgelegt. Zur Darstellung benötigt das Endgerät einen WML-Browser.

WML-Inhalte (Seiten) auf Web-Servern in HTML abgespeichert. Übertragung im Internet erfolgt auf Basis des Protokolls HTTP. Vor Übergabe ins Mobilfunknetz konvertieren WAP-Gateways (WAP-Proxies) die Inhalte in binäres WML-Format (kompakter gegenüber WML, Einsparung Bandbreite). Das binäre Format (WBXML: WAP binary XML) nutzt im Gegensatz zum WML alle 8 Bits eines Datenwortes. Durch Verwendung eines sog. *Tokens* kann

Bandbreite besser ausgenutzt werden. Dabei WML-Tags durch einzelne Bytes kodiert (statt längere Zeichenketten).

WML-Seiten können sowohl direkt auf Web-Servern als auch dynamisch aus existierenden HTML-Seiten abgeleitet werden. Dazu Konvertierung durch spezielle Filter. Allerdings dabei *Informationsverluste*, da WML-Browser i.allg. weniger Inhalte als Web-Browser darstellen können, u.a. Bilder nur reduziert darstellbar, eingebettete Objekte (Java-Applets, JavaScript-Programme) nicht ausführbar.

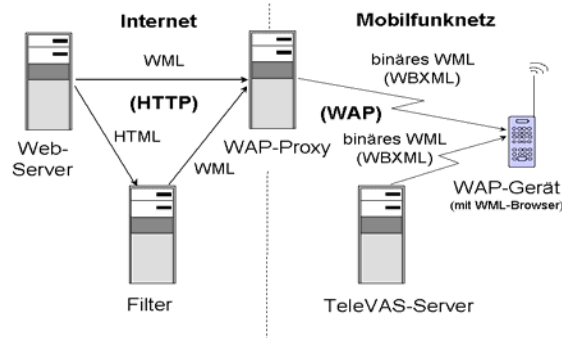


Abbildung 12.5: WAP Infrastruktur

Dritte Möglichkeit, auf WAP-Dienste zuzugreifen, bieten sog. TeleVAS-Server (Telephony Value Added Services, Sprachmehrwertdienste), eine Anwendung des User Agent WTA (Wireless Telephony Application). Hierbei Verwaltung von Sprachdiensten (weniger inhaltliche Präsentationen), u.a. Rufumleitung, Rückruf auf Besetzzeichen, Konferenzschaltung.

Diese Dienste können menügesteuert über den WAP-Browser eingerichtet werden. Verwaltung solcher Dienste wäre auch durch fest integrierte Anwendung möglich, würde aber erfordern, dass dieser Dienst schon bei Herstellung des Endgerätes bekannt ist.

### 12.2.3 WAP-Architektur

#### Schichtenmodell WAE / WAP

WAP (Wireless Application Protocol) ist Stack-orientiert, analog zum Internet-Protokoll-Stack HTTP, TCP/UDP, IP. WAE/WAP Protocol Stack (WAP-Forum, 1998):

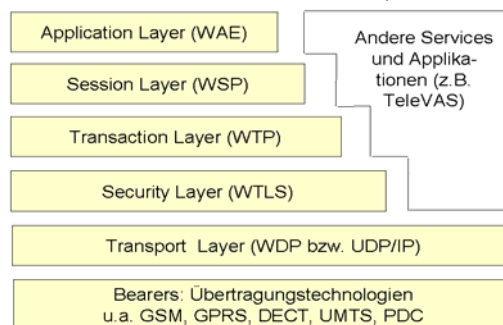


Abbildung 12.6: WAE/WAP Protocol Stack

- Wireless Application Environment (WAE),
- Wireless Session Protocol (WSP),
- Wireless Transaction Protocol (WTP),
- Wireless Transport Layer Security (WTLS),
- Transport Layer: Datagramms (UDP/IP bzw. WDP)
- Bearers, u.a. GSM, GPRS, SMS, DECT, CDMA, IDEN, CDPD, PDC, PDC-P, ..., UMTS

#### WAP-Protokollstapel

##### Applikations-Schicht (Application Layer)

Definiert Umgebung für mögliche Anwendungen. Zu dieser Schicht gehören:



- Wireless Application Environment (WAE) mit *User-Agents*. Bekanntester User-Agent: Micro- /WML-Browser. Weiterer User-Agent: WTA (Wireless Telephony Application).
- Seitenbeschreibungssprache WML,
- Scriptsprache WMLScript (vergleichbar mit JavaScript für HTML),
- Weitere Schnittstellen zu Sprachmehrwertdiensten.

*Sitzungsschicht (Session Layer)*, u.a. mit Wireless Session Protocol (WSP)

*Transaktionsschicht (Transaction Layer)*, u.a. mit Wireless Transaction Protocol (WTP)

*Sicherheitsschicht (Security Layer)*: Sicherung von WAP-Verbindungen Wireless Transport Layer Security (WTLS). Basis: Transport Layer Security Protocol (TLSP).

*Transportschicht (Transport Layer)*: kann Daten auf 2 Arten übermitteln über Wireless Datagram Protocol (WDP) bzw. über User Datagram Protocol (UDP)

*Netzwerkschicht (Network Layer)*

Übertragungsdienst wird durch die zur Transportschicht zugehörige NWL und Bearer-Dienste realisiert, z.B.

WDP über GSM (Global System for Mobile Communications),

WDP über DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications),

UDP über IP (falls IP als Übertragungsdienst, wird UDP statt WDP eingesetzt. UDP stellt gleiche Funktionalität und Services wie WDP bereit).

### **WAE: Wireless Application Environment**

WAE beschreibt die im WAP-Device zur Verfügung stehenden User-Agenten sowie die entsprechenden Formate. Bekanntester User-Agent: Micro- oder WML-Browser. Weitere Agenten: Telefonbücher, Nachrichten-Editoren. Definierte Formate: WML, WMLScript- und Image-Formate.

Micro- oder WML-Browser ist verantwortlich für die Ausführung von WML, WMLScript und verfügt über ein Wireless-Telephony-Application-Interface (WTAI). WTAI ist ein Framework für den Zugriff auf Telefonfunktionen und gehört mit zur WAE. Zu diesen Funktionen gehört das Messaging, der Telefonbuchzugriff und das Auslösen von Telefonanrufen ~> z.B. damit ein Interface realisierbar, das bei einem Anruf auswählen kann, ob er angenommen, an andere Person weitergeleitet oder als Voice-Mail behandelt werden soll. Ein logisches Interface erlaubt WML und WMLScripten einen Zugriff auf bestimmte Funktionen. Mit dem Interface für Netzwerk-Telefonie-Infrastrukturen kann man Ereignisse im Mobile-Netzwerk überwachen und Aktionen auslösen (TeleVAS).

### **WSP: Wireless Session Protocol**

Über WSP erfolgt der Zugriff von WAP-Browsern auf das unterliegende Netzwerk. WSP erlaubt Aufbau von Sessions

\* verbindungsorientiert über WTP (Wireless Transaction Protocol),

\* verbindungslos über WDP (Wireless Datagram Protocol).

Derzeit bietet WSP nur Dienste für Browser-orientierte Sessions (WSP/B) an. Damit verbindet ein WAP-Proxy einen WAP-Client mit einem HTTP-Server. Es bietet ein vereinfachtes Session-Handling mit einem verringerten Aufwand für die Initiierung an. Sessions können unterbrochen werden, um Netzwerkressourcen freizugeben und Strom zu sparen. Sitzungen können das Ein-/Ausschalten der Endgeräte überdauern. WSP/B beinhaltet die HTTP 1.1-Funktionalität für das Encoding der Funkverbindung (d.h. eine binäre, kompaktere Variante).

### **WTP: Wireless Transaction Protocol**

Basisfunktion für Kommunikation zwischen Endgerät und Server. WTP stellt analog zu TCP auf WAP-Seite die entsprechenden Datagram-Dienste zur Verfügung.

3 Arten von Transaktionen:

\* bestätigte (zuverlässige) Transaktionen ohne / mit Ergebnis (Class-1- / Class-2-Service),

- \* Transaktionen vom Typ Class-0 (unzuverlässige Nachricht ohne Empfangsbestätigung) durch gelegentliches Versenden von Datagrammen.

Für den drahtlosen Einsatz wurden in WTP einige Funktionen von TCP nicht realisiert, weil nicht sinnvoll. Da es nur einen Verbindungsweg zwischen WAP-Client und WAP-Proxy gibt, müssen keine Pakete außerhalb der Reihe behandelt werden. Außerdem werden für eine Request-Response-Transformation weniger Informationen als bei TCP benötigt. WTP spart daher gegenüber TCP erheblich Bandbreite.

### WTLS: Wireless Transport Layer Security

Aufgabe WTLS: Sicherung von WAP-Verbindungen. Einsatz optional. Basiert auf dem Transport-Layer-Security-Protocol (TLSP). Beim Aufbau einer sicheren Verbindung handelt das WTLS-Connection-Management die *Protokoll-Optionen* aus, wie Verschlüsselungsalgorithmus und Schlüssellänge, Schlüsselaustausch und Authentisierung.

In WTLS nimmt das Record-Protokoll eine zu versendende Nachricht, komprimiert sie eventuell, versieht sie mit einem Message-Authentication-Code (MAC) und verschlüsselt sie. Analog werden empfangene Nachrichten dekomprimiert, verifiziert und entschlüsselt. Wesentliche Aufgabe vom WTLS ist auch die Abwehr von Denial-of-Service-Angriffen (denial: Verleugnung). Gestaltung einer sicheren Verbindung bei WAP-Zugriffen zwischen WAP-Endgerät und entsprechendem Server:

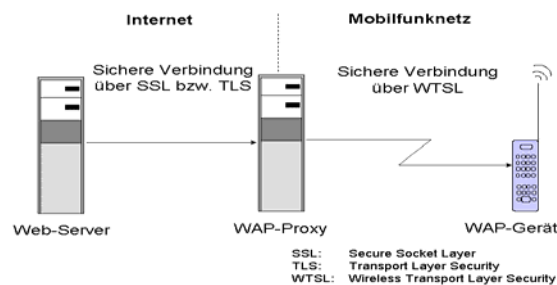


Abbildung 12.7: WTLS (Wireless Transport Layer Security)

Sicherung im Festnetz (Internet) über SSL bzw. TLS, im MFN über WTSL. Schwachpunkt: WAP-Proxy. Hierbei Daten kurzzeitig unverschlüsselt vorliegend. WAP-Proxies aber unter Kontrolle der Mobilfunkbetreiber und besonders geschützt, insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen (wie Homebanking).

### WDP (Wireless Datagram Protocol) und Bearers

Dienen dem eigentlichen Transport der Daten. WDP-Schicht und Bearers nicht auf bestimmtes Netzwerk festgelegt, vorwiegend kommen Mobilfunknetze zum Einsatz. Höhere Schichten unabhängig vom unterliegendem Netzwerk (Transportschicht bietet einheitliche Schnittstelle nach oben). Aus Sicht des WTLS erfolgt Nachrichtentransport entweder über das Internet-Protokoll UDP (User Datagram Protocol) oder über das WAP-eigene Protokoll WDP (Wireless Datagram Protocol). Verschiedene Bearers in der Netzwerkschicht, u.a. GSM Bearers (GPRS, SMS, GSM Cell Broadcast), Japanische Netze PDC, PDC-P, Schnurlose Telefonnetze (DECT, PCS1900, japanisches PHS), UMTS, CDMA2000.

#### 12.2.4 WML und WMLScript

##### WML: Wireless Markup Language

WML ermöglicht die Definition textueller Inhalte, Einbettung von Bildern, Spezifikation von Navigationspunkten zwischen Seiten über Hyperlinks.

WML: Tag-basierende Dokumentensprache, definiert in XML (Analogie zu HTML). Struktur der Sprache wird in einer Dokument-Typ-Definition (DTD) beschrieben, auf die am Anfang des Dokuments zu verweisen ist. WML-Dokument besteht somit aus Texten und Tags (Aus-

zeichnungen) zur Formatierung und Strukturierung von Seiten. Erstellung von WML-Seiten: mit einfachem *Texteditor* (hierbei keine automatische Komprimierung, Umwandlung in binäres WML-Format nur für Transport), mit kommerziellem Editor, möglichst mit *WYSIWYG*-Funktion (What You See Is What You Get).

Einfaches WML-Beispiel:

```
<?xml version="1.0!?">
<!DOCTYPE wml PUBLIC "-//WAPFORUM//DTD WML 1.1//EN"
"http://www.wapforum.org/DTD/wml_1.1.xml">
<!-- ein Beispiel... -->
<wml>
  <card id="Hallo" title="Hallo Welt">
    <p>
      Hallo Welt...<br/>
      ...hier bin ich!
    </p>
  </card>
</wml>
```

WML aus XML (eXtensible Markup Language) abgeleitet. XML basiert auf dem Standard SGML (Standard Generalized Markup Language), der die Definition neuer Sprachen erlaubt, insbes. für Dokumentenbeschreibung, verwaltet durch W3C.

### Struktur einer WML-Seite (Auszug)

Herkunft von XML wird in der WML-Seite durch die Kopfzeilen ausgedrückt. WML-Seiten beginnen grundsätzlich mit einem Kopf, bestehend aus einem Tag zur Beschreibung des Versionsstandes und einem Tag, das den Dokumententyp (also WML) ausweist. Danach folgt der Inhalt der Seite, wobei folgende Tags zur Beschreibung genutzt werden können:

- paarweise Tags (öffnend und schließend): **<TAG>** und **</TAG>** (**TAG** steht für ein beliebiges Tag),
- einzeln auftretende Tags: **<TAG/>** (Schrägstrich am Ende)
- Kommentare: eingeleitet durch **<!--** und beendet mit **-->**

### Karten und Kartenstapel

WML unterscheidet in Karten (Cards) und Kartenstapel (Decks). Eine HTML-Seite wird bei WML „Card“ genannt. Jeweils 1 Card wird im WML-Browser als Ganzes angezeigt. Im Gegensatz zu HTML kann ein WML-Dokument jedoch mehrere WML-Seiten oder Cards beinhalten.

Alle Cards innerhalb eines WML-Dokuments werden zusammen als „Deck“ bezeichnet. Damit mehrere WML-Seiten oder ein Deck auf einmal an den WAP-Client übertragbar ~> Einsparung von Bandbreite. Ein Kartenstapel entspricht einer WML-Datei. Zwischen diesen Cards kann nun verlinkt werden. Erst wenn ein Hyperlink auf eine Karte außerhalb des Kartenstapels verweist, wird der Kartenstapel verlassen und ein neuer geladen.

#### Struktur eines Kartenstapels:

Kartenstapel umschlossen durch die Tags **<wml>** und **</wml>**. Karte umschlossen durch die Tags **<card>** und **</card>**, wobei das öffnende **<card>**-Tag die Angabe von Attributen, wie Kartentitel, und einen Indikator, z.B. zum Verlinken zwischen 2 Karten, erlaubt.

Eigentlicher Text einer Karte steht zwischen den Tags **<p>** und **</p>**. Erlaubt ist beliebiger Fließtext, jedoch ohne deutsche Umlaute. Als Tags zur Textformatierung stehen bereit

```
<b>...</b>      fett
<strong>...</strong> stark
<em>...</em>   betont
<i>...</i>     kursiv
<u>...</u>     unterstrichen
<big>...</big> vergrößert
<small>...</small> verkleinert
<br/>         Zeilenumbruch
```

Zusätzliche Darstellungsmittel:

\* Tabellen: analog wie in HTML `<table>...</table>`

\* Bilder: mittels `img`-Tag, z.B. ``

Bilder in WML-Seiten sind im *wbmp-Format* abgelegt ~> 1 Bit pro Pixel, d.h. nur Schwarz-Weiß-Bilder ohne Grauwerte darstellbar. Bilder im *wbmp-Format* für Mobiltelefone sind i.d.R. nur ca. 1 KB groß. Allerdings Bilder nicht auf allen Geräten darstellbar.

## Hyperlinks

Karten im Prinzip statisch, über Hyperlinks aber auch verschiedene Karten anwählbar. Einfachste Möglichkeit: zwischen Karten eines Stapels wechseln. Mit Tag `<a>` über Attribut **href** kann man eine andere Karte eines Stapels bestimmen. Text zwischen `<a>` und `</a>` wird auf Endgerät als Link dargestellt, häufig ist zugehöriger Text unterstrichen. Über bestimmte Taste des Endgeräts kann man dem Link folgen.

Falls Ziel des Hyperlinks nicht im aktuellen Stapel, wird Ziel verworfen und neuer Stapel geladen ~> Wartezeiten. Stapel sollte aber nicht zu groß sein, z.Zt. Kartenstapel < 2 KB.

Beispiel eines WML-Kartenstapels mit Hyperlinks und Bild (Kartenstapel mit 2 Karten, auf zweiten Karte ist ein Bild):

```
<?xml version="1.0!?">
<!DOCTYPE wml PUBLIC "-//WAPFORUM//DTD WML 1.1//EN"
"http://www.wapforum.org/DTD/wml_1.1.xml">
<!-- ein Beispiel... -->.
<wml>
  <card id="Hallo" title="Hallo">
    <p>
      Hallo Welt,<br/>
      <a href="#Baum">hier ist mein Lieblingsbaum</a>
    </p>
  </card>
  <card i="Baum" title="Hallo"/>
    <p>
      
      <a href="#Hallo">Zurueck</a>
    </p>
  </card>
</wml>
```

### Weitere Gestaltungsmöglichkeiten

WML erlaubt *Kommentare* und *Variable* (bspw. zur Ablage von Benutzereingaben). Variable lassen sich auch über mehrere Decks hinweg speichern, ohne den Server zu beauftragen. Mit diesen Variablen lassen sich einfache Zeichenketten innerhalb eines Stapels speichern und benutzen. Außerdem Timer setzbar, um in einer Zeit vordefinierte Aktionen auszuführen (z.B. Wechsel auf andere Karte).

Wie beim Web-Browser stehen ein *Navigations-* und ein *History-Stack* zur Verfügung. Vergrößert sich das WAP-Browser-Fenster, wird Darstellung entsprechend angepasst.

Für die Einbettung kleinerer Programme in eine Seite kann die Scriptsprache WMLScript benutzt werden: basiert auf JavaScript und ist auf einen für mobile Geräte optimierten Sprachumfang ausgerichtet.

## WMLScript

WML durch WMLScripts ergänzt zur Gestaltung von Interaktivität von WML-Seiten. WMLScript: prozedurale und eventbasierte Programmiersprache, ähnlich JavaScript. Damit lassen sich beispielsweise Benutzereingaben im WAP-Device überprüfen, bevor sie ans System übertragen werden. Auch die Verlinkung innerhalb eines Decks oder auf andere WAP-Seiten läßt sich in Abhängigkeit der Benutzereingaben gestalten. Es stehen Standard-Libraries zur Verfügung, z.B. für die Bearbeitung von Strings oder URLs. Mit WMLScript kann man auch auf die Telefonie-Schnittstelle Wireless-Telephony-Application (WTA) von WAP über entsprechende Libraries zugreifen.

WMLScript-Funktionen in sog. Units zusammengefaßt. Eine Unit enthält Compiler-Definitionen und beliebige Anzahl von Funktionen. Diese Unit wird von einem *WMLScript-Compiler* in Byte-Code übersetzt. *WMLScript-Interpreter* im Browser interpretiert diesen Byte-Code (zur Reduktion der zu übertragenden Daten).

## 12.3 i-Mode und cHTML

### 12.3.1 i-Mode

i-Mode: Proprietärer Dienst des japanischen Mobilfunkbetreibers NTT DoCoMo (1999). Erlaubt Zugriff auf Internet über Mobilfunknetze (analog WAP).

Merkmale von i-Mode:

- \* i-Mode ermöglicht farbige und animierte Anzeigen,
- \* Übertragung paketvermittelt, Abrechnung per Volumen (nicht nach Zeit). Zusätzlich: Benutzer ist "always online", d.h. nach einmaliger Anmeldung ständig mit Netz verbunden,
- \* Beschreibung einer Seite mit cHTML (Compact HTML), Untermenge von HTML.

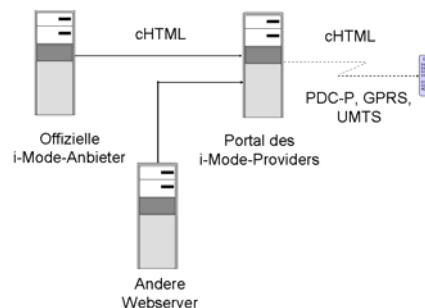


Abbildung 12.8: i-Mode Infrastruktur

i-Mode in Japan sehr erfolgreich (2001: 30 Mio. Japaner im regelmäßigen Gebrauch). In Deutschland 2002 eingeführt (Betreiber E-Plus, Akzeptanz offen).

Verwendete Mobilfunknetze:

- in Japan: Nutzung der paketvermittelten Übertragung PDC-P im japanischen Mobilfunknetz PDC (Personal Digital Cellular).
- in Deutschland: Paketvermittlungsfunknetz GPRS (General Packet Radio Service).

Zugriff auf Seiteninhalte erfolgt über ein i-Mode-Portal des jeweiligen Mobilfunkbetreibers. Über Portal auch weitere Inhalte und Inhalte weiterer Anbieter zugreifbar (Format und Navigation unter Steuerung des Betreibers). Auch Inhalte beliebiger Webserver ladbar.

### 12.3.2 cHTML

cHTML (Compact HTML for Small Appliances, W3C Note Febr. 1998): dient zur Beschreibung von i-Mode-Seiten (~> z.T. auch als *iHTML* bezeichnet).

cHTML ist Untermenge von HTML: keine XML-Sprache, analog WAP (aber WAP-Konzept der Cards / Decks in cHTML; existierende Webseiten für Darstellung auf i-Mode-Mobiltelefonen müssen nicht überarbeitet werden. cHTML erlaubt Einbettung von farbigen und animierten Grafiken.

Einschränkungen von cHTML gegenüber HTML: Bilder nur im GIF-Format darstellbar, keine Tabellen oder Frames unterstützt, nur eingeschränkter Satz von Schriftarten und -stilen, Hintergrundbilder und -farben werden nicht dargestellt, keine Bereiche von Bildern, denen Hyperlinks zugeordnet werden (sog. *Image Maps*), zu Seiten können keine Stilvorlagen (*Style Sheets*) hinterlegt werden.

Beispiel (cHTML):

```

<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD Compact HTML 1.0 Draft //EN">
<html>
  <head>
    <title>Test</title>
    <META http-equiv="Content-Type" content="text/html">
  </head>
  <body>
    text <u>unterstrichen</u><BR>
    <i>schräg</i> <big>groß</big><BR>
    Listen:
    <UL>
      <LI>Eins
      <LI>Zwei
    </UL>
    <DIV align="center">
      Farbige Bilder:<BR>
      <IMG src="staudamm.gif"><BR>
      Symbole:<BR>
      &#63720; &#63647;<BR>
    </DIV>
  </body>
</html>

```

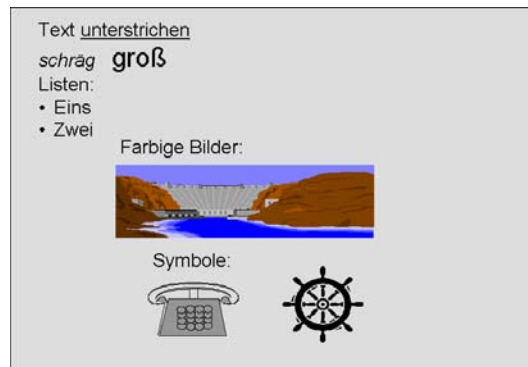


Abbildung 12.9: Anzeige einer i-Mode-Seite (Beispiel)

## 13 Satellitennetze

### 13.1 Satellitenkommunikation

#### Satellitenübertragung

70/80er Jahre: Nachrichtensatelliten (Patent: Arthur Clarke, 1965):

- gebündelte Übertragung vieler Telefongespräche und Fernsehkanäle.
- direkte Verteilung von Fernseh- und Rundfunkprogrammen (Kabel-TV, "Schüssel").

Seit 90er Jahre auch:

- satellitengestützte Daten-, Bild-, Text- und Sprachkommunikation,
- direkte, interaktive Individualkommunikation,
- Positionierungssysteme, LBS (local based services), Wettersatelliten u.a.

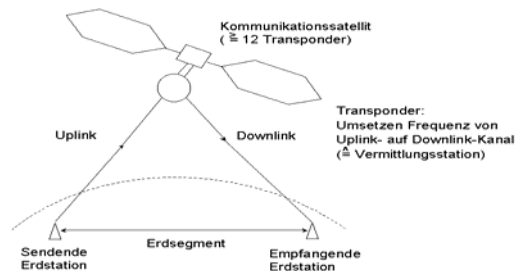


Abbildung 13.1: Aufbau Satellitenkommunikationssysteme

Sendestation: Senden von Rahmen auf einer Uplink-Frequenz an Satellit.

Transponder: Zwischenspeicherung des Rahmens und Zuweisen eines Downlink-Kanals.

Satellit: Senden von Rahmen auf einer Downlink-Frequenz an Empfängerstation.

Für Uplink und Downlink werden verschiedene Frequenzen benutzt, um Transponder vor Schwingungen zu schützen. Bandbreiten-Nutzung: 500 MHz Bandbreite aufgeteilt in (i.d.R.) 12 Transponder zu je 36 MHz od. 50 Mbit/s. Pro Transponder z.B. 800 digitalisierte Sprachkanäle zu je 64 kbit/s. Satelliten, die keine interne Verarbeitung ausführen, sondern nur zurückstrahlen, werden als Bent-Pipe-Satelliten bezeichnet. Ein Transponder deckt mit einem Strahl einen Teil der Erde (Erdsegment) ab: Breite 250 km (Punktstrahl) bis 10 000 km (breiter Strahl). Mittlere Übertragungszeit: 270 ms.

#### Satelliten - Orbits

GEOS: Geostationary Earth Orbit Satellite (z.B. Inmarsat System)

Höhe: 22 282 miles (36 000 km); Rotationsperiode: 24 h; Sichtzeit: 24 h

Orbit ist über dem Erdäquator

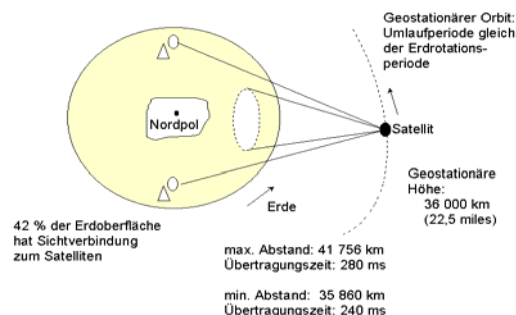


Abbildung 13.2: Geostationärer Orbit

MAS: Medium Altitude Satellite (z.B. Russian Molnya Communication Satellite und AT&T Telstar Satellites)

Höhe: 6 000 ... 12 000 miles; Rotationsperiode: 5 ... 12 h; Sichtzeit: 2 ... 4 h

LEO: Low Earth Orbit Satellite (z.B. RCA Relay Satellites)

Höhe: 400 ... 900 miles (700 ... 1 500 km); Rotationsperiode: 1½ h, Sichtzeit:  $\leq \frac{1}{4}$  h  
 LEO sollten in Zukunft GEO in neuer, individueller Telekommunikation ablösen.  
 Satellitensysteme, u.a. für TV/Rdfk., Telekomm., Navigation, Wetter, Raumfahrt, Militär.

## 13.2 Kanalzuordnung

### Mehrfachzugriff

Wichtigste technische Frage (analog wie bei LAN): Zuweisung der Transponder-Kanäle. Bei Satelliten ist (im Gegensatz zu LAN) die Trägerabtastung auf Grund der Ausbreitungsverzögerung von 270 ms nicht möglich. Tastet eine Station den Zustand eines Downlink-Kanals (Satellit -> Erde) ab, erfährt sie, was 270 ms zuvor abgelaufen ist. Abtastung eines Uplink-Kanals ist i.allg. nicht möglich, deshalb CSMA/CD-Protokolle nicht verwendbar (dies geht davon aus, dass eine sendende Station die Kollision innerhalb der ersten Bitzeiten erkennt und sich in diesem Fall zurückzieht). Somit andere Protokolle erforderlich.

Auf Mehrfachzugriffskanal (Uplink) werden 5 Protokollklassen benutzt: Polling, ALOHA, FDM, TDM, CDMA. Hauptproblem liegt beim Uplink-Kanal. Downlink-Kanal hat nur 1 Sender (den Satelliten): deshalb hierbei kein Problem der Kanalzuordnung.

### Polling

Aufteilung eines einzelnen Kanals unter mehreren Benutzern durch Polling (Umfrage). Satellit fragt jede Station im Umlaufverfahren ab. Teuer, u.a. wegen 270 ms für Umfrage/Antwort. Falls Bodenstation über ein Netz verkoppelt, wäre das Polling auch durch die Erdstationen möglich (umlaufender Token zwischen den Bodenstationen).

### ALOHA

Reines ALOHA (Abramson, Univ. Hawaii, 1972): leicht implementierbar: jede Station sendet, wenn sie will; aber nur ca. 18% Kanaleffizienz --> zu geringe Auslastung.

Unterteiltes (slotted) ALOHA: Verdopplung der Effizienz

- \* Aber Problem, alle Stationen zu synchronisieren, wenn ein Zeitschlitz beginnt.
- \* Lösung muss beim Satelliten liegen, da er inhärent ein Broadcast-Medium ist.
- \* weitere Verbesserung: 2 Uplink-Kanäle, 1 Downlink-Kanal

### FDM (Frequenzmultiplexverfahren)

Ältestes und am meisten angewandtes Kanalaufteilungsschema. Frequenzband wird aufgeteilt, Teilband exklusiv. 1 Transponder mit 36 Mbit/s kann statisch in ca. 500 PCM-Kanäle mit je 64 000 bit/s aufgeteilt werden, die je in einer eigenen Frequenz arbeiten und sich gegenseitig nicht stören. Nachteile FDM:

- \* Schutzbänder zwischen den Kanälen reduzieren die Bandbreite.
- \* Überwachung der Stationen kompliziert (FDM ist eine reine analoge Technik).
- \* Bei größerer Stationsanzahl oder wechselnder Stationsbelastung müssen Frequenzbänder dynamisch zugewiesen werden (z.B. SPADE-System).

### TDM (Zeitmultiplexverfahren)

Kanal zeitlich aufgeteilt, Zeitschlitze (Slots) den Teilnehmern zugeordnet, Slots exklusiv. Weit verbreitet. TDM setzt zeitliche Synchronisation der Zeitschlitze voraus, z.B. in ACTS (Advanced Communication Technology Satellite): eingeführt 1992, 4 unabhängige TDM-Kanäle von 110 Mbit/s (2 Uplink, 2 Downlink).

Statische Zuordnung der Schlitze; dynamische Zuordnung bei wechselnden Belastungen: dazu verschiedene Reservierungsmethoden: Binder (1975), Crowther (1973), Roberts (1973).

Generelles Problem: Auch wenn eine ACTS-Station nur einen 64 kbit/s-Kanal hat, muss sie in der Lage sein, 64-bit-Verkehr in einem Zeitschlitz von 578 ns auszugeben.

### CDMA (Code Division Multiple Access)

Code-Multiplexing. Parallele Übertragung durch Anwendung verschiedener Codes:

- Codes müssen den Teilnehmern bekannt sein,
- können die Nutznachricht herausfiltern (andere Nachrichten als Rauschen interpretiert),
- Anwendung Spreizcodes zur Verbesserung der Kanalübertragung.



Hierbei keine Probleme der zeitlichen Synchronisation und Kanalzuordnung. Verfahren ist absolut dezentral und dynamisch. Anwendung: bei Militär schon lange, allmählich auch in kommerziellen Anwendungen, Mobilfunknetze (IS95-CDMA, UMTS / Phase2, CDMA2000).

### 13.3 Anwendungen von Satellitensystemen (Auswahl)

**Kommunikationssatelliten:** Übertragung von Telefon und Fernsehen (z.B. Astra), Globale Kommunikation (z.B. Inmarsat), Satellitentelefonie (z.B. Iridium)

**Satellitennavigation:** Nutzung zur Positions- und Zeitbestimmung, Navigation (z.B. PkW), Maut usw. Amerikanische Systeme (GPS, DGPS, WAAS), Russisches System (GLONASS), Europäische Systeme (EGNOS, GALILEO)

**Wettersatelliten:** Eumetsat (Wetteragentur): Meteosat 9, Metop-A

**Nachrichtensatelliten:** u.a. Flugsicherung, Raumfahrt, Militär, Spionage udgl.

**Forschungssatelliten:** Verschiedene Systeme, u.a. Planetenforschung (z.B. COROT)

#### Kommunikationssatelliten (Systeme und Projekte)

##### Kommunikationssatelliten-Netze

GEOS (z.B. Inmarsat) ~> LEOS (z.B. Iridium). LEOS analog zum terrestrischen zellularen Mobilfunknetz (nur: Satelliten projizieren während Umlauf Funkzellen zur Erde).

Vernetzung der Satelliten untereinander bzw. mit terrestrischen Systemen. Aufbau GAN: Global Area Network (Vinton Cerf, "Vater" des TCP/IP).

Satellitentelefonnetze in Konkurrenz zu terrestrischen MFN.

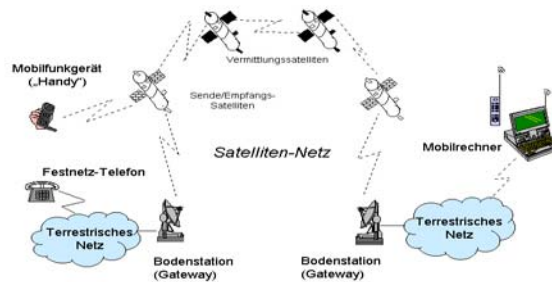


Abbildung 13.3: Satellitenübertragungssystem

**INMARSAT:** GEO-Satellitensystem, in Betrieb seit 1982: 3 geostationäre Satelliten, Höhe 36000 km. In Vergangenheit vor allem Schiff-Schiff-Kommunikation mit nicht tragbaren Bodenstationen, sollte ca. 2000 durch LEO-System abgelöst werden, aber keine Entscheidung dazu.

**IRIDIUM:** LEO-Satellitensystem, Motorola Iridium Projekt, 3.4 Mrd. \$ Investitionen. Globales Netzwerk für "Personal Communication". 66 Kommunikationsatelliten in ca. 800 km Höhe (ursprünglich 77 geplant: Iridium = Element Nr. 77 des Periodensystems). Abschaltung in 2000 (Konkurrenz terrestrischer Systeme); in 2000: 1.5 Mio. Nutzer

#### Satellitenbasierte Navigation

Nutzung zur Positions- und Zeitbestimmung, Navigation (z.B. PkW), Maut, usw. Prinzip: Positioning – Berechnung der Ortskoordinaten aus den empfangenen Satellitensignalen (GPS, Galileo), ggf. topologische Darstellung durch beim Empfänger installierte Landkarten.

Ergebnis verbleibt im Empfangsgerät (vs. Tracking).

Verschiedene Navigationssysteme für individuelle Nutzung:

- **Fest installierte Navigationsgeräte**, z.B. im PkW: teuer (06): 1000 € (sw) - 2000 € (farbig). Sprachausgabe, grafische Positionsdarstellung (Landkarte, Pfeildarstellung). Zusätzlich TMC (Traffic Message Channel) für Stauanzeige und Stauumfahrung. Probleme: Teure Updates der Navigations-SW, aktuelle Landkarten, fehlender Standard.

- **Mobile Navigationsgeräte**, sog. Plug-&-Play-Geräte  
u.a. Garmin, tom tom, Mio, Falk, Sony, Navman, Becker, ViaMichelin, KlickTel ...  
Routenberechnung 40 ... 90 sec., Preise ab 200 € (mit TMC ca. 800 €).  
Probleme: Akkus (i.d.R. < 3 h), oft fehlende Korrekturwerkzeuge bei GPS-Ausfall. Zusätze (Blitzampeln, fest installierte Überwachungsanlagen) in DE nicht erlaubt.
- **Navigations-Handys**, verschiedene Handys lassen Einbau der Navigation zu. 2 Systeme:
  - \* Ziel wird per SMS an einen Service-Provider gesendet. Dieser berechnet aus der aktuellen Position die Route, Rücksendung an Handy (Nutzer hat somit aktuelles Kartenmaterial).
  - \* Navigations-SW auf austauschbarer Speicherkarte, Routenberechnung im Handy. Navigations-SW ab 300 €, SW-Update und europäische Landkarten gegen Aufpreis.

### **Europäisches Wetterbeobachtungssystem**

Betreiber: **Eumetsat** (Wetteragentur). Wettersatelliten: Meteosat, Metop.

**Wettersatellit Meteosat 9** (2005) und älteres Doppelsystem (als Reservesystem).

Höhe: 36 000 km, geostationär. Damit ausfallsicheres System, Nutzung durch 400 Nutzer (weltweit). Genauigkeit der Wettervorhersage (90%-Genauigkeit):

vor 20 Jahren: ca. 24 Stunden, mit Meteosat: 3 Tage (2005), 5 Tage (geplant 2015).

Reservesatellit: folgt Meteosat 9 in 5 min. Abstand. Soll Bilder und Wetterdaten von besonders gefährdeten Regionen senden.

Meteosat 9: Positionierung über Äquator im Indischem Ozean. Übertragung der Daten der Messstationen, Beobachtung Atmosphärenzustände, Winde bzw. Hurrikans, Springfluten (Tsunami), tektonische Beben und Vulkanausbrüche udgl.

#### **Wettersatellit Metop-A**

Start 19.10.2006 vom Weltraumbahnhof Baikonur/Kasachstan; Trägerrakete Sojus 2-1A. Startgewicht: 4 093 kg, Höhe: 800 - 850 km, Umlaufzeit: 110 min. Abmessungen: 17,6 x 6,5 x 5,2 m (incl. Sonnensegel). Lebensdauer: 5 Jahre (Kontinuität bis 2020, Nachfolger Metop-B und Metop-C sollen in 5 Jahren folgen). Zusammenarbeit Europa und USA. Ergänzung der europäischen Meteosat-Satelliten durch die niedrigfliegenden Satelliten (z.B. an Polen):

- Erfassung von Temperatur, Feuchtigkeit, Wind, Ozon usw.
- Überwachung Umweltbedingungen, geladene Teilchen, Weiterleitung von Notsignalen.
- Klimaüberwachung, Verbesserung von Wettervorhersagen.

Herzstück von Metop-A ist ein extrem hoch auflösendes Infrarot-Spektrometer: Messung von Temperatur und Feuchtigkeit sowie der chemischen Zusammensetzung der Erdatmosphäre in verschiedenen Höhen. Erfasst nicht nur Ausdehnung der Wolken und Luftschichten sondern auch die darin herrschenden unterschiedlichen Temperaturen. Damit auch Zirkulation klimarelevanter Gase wie Kohlendioxyd nachvollziehbar.

Der meteorologische Kern des Satelliten am EADS-Astrium-Standort Friedrichshafen entwickelt und gebaut. Startbegleitung durch das Europäische Satellitenkontrollzentrum ESOC in Darmstadt. Stromversorgung über das 17,6 m lange Sonnensegel. Organisation und Verwertung der Daten durch die europäische Wetteragentur Eumetsat.

### **Planetenforschung**

Französischer Forschungssatellit Corot: Gewicht: 670 kg, Ausdehnung: 4,2 m, Entfernung 900 km. Start 27.12.2006, Weltraumbahnhof Baikonur/Kasachstan. Satellit mit Hochleistungsteleskop (erprobt in Landessternwarte Jena). Aufzeichnung von Daten aus Weltall, Funkübertragung zur Erde. Koordinierung: ESA und DLR. ESA-Kontrollzentrum Darmstadt. Ziel: Auffinden von Planeten außerhalb des Sonnensystems, Frage nach Leben auf anderen Planeten („Erde 2“). Aufgabe: Verstärken des Wissens über die sog. Exo-Planeten (~> Gasriesen, auf denen Leben nicht möglich). Suche nach neuen, kleineren Planeten, wo Leben möglich sein könnte. Konkrete Untersuchung dann mit weiteren Satelliten. Beitrag Deutschland: wissenschaftliche Vorbereitung, Steuerungs-SW der Positionierung der Satelliten.

## 14 Positionierung und Navigation

### 14.1 Verfahren zur Positionsbestimmung

#### 14.1.1 Grundlagen zur Positionierung

##### Mobile Computing und Navigation

Anforderungen aus Mobile Computing (ubiquitous / nomadic): Benutzer, Geräte und Dienste bewegen sich räumlich. Viele Anwendungen benötigen aktuelle Position des Benutzers, u.a.

*Bestimmung des Zielortes (Navigation):* Automobile (Berechnung des optimalen Weg auf Basis der aktuellen Position und eines gespeicherten Straßennetzes).

Informationen über *aktuellen Ort oder Umgebung*: Elektronische Touristenführer, Stadtpläne, Museumsführer.

*Kommerzielle Verkaufshilfe*: Autoverkauf, Supermarkt (Information über Sonderangebote).

*Gedächtnishilfe- und Personensuchsysteme*: Übermittlung der aktuellen Position an andere Personen. Beispiele: automatische Systeme zur Informations-Übermittlung, Hilferuf und Suche (Position des Patienten ~> Kognitives Erinnerungshilfesystem MEMOS).

*Local based Services (LBS)*: aktuelle ortsabhängige Informationen, u.a. Gaststätte, Kino udgl.  
*Verknüpfung existierender Internet-Dienste mit Positionsdaten* (analog LBS): Hyperlinks im WWW mit aktueller Position (z.B. Link „Restaurant in Nähe“), Verknüpfung mit E-Mail-Diensten (z.B. Emails an Teilnehmer versenden, die in bestimmter Strasse wohnen, Kunde in Einkaufspassage an Besorgung erinnern).

*Optimierung einer Kommunikationsinfrastruktur*: Unterstützung Routing in Ad-hoc-Netzen.

*Ortsabhängige Kommunikationsdienste*: Weiterleitung eingehender Anruf an den Telefonapparat im Gebäude, der dem Benutzer am nächsten gelegen ist.

Positionsbestimmung für *militärische und verkehrsorientierte Anwendungen*: Positionierungssystem GPS (Militär). Mit Positionsdaten können Flugzeuge, Fahrzeuge und Schiffe navigieren oder Flugkörper in ein Ziel gesteuert werden. Zusätzlich Positionsdaten für die Einsatzplanung und Verkehrssteuerung (z.B. Maut, TMC).

##### Ausprägungen von Positionsdaten

*Weltweit eindeutige Positionsangaben*: i.d.R. *Längen- und Breitengrad*, optional *Höhe*. Angaben meist in dieses benutzerfreundliche Format transformiert.

Oft nur *relative Position* zu einem gegebenen Punkt erforderlich (Beispiel: für Navigation im Gebäude ist relative Position zu einer Gebäudeecke ausreichend).

*Orientierung im Raum*. Raumrichtung kann durch drei Winkel spezifiziert werden, sog. *Roll-Nick-Gier-Winkel* (engl.: *Roll-Pitch-Yaw*). Für Navigationszwecke meist nur der Winkel von Bedeutung, der die Himmelsrichtung angibt. Orientierung u.a. bedeutend, wenn *Fahrt-richtung* in die Navigation einfließt. Für elektronischen Touristenführer: auf welches Exponat der Benutzer gerade blickt.

*Geschwindigkeit*. Bei hinreichend genauer Messung zweier Positionen p und q kann über die zeitliche Differenz  $\Delta t$  die Geschwindigkeit berechnet werden:

$$v = \frac{\sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_z - q_z)^2}}{\Delta t}$$

*Messungenauigkeit*: Bei jeder Positionsmessung ist ein bestimmter Messfehler zu beachten. Ungenauigkeit ist z.T. nicht nur vom eingesetzten Verfahren, sondern auch von den jeweiligen Umgebungsbedingungen abhängig. Bestimmte Positionsmessungen können je nach Tageszeit am gleichen Ort zu unterschiedlichen Werten führen.

*Semantische Positionsangabe*: Anwendung oder Benutzer oft nicht an den Koordinaten, sondern eher an der „Bedeutung“ der aktuellen Position interessiert. Bspw. für Navigation im Gebäude ist wichtig, in welchem Stockwerk, Flügel oder Raum man sich befindet. Einige

Verfahren zur Positionsbestimmung liefern direkt semantische Positionen, andere Verfahren müssen diese anhand von gespeicherten Informationen berechnen, z.B. über Karten.

### **Location Awareness**

Bezeichnet die Eigenschaft von Anwendungen, Positionsdaten zu berücksichtigen, z.B. *Position Awareness*, *Situation Awareness* oder *Context Awareness*.

Context Awareness allgemeinsten Awareness-Begriff. In Vergangenheit unterschiedliche Definitionen, u.a. nach Schilit und Theimer (1994) bzw. Dey und Abowd (1999): „Informationen über die Umgebung beeinflussen die Ausführung einer Anwendung“.

Weitere Unterteilungen:

*Infrastrukturkontext*: Zusammenhang zur Kommunikationsinfrastruktur. Wahrnehmungen für Benutzer: Netzwerkbandbreite, -verzögerung, -verlässlichkeit.

*Systemkontext*: Probleme der verteilten Anwendungsentwicklung. Mobile Anwendung oft über mehrere Rechner und Geräte verteilt.

*Domänenkontext*: Stellt Beziehung zwischen Geräten und ihren Benutzern auf Basis der Anwendungsdomäne her, insbesondere die Interaktion mit anderen Benutzern.

*Physikalischer Kontext*: Gerät z.B. fest in Fahrzeug eingebaut oder unter bestimmten Umweltbestimmungen eingesetzt. Kontext berücksichtigt das physikalische Wesen von Geräten und ihre Einsatzbedingungen.

### **14.1.2 Verfahren und Systeme**

**Tracking und Positioning**: 2 Verfahren zur Positionsbestimmung

**Tracking**: Positionsbestimmung einer Person oder Objekts mittels Sensorenetzwerk. Dazu Benutzer mit einer Marke (engl.: *Tag*) versehen, die vom Netzwerk erkannt wird. Ermittelte Position liegt damit nur dem Positionierungssystem vor und muss ggf. über (drahtloses) Netzwerk an Benutzer übertragen werden.

**Positioning**: Mobiler Benutzer ermittelt selbst die Position. Bei Satellitennavigation (z.B. GPS): Satellit sendet Zeitsignal, aus der Benutzer die Entfernung und Position berechnen kann. Bei WLAN: dazu System von Sendern oder *Baken* (engl.: *Beacons*) benutzt, die Funk-, Infrarot- oder Ultraschallsignale aussenden.

Positionsangabe beim Positioning fällt direkt beim Benutzer an. Während beim Tracking die Positionsdaten potenziell auch für andere Benutzer zugreifbar, sind sie beim Positioning relativ gut im mobilen Gerät geschützt.

### **Basistechniken zur Positionsbestimmung**

Beim Tracking und Positioning kommen verschiedene Basistechniken zur Positionsbestimmung zum Einsatz (allein oder kombiniert).

*Cell of Origin (CoO)*: Anwendung bei Positionierungssystemen mit Zellenstruktur. Drahtlose Übertragungssysteme haben begrenzte Reichweite, ausgestrahltes Signal wird nur in einem bestimmten Bereich (Zelle) aufgefangen. Aus Identifikation der Zelle lassen sich Rückschlüsse auf Position ziehen.

*Time of Arrival (ToA)*, *Time Difference of Arrival (TDoA)*: Elektromagnetische Signale mit Lichtgeschwindigkeit (ca. 300 000 km/s). Trotz hoher Geschwindigkeit kann Laufzeit präzise bestimmt werden. Aus Zeitunterschied zwischen Aussenden und Empfangen eines Signals kann auf Entfernung zwischen Sender und Empfänger geschlossen werden. Ähnliches Prinzip auch mit Ultraschall anwendbar. Signallaufzeiten hier einfacher zu messen, allerdings breitet sich Ultraschall nur über geringe Distanzen aus. Bei GSM-Netzwerken statt TDoA Begriff *Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)* verwendet.

*Angle of Arrival (AoA)*: Bei Antennen mit Richtungscharakteristik kann ermittelt werden, aus welcher Richtung ein bestimmtes Signal eintrifft. Empfänger üblicherweise mit einem gan-

zen Satz von Antennen ausgestattet, die in alle Richtungen mit einem bestimmten Winkelabstand ausgerichtet sind.

*Messung der Signalstärke:* Aus Signalstärke am Empfangsort wird auf Abstand zum Sender geschlossen. Allerdings Methode sehr ungenau, da neben dem Abstand auch andere Einflüsse das Signal abschwächen, z.B. Hindernisse.

## Klassifikation der Systeme zur Positionsbestimmung

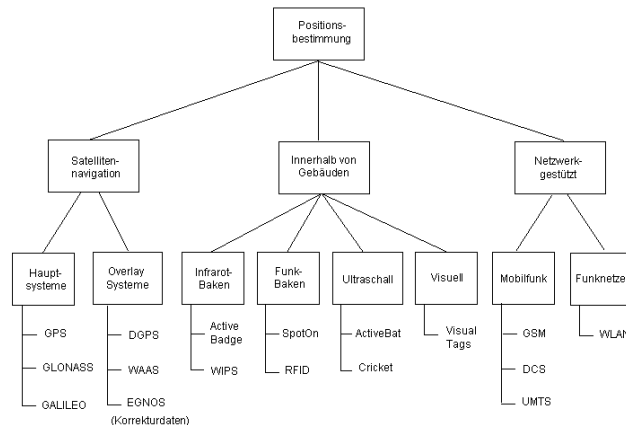


Abbildung 14.1: Systeme zur Positionsbestimmung

## 14.2 Satellitennavigation

### 14.2.1 Grundlagen der Satellitennavigation

#### Eigenschaften der Satellitennavigation

Positionsbestimmung mit Satelliten bereits in 60er Jahren des 20. Jahrhunderts. Vorteile:

- Positionsbestimmung kann überall auf der Erde erfolgen.
- Umweltbedingungen (z.B. Wetter) nur geringen Einfluss auf Positionsbestimmung.
- Hohe Genauigkeit.

Anwendungen: Militär, zivile/private Zwecke (z.B. Maut, Fahrzeugnavigation).

Nachteile:

- Erhebliche Kosten bei Installation und Überwachung der Satelliten.
- Positionsbestimmung funktioniert nur, wenn Signale von genügend vielen Satelliten empfangen werden. Insbes. im Gebäudeinneren Positionsbestimmung nur bedingt möglich. Ab 2006/07 Systeme mit geringerem Energiebedarf (dann Navigation auch indoor).

Bekanntes Satellitennavigationssystem: GPS (*Global Positioning System*).

#### Positionsbestimmung mit 3 Satelliten

Zur Positionsbestimmung mit Satelliten werden die exakte Position der Satelliten und exakte Entfernung zu den Satelliten benötigt.

Ist die Position eines Satelliten ( $s_i$ ) sowie Entfernung zum Satelliten ( $r_i$ ) ermittelt, ist die Position  $u$  des Benutzers auf einer Kugeloberfläche genau festgelegt. Liegt zusätzlich noch die Information eines zweiten Satelliten vor, kann die Position nur noch auf der Schnittmenge zweier Kugeloberflächen liegen (i.allg. ein Kreis). Um die Position  $u$  zweifelsfrei zu bestimmen, ist Kenntnis eines 3. Satelliten notwendig. Erst Schnitt dreier Kugeloberflächen führt zur genauen Position (Abb. 14.2).

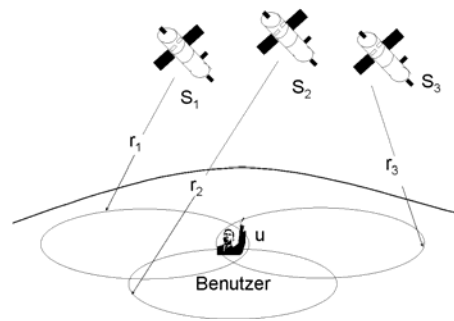


Abbildung 14.2: Positionsbestimmung mit 3 Satelliten

Der Schnitt von drei Kugeloberflächen führt i.allg. zu zwei Schnittpunkten (Abb. 14.3). Der zweite Schnittpunkt liegt jedoch weit im Weltraum, kommt somit als Position für einen Benutzer innerhalb der Erdatmosphäre nicht in Frage.

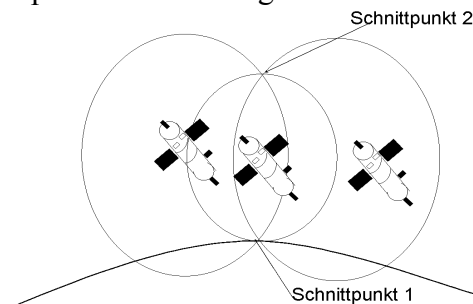


Abbildung 14.3: Zwei Schnittpunkte bei 3 Satelliten

Es wird angenommen, dass Position  $s_i$  der Satelliten und Entfernung  $r_i$  vom Benutzer ermittelt werden können. Da sich Satelliten auf festen Bahnen um die Erde bewegen, ist deren Position einfach zu bestimmen. Hierzu verfügen Navigationssysteme über Verzeichnisse aller Satelliten, die ständig aktualisiert werden. Die Verzeichnisse werden auch über stillgelegte sowie neu eingerichtete Satelliten und deren Bahndaten informiert.

### Entfernungsmessung zum Satelliten und exakte Zeitmessung

Bestimmung der Entfernungen ist aufwendiger. Verfahren bei Satellitennavigation:

- Jeder Satellit sendet ein Signal, das den Zeitpunkt des Aussendens exakt kodiert.
- Empfänger vergleicht Zeitpunkt mit der internen Uhr. Aus Laufzeitunterschied  $\Delta t$  kann mit  $r = c * \Delta t$  die Entfernung ermittelt werden ( $c$ : Lichtgeschwindigkeit, ca. 300 000 km/s).

Kritischer Punkt: Zeitmessung. Da Lichtgeschwindigkeit sehr hoch ist, muss Zeitmessung sehr exakt erfolgen (z.B. Fehler von 1  $\mu$ s führt zu Unterschied von 300 m in Positionsberechnung). Jeder Satellit ist mit einer Atomuhr ausgestattet, die eine hinreichende exakte Zeitbestimmung erlaubt (exakte Uhrzeit des gesamten Navigationssystems: sog. *Systemzeit*).

Ein mobiles Gerät zur Positionsbestimmung kann aus Kosten- und Platzgründen nicht mit einer Atomuhr ausgestattet werden. Jedes Gerät verfügt über eine interne Uhr, ohne eine Synchronisation mit der Systemzeit ist die notwendige Genauigkeit jedoch nicht zu erreichen.

Synchronisation direkt mit den Uhren der Satelliten ist nicht möglich, da Zeitinformation „nur“ mit Lichtgeschwindigkeit übertragen werden kann. Als Lösung wird für Positionsbestimmung deshalb ein vierter Satellit hinzugenommen (Verweis auf Fachliteratur).

## 14.2.2 Global Positioning System (GPS)

### Entwicklung GPS

Seit Beginn der 60er Jahren verschiedene amerikanische Behörden an einem satellitengestützten System zur Positionsbestimmung interessiert, u.a. Verteidigungsministerium (DoD), Verkehrsministerium (DoT) und NASA.

Ältere Navigationssysteme genügten nicht mehr den Anforderungen. DoD konzipierte 1970 das System NAVSTAR GPS (*Navigation System with Timing and Ranging - Global Positioning System*), im folgenden mit GPS (Global Positioning System) bezeichnet. Systemtests 1974, 1984 erste GPS-Satelliten gestartet, bis 1990 waren 12 Satelliten in Betrieb. Eine erste Betriebsbereitschaft (*Initial Operation Capability, IOC*) wurde am 08.12.1993 mit 21 Systemsatelliten und 3 Reservesatelliten erreicht, volle Betriebsbereitschaft (*Full Operation Capability, FOC*) am 17.07.1995 erklärt.

### Prinzip GPS

Für eine globale Abdeckung vom Äquator bis zu den Polen sind 24 Satelliten auf 6 Bahnen mit jeweils 4 Satelliten pro Bahn im Umlauf um die Erde erforderlich. Jeder Satellit umkreist die Erde im Abstand von ca. 20 200 km. Für einen Umlauf benötigt ein Satellit 12 Stunden. Satelliten so angeordnet, dass von jedem Punkt der Erde mindestens 5 und maximal 11 Satelliten über dem Horizont sichtbar sind.

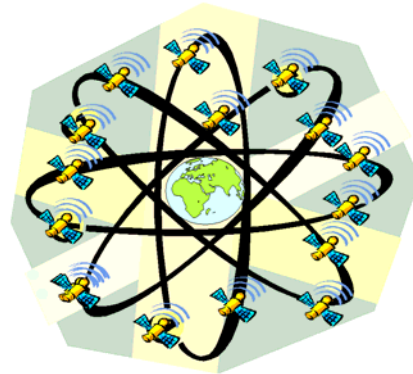


Abbildung 14.4: Umlaufbahnen der GPS-Satelliten

Allerdings kann Anzahl der aktiven Satelliten aufgrund von Abschattungen durch Gebäude oder Geländeformationen niedriger sein. Für eine Positionsbestimmung in drei Dimensionen sind mind. 4 Satelliten notwendig: 3 Satelliten für die geometrischen Schnittpunkte, 1 Satellit für die Zeitsynchronisation.

Ein Satellit hat eine erwartete Lebensdauer von 7,5 Jahren. Damit Betriebsbereitschaft auch beim Ausfall eines Satelliten erhalten bleibt, befinden sich häufig mehr als 24 Satelliten im Orbit, teilweise bis auf 28 Satelliten aufgestockt ~> somit steigt Wkt., dass man 5 oder mehr Satelliten selbst bei ungünstigen Bedingungen empfangen kann. I.allg. 60 Tage benötigt, um nach Ausfall eines Satelliten einen Ersatzsatelliten im Orbit zu installieren. Planung: Zeit auf 10 Tage zu verkürzen. Damit könnte Anzahl auf 25 Satelliten gesenkt werden.

### GPS - Dienste

Benutzer von GPS muss sich *nicht anmelden*, sondern kann die ausgesendeten Signale *kostenlos* benutzen. Verfahren basiert auf Einweg-Kommunikation von den Satelliten zum Benutzer. Benutzer braucht keine Daten zu den Satelliten senden, um eigene Position zu bestimmen. Zur Positionsbestimmung existieren zwei Dienste im GPS:

1. *Precise Positioning Service (PPS)* - früher *P-Code* oder *Precision-Code*: Positionsbestimmung mit Genauigkeit von 22 m (horizontal) und 27,7 m (vertikal). Angaben mit 95% Wkt., d.h. 95% der Messungen über Zeitraum von 24 Stunden befinden sich innerhalb der angegebenen Messgenauigkeit. PPS ist verschlüsselt und kann nur von US-Streitkräften und NATO entschlüsselt werden. Für zivile Benutzer ist dieser Dienst nicht zugreifbar.
2. *Standard Positioning Service (SPS)* - früher *C/A-Code* oder *Coarse/Acquisition-Code*: Dienst ist für zivile Benutzer verfügbar. Erweiterung durch *SA (Selective Availability)*. Bis zum 30.04.2000 mit Genauigkeit von 100 m (horizontal) und 156 m (vertikal).

**SPS mit SA:** SPS-Signal bis ins Jahr 2000 künstlich verfälscht, um genauere Messung zu verhindern. Realisierung durch System *SA (Selective Availability)*: ausgesendete Uhrzeiten der Satelliten zufällig verändert. Zusätzlich wurden die Bahninformationen verfälscht. Dadurch exakte Positionsbestimmung nicht mehr möglich (US-Armee wollte anderen Streitkräften eine zu genaue Positionsbestimmung nicht ermöglichen). Am 01.05.2000 wurde SA aus wirtschaftliche Gründen abgeschaltet. Seitdem über SPS eine Genauigkeit von 25 m (horizontal) und 43 m (vertikal) gewährleistet (jeweils zu 95%).

Genauigkeiten verschiedener GPS-Dienste

Dienst	Genauigkeit (horizontal)	Genauigkeit (vertikal)
PPS	22 m	27,7 m
SPS mit SA	100 m	156 m
SPS ohne SA	25 m	43 m

### Satellitensignale

Jeder Satellit sendet kontinuierlich mit ca. 20 W ein Signal aus. Verwendete 2 Frequenzen:

L1: 1575,42 MHz für PPS und SPS (Standard Positioning Service),

L2: 1227,60 MHz ausschließlich für PPS (Precise Positioning Service).

Da alle Satelliten auf denselben Frequenzen senden, muss Empfänger die Signale den jeweiligen Satelliten zuordnen. Bei GPS kommt das CDMA-Verfahren zum Einsatz: Jeder Satellit sendet einen eigenen, unverwechselbaren Code aus, genannt *Pseudo Random Noise (PRN)*. Der Empfänger kennt alle Codes und kann die entsprechende Folge aus den überlagerten Signalen aller Satelliten herausfiltern. Die PRN sind so entworfen worden, dass sie sich nicht gegenseitig stören. Mit dem PRN-Signal werden zwei Ziele verfolgt:

- Anhand der Folge kann der Empfänger die Signallaufzeit ermitteln.
- Dem Signal werden zusätzliche Daten überlagert, die Empfänger auswerten kann.

Satellit sendet ein Signal, das um Zeit  $\Delta t$  verschoben ankommt. Im Folgenden vorausgesetzt, dass Empfänger über die exakte Systemzeit verfügt. Für einen bestimmten Satelliten produziert er intern das entsprechende Signal und verschiebt es so lange, bis es sich mit dem empfangenen Signal deckt. Durch die Verschiebung kann der Empfänger damit  $\Delta t$  ermitteln.

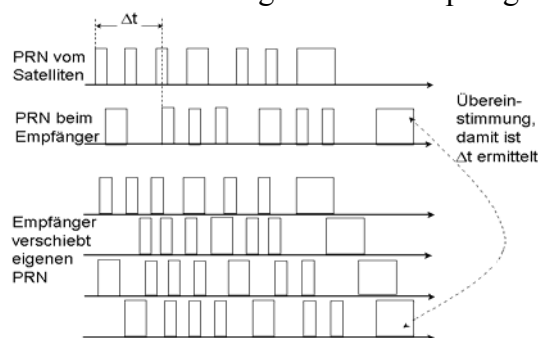


Abbildung 14.5: Messung Signallaufzeiten mit PRN

Der Datenstrom hat eine Datenrate von 50 Bit/s. Er dient vor allem zur Übertragung der Position des Satelliten, der Uhrzeit sowie der Bahndaten anderer Satelliten (sog. *Almanach*).

### Systemaufbau

Gesamtes GPS-System in drei sog. *Segmente* aufgeteilt: Benutzersegment, Raumsegment, Steuersegment (Kontrollsegment):

Legende: Frequenzen der Satellitensignale:

L1: 1575,42 MHz für PPS und SPS

L2: 1227,60 MHz nur für PPS

PPS: Precise Positioning Service

SPS: Standard Positioning Service

S-Band: spezielles Band für Kommunikation zwischen Master Control Station und Satellit



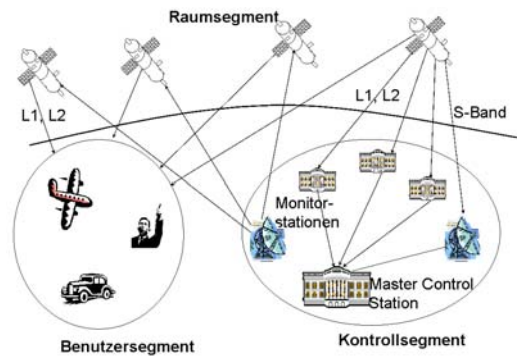


Abbildung 14.6: GPS Segmente

### **Benutzersegment**

Es umfasst die Geräte, die Benutzer direkt bedient: *GPS-Empfänger*. GPS-Empfänger unterliegen ständiger Miniaturisierung und Preisverfall: z.Zt. für einige hundert Euro erhältlich und in Größe eines Mobiltelefons. GPS-Empfänger in unterschiedlichen Ausstattungen,

- Eigenständiges Gerät (z.B. in Auto) bzw. spezifische GPS-Organizer (z.B. in Palm); falls mit integrierter Kartenfunktion  $\leadsto$  nicht nur Position in Längengrad und Höhe ermittelt, sondern eine Karte der entsprechenden Umgebung darstellbar.
- Ab 2006 großes Angebot mobiler Navigationsgeräte (z.B. Garmin, tom tom, Falk ...).  
Ausgabe: Sprachausgabe, Display mit Positionszeiger. Zusätzlich: Stauangabe (TMC: Traffic Management Control), Blitzeranzeige (nicht DE).
- GPS-Empfänger auch in Form von Einsteckkarten für Notebooks bzw. GPS-Handy.

Zusätzlich zur Position kann mit GPS-Empfängern auch die *aktuelle Geschwindigkeit* in drei Dimensionen ermittelt werden. Dazu folgende Möglichkeiten:

- Man ermittelt zwei Positionsangaben kurz hintereinander. Der Abstand zwischen den Positionen geteilt durch die Zeit zwischen den Messungen liefert die Geschwindigkeit.
- Nutzung des Doppler-Effekts: Bewegte Objekte erfahren eine Frequenzverschiebung auf dem empfangenen Signal. Größe der Verschiebung ist Maß für die eigene Geschwindigkeit.

*Messung der Uhrzeit:* Eine weitere Information, die GPS-Empfänger ermitteln können, ist die genaue Uhrzeit. Einige Anwendungen gar nicht an der Positionsbestimmung interessiert, sondern nur an der Uhrzeit, die weltweit exakt empfangen werden kann.

*Messung der Ausrichtung:* Es ist nicht möglich ist, über das GPS-System den aktuellen Winkel eines Gerätes zu ermitteln. Hier auf andere Verfahren angewiesen (ähnlich Kompass, um Ausrichtung des Gerätes zu berechnen).

### **Raumsegment**

Es besteht aus den Satelliten. Jeder Satellit wiegt 1,5 ... 2 Tonnen, hat autonome Energieversorgung über Sonnensegel. Der zentrale Rechner jedes Satelliten verfügt über eine 16-MHz-CPU. Programmiert wurden die Satelliten in ADA (ca. 25 000 Zeilen Code).

### **Kontrollsegment (Steuersegment)**

Es dient zur Verwaltung der Satelliten sowie zur Korrektur der satelliteninternen Daten (Systemzeit, Position und Bahndaten). Dazu hören *Monitorstationen* ständig passiv die Signale des Satelliten ab. Sie haben eine präzise bekannte, feste Position und verfügen über Atomuhren, die mit der Systemzeit synchronisiert sind. Hieraus können die Monitorstationen Korrekturdaten berechnen. Korrekturdaten werden an die *Master Control Station (MCS)* in Colorado Springs, USA weitergeleitet. Leistungen der Master Control Station: Sammeln der Korrekturdaten von den Monitorstationen, Berechnung von Korrekturinformationen für die Satelliten, Übertragung von Bahn- und Positionsformationen an die Satelliten, Korrektur der Atomuhren in den Satelliten, Einrichten neuer Satelliten.

Kommunikation zwischen Master Control Station und Satelliten erfolgt über ein spezielles Frequenzband (S-Band). Für Übertragung werden Bodenantennen eingesetzt.

## Fehlerquellen

*Uhrenfehler:* Obwohl die Uhren sehr genau gehen, zumindest in den Satelliten, bewirken Uhrenfehler eine Ungenauigkeit von 1,5 m in der Positionsberechnung.

*Schwankungen in der Umlaufbahn:* Die Satelliten bewegen sich nicht so exakt auf ihren Bahnen wie vorausberechnet. Beispielsweise stören die Gravitationskräfte der Sonne und des Mondes die Umlaufbahnen. Fehler geht mit 2,5 m in die Positionsmessung ein.

*Störungen der Atmosphäre:* Druck- und Wetterverhältnisse wirken sich auf die Signalausbreitung aus. Fehler geht mit 0,5 m in die Positionsmessung ein.

*Störungen der Ionosphäre:* Die geladenen Teilchen der Ionosphäre stören die Signalausbreitung. Der resultierende Fehler liegt bei 0,5 m.

*Multipath-Fehler:* Darunter versteht man Fehler, die durch reflektierte Signale in der Umgebung des Empfängers entstehen. Fehler liegt bei 0,6 m.

### 14.2.3 Differential GPS (DGPS)

#### Prinzip von DGPS

Overlay-System („Überlagertes System“): GPS mit Berücksichtigung von Korrekturdaten. Häufig Genauigkeit erforderlich, als durch GPS allein erreichbar. Mit Verfahren *Differential GPS (DGPS)* kann die Genauigkeit entscheidend verbessert werden, wobei zusätzliche Stationen auf der Erdoberfläche eingerichtet werden (sog. *Basisstationen* oder *Korrektursender*).

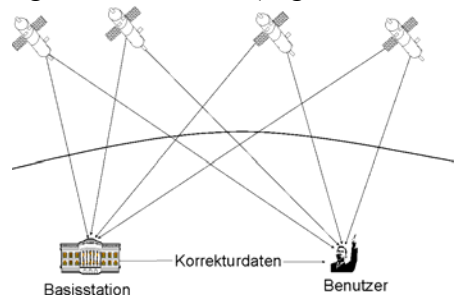


Abbildung 14.7: Differential GPS (DGPS)

Eine Basisstation mit fester, präzise bekannter Position führt Positionsbestimmung mit GPS durch. Da Positionsbestimmung fehlerbehaftet  $\leadsto$  Differenz gegenüber exakten Position, damit werden Korrekturdaten ermittelt, die den Benutzern im Umkreis der Basisstation mitgeteilt werden. Dem Verfahren liegt Annahme zugrunde, dass Benutzer in Umgebung sehr ähnliche Fehler wahrnehmen. Damit Fehler durch die Korrekturdaten nahezu kompensiert.

Erforderlich für DGPS:

- die Entfernung zwischen Basisstation und Benutzer ist nicht zu groß,
- die Korrekturen werden zeitnah übertragen.

Verfahren einfach, aber mit Nachteil: es funktioniert nur dann zufriedenstellend, wenn sich Basisstation und Benutzer dieselben Satelliten zur Positionsbestimmung ausgesucht haben. Nur dann kompensieren sich die Fehler. Oft stehen mehrere Satelliten zur Auswahl  $\leadsto$  große Anzahl von Möglichkeiten, die eigene Position zu bestimmen.

#### Verfahren RTCM-104

Basisstation könnte nun Messungen mit verschiedenen Kombinationen von Satelliten durchführen und die Korrekturdaten jeweils mit der verwendeten Satellitenkombination versehen. Daraus würde ein ganzer Satz an Korrekturdaten entstehen, die alle an die Benutzer versendet werden müssen (Anm.: Kommunikation zwischen Basisstation und Benutzer ist eine Einweg-Kommunikation. Basisstation kann somit Benutzer nicht fragen, welche Kombination zur Positionsbestimmung verwendet wurde).

Verfahren scheitert an der Menge möglicher Kombinationen. Wenn zu viele Satelliten gleichzeitig empfangen werden, explodiert Anzahl der Kombinationen. Eingesetzt wird deshalb ein

Verfahren, das auf der Korrektur von Pseudo-Entfernungen beruht, unter der Bezeichnung RTCM-104 standardisiert. Korrektursender häufig in Küstenregionen installiert, i.allg. gebührenfrei. In DE sind flächendeckend Korrektursignale über Langwelle sowie mit UKW über die Sendeeinrichtungen der ARD zugreifbar. Mit DGPS erhöht sich Genauigkeit auf ca. 1 ... 3 m. In diese Genauigkeit geht maßgeblich die Entfernung zum Korrektursender ein.

#### 14.2.4 Wide Area Augmentation System (WAAS)

WAAS ähnliches Prinzip wie DGPS (Overlay-System, überlagertes System): GPS mit Korrekturdaten. Mit Hilfe von Monitorstationen fester Position werden Korrekturdaten berechnet, die an den Benutzer übertragen werden. Im Gegensatz zu DGPS wird die Übertragung jedoch nicht terrestrisch durchgeführt, sondern mit Hilfe von geostationären Satelliten.

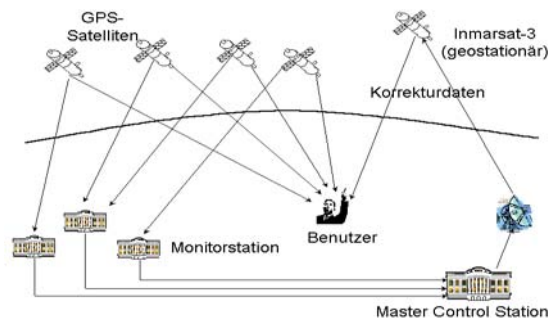


Abbildung 14.8: Wide Area Augmentation System (WAAS)

Ab 2002 ca. 30 Monitorstationen auf dem Gebiet der USA betrieben. Diese empfangen permanent die GPS-Signale und geben die Auswertungen an die Master Control Station weiter. Diese berechnet auf dieser Basis Korrekturdaten, die an einen Inmarsat-3-Satelliten übertragen werden. Dieser sendet die Korrekturdaten an die Benutzer. Da sich der entsprechende Satellit (im Gegensatz zu GPS-Satelliten) auf einer geostationären Umlaufbahn befindet, wird immer derselbe Bereich mit den entsprechenden Korrekturdaten versorgt. Zur Übertragung der Korrekturdaten an die Benutzer sendet der Inmarsat-3-Satellit auf der L1-Frequenz und benutzt dabei einen nicht anderweitig verwendeten PRN-Code.

#### 14.2.5 Weitere Systeme zur Satellitennavigation

##### Russisches Satellitennavigationssystem

*GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)*: Russisches Gegenstück zu GPS, 1996 in Betrieb genommen. Es benutzt wie GPS zwei Frequenzen, wobei wiederum eine dem Militär vorbehalten ist. GLONASS ohne Verschlüsselung des präzisen Dienstes oder Verfälschung der Uhrzeiten durch Selective Availability. Damit erreicht ein ziviler Anwender eine Genauigkeit von 26 m in der Horizontalen und 45 m in der Vertikalen. Während GLONASS in Anfangszeit dieselbe Verfügbarkeit wie GPS hatte (24 Satelliten), fielen aufgrund der kürzeren Lebensdauer (3 ... 4 Jahre) der GLONASS-Satelliten immer mehr Satelliten aus; zudem Finanzierungsprobleme. Im Jahr 2000 waren nur noch 10 Satelliten aktiv, damit war die durchgängige globale Abdeckung nicht mehr zu erreichen. Inzwischen Situation behoben, seit Ende 2007 wieder ausgebaut ~> kommerzielles Angebot. Zusammenarbeit mit GPS und später auch Galileo ~> für höhere Genauigkeit. GLONASS kann wie GPS aus Sicherheitsgründen für zivile Nutzung gesperrt werden.

##### Europäische Satellitennavigationssysteme

Entwicklung eines europäischen Satellitennavigationssystems findet in zwei Stufen statt.

1. Stufe: Entwicklung eines Systems, ähnlich dem amerikanischen WAAS, das Korrekturdaten zu den Systemen GPS und GLONASS bereitstellt (Ziel: 2002 fertig):

~> System *EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)*.

EGNOS: europäisches Gegenstück zu WAAS zur Korrektur von GPS-Daten. Infos: Webseite der europäischen Raumfahrtbehörde ESA <http://www.esa.int>

2. Stufe: ein von GPS oder GLONASS autonomes europäisches Navigationssystem. Im EU-Ministerrat wurde 1999 beschlossen, das System *GALILEO* zu errichten; Fertigstellung für 2008 geplant (~> 2013). GALILEO wird drei Dienste anbieten:

- einen kostenlosen Dienst, der von jedermann frei empfangen werden kann,
- einen verschlüsselten Dienst, der nur von staatlicher Seite benutzt werden kann,
- und einen weiteren verschlüsselten Dienst, von Benutzern gegen Gebühr verwendbar.

### **Satellitennavigationssystem Galileo**

Satelliten: Höhe: 23 000 km.

- Anzahl: 2005: 1 (Start "Giove", 28.12.2005, Frequenzfreigabe) -> 2006: 3 Satelliten, -> 2013: 30 Satelliten (davon 3 Reserve).
- Empfang auch in abgeschatteten Gebieten (Häuserschluchten) u. Wände durchdringend.

Merkmale und Kosten:

- Investition ca. 3,4 Milliarden €, geteilt von Industrie und EU (Vergleich: GPS 50 Mrd. €).
- Betriebsdauer: ca. 20 Jahre, Kosten 220 Mio. € p.a. (finanziert über Gebühren). Angestrebte Nutzerzahlen: 1 Mrd. (2013), 2,5 Mrd. (2020).
- Nachfolgesystem GALILEO II, ab ca. 2015/20.
- Unabhängigkeit gegenüber GPS, höhere Genauigkeit, ständige Verfügbarkeit

Genauigkeit:

- Atomuhren, mit Abweichung von 1 s in 3 Mio. Jahren. Alle Satelliten mit gleicher Zeit. Alle senden kurzen Impuls aus. Aus Laufzeitunterschied wird Position bestimmt.
- ca. 1m (10-fach genauer als GPS I). Gegen Gebühren: cm-Genauigkeit.
- Galileo kompatibel mit GPS und Glonass -> hohe Genauigkeiten erreichbar.

Dienste:

- Kommerzielle Nutzung (nicht-militärisch): Maut, Lawi, Luftfahrt, Bau, individuell, Auto.
- 3 Formen: kostenlos (jedermann), verschlüsselt (staatliche Nutzung bzw. gegen Gebühr).
- Erweiterte Nutzungsdienste: Verkehrssteuerung (u.a. Stauumfahrung, Geschwindigkeitswarnung, Suche freier Parkplätze), Personensuche, Notrufmeldung bei Unfall, ...

Neue Geräte (Dualmode): mit 2 Chips (für Galileo und GPS).

Bodenkontrollzentrum:

Test- und Entwicklungsumgebung des Bodenkontrollzentrums Gate in Berchtesgaden durch DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen). Antennen und Signalgeneratoren auf 6 Bergen, im Tal Monitoring-Stationen für Signalüberwachung. Areal 65 km<sup>2</sup>, Start 02/2007. Gebühr 18 400 € p.w. (für Test der Geräte, SW, Anwendungen).

Weitere Bodenkontrollzentren: Fucino (Italien), Spanien (noch unklar, auf eigene Kosten).

## **14.3 Positionsbestimmung in Gebäuden**

### **14.3.1 Dilemma Satellitennavigation**

Satellitennavigation erlaubt bequeme, genaue und kostengünstige Positionsbestimmung. Allerdings nur außerhalb von Gebäuden nutzbar, da Signale solides Mauerwerk nur ungenügend durchdringen (leistungsstärkere GPS-Chips in Entwicklung). Für Positionsmessung innerhalb von Gebäuden sind zusätzliche Installationen erforderlich. Während die Verfahren zur Satellitennavigation systemübergreifend sehr ähnlich sind, kommen bei Positionsmessungen indoor sehr unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Beispiele (als Forschungsprojekte realisiert):

- \* Infrarot-Baken (Active Badge, WIPS)
- \* Funk-Baken (SpotON, RFID)
- \* Ultraschall-Verfahren (Active Bat, Cricket)
- \* Visuelle Positionsbestimmung (Visual Tags)

### 14.3.2 Infrarot-Baken

#### Active Badge System

Eine Möglichkeit, Personen innerhalb von Gebäuden zu lokalisieren, basiert auf Infrarot-Baken. Wegen hoher Verfügbarkeit und geringen Preises für Infrarotgeräte in vielen Projekten realisiert. Active Badge System: frühes Projekt auf Basis von Infrarot-Baken (Olivetti).

*Prinzip des Active Badge Systems:*

Jeder Benutzer trägt einen kleinen Infrarotsender, sog. *Active Badge*, offen sichtbar (beispielsweise an Kleidung), Größe von 55 mm x 55 mm x 7 mm, Gewicht 40 g. Ein Active Badge sendet alle 15 s für ca. 0,1 s ein Infrarotsignal, in dem eine Benutzererkennung kodiert ist. Im Gebäude befinden sich Infrarotsensoren, die die ausgestrahlten Signale empfangen und an einen Rechner weiterleiten.

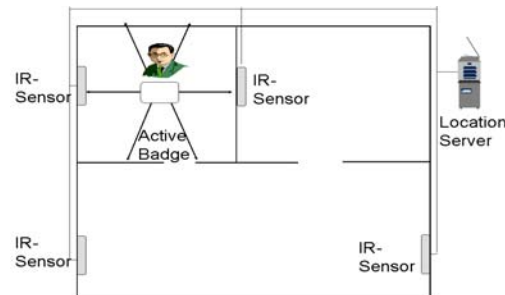


Abbildung 14.9: Active Badge System

Verfahren beruht darauf, dass sich Infrarotsignale nur in einem Raum ausbreiten. Innerhalb eines Raumes wird durch Reflexion an Wänden sichergestellt, dass ein Active Badge auch dann empfangen wird, wenn das Signal nicht direkt auf einen Sensor gerichtet ist.

Die im Verhältnis zur Wartezeit sehr kurze Impulsdauer von 0,1 s hat folgende Vorteile: Da Infrarotimpulse die meiste Energie verbrauchen, kann eine Active Badge mit kurzen Impulsen sehr lange ohne Batteriewechsel auskommen (Batterielebensdauern von ca. einem Jahr). Mehrere Active Badges im selben Raum stören sich selten, da Kollisions-Wkt. sehr gering. Durch geringe Abweichungen in der Periodendauer von 15 s erreicht man, dass selbst bei Kollisionen nach kurzer Zeit die Signale nicht mehr synchron ausgesendet werden.

Server sammelt alle Sensorinformationen und bietet diese anderen Anwendungen an. Clientanwendungen können über ein Netzwerk abfragen, welche Personen sich gerade in welchem Raum befinden oder welche Personen sich nicht im Gebäude aufhalten. Active Badges billig, einfach aufgebaut und Batteriestrom-sparend ~> daher in 1. Ausbaustufe keine Informationen empfangen, sondern lediglich ausgesendet.

Weiterentwicklung zur Zwei-Wege-Kommunikation:

- Für Unbefugte relativ einfach, das Signal der Active Badges durch andere Signalquellen zu imitieren, so dass fälschlicherweise der Eindruck entsteht, eine Person wäre in einem bestimmten Raum. Sog. *Authenticated Badges* können über das *Challenge-Response-Verfahren* eindeutig identifiziert werden ~> dazu Zwei-Wege-Kommunikation notwendig.
- Active Badges können auch dazu verwendet werden, um Informationen anzuzeigen. Hierzu wurden in erweiterter Version 2 Lämpchen und 1 Lautsprecher angebracht. Damit einfache optische und akustische Signale an Benutzer übermittelbar.

Damit eine Active Badge trotz der Empfangsmöglichkeit lange mit dem Batteriestrom auskommt, versucht sie nur für kurze Zeit nach dem Aussenden eines Infrarotimpulses eine Nachricht zu empfangen, danach geht sie wieder in den inaktiven Zustand. Durch die Möglichkeit, Nachrichten zu empfangen, wurden weitere Rechner erforderlich.

Im Endausbau verfügte das System über folgende Server:

- \* *Location Server*: sammelt die Informationen der Sensoren.
- \* *Name Server*: verwaltet Datenbank aller Benutzer des Systems mit den Badge-Adressen.

- \* *Message Server*: koordiniert die Weiterleitung der Nachrichten an die Active Badges.
- \* *Exchange Server*: Hiermit können verschiedene Teilsysteme hierarchisch zu einem Gesamtsystem zusammengeschlossen werden.

### WIPS (Wireless Indoor Positioning System)

Ein Hauptziel des Active Badge Systems: möglichst einfach aufgebaute mobilen Einheiten („Badges“). Zu Beginn der 90er Jahre war es aufwendig, kleine mobile Rechner mit entsprechender Rechenleistung einzusetzen. Daraus Hauptnachteil des Systems, dass die Ortsinformationen beim Location Server („Tracking“), nicht jedoch bei den Benutzern selbst vorlagen. Durch Miniaturisierung mobiler Rechner ist jedoch ein zu Active Badges umgekehrtes Verfahren denkbar, wie es mit *WIPS (Wireless Indoor Positioning System)* realisiert wurde:

- \* IR-Sender sind nicht mehr mobil, sondern fest installiert. Sie sind *nicht* vernetzt.
- \* Mobile Einheiten (Badges) empfangen das Signal der Baken und geben die entsprechende Ortsinformation an den Location Server über WLAN (IEEE 802.11) weiter.
- \* Die vom Location Server aufbereiteten Daten werden über WLAN an die Badges zurückgegeben.

*Prinzip WIPS*: Konzept von WIPS erlaubt die Realisierung selbst anspruchsvoller Anwendungen auf der Basis ortsabhängiger Dienste. Badges und Server sind direkt miteinander vernetzt, können so umfangreiche Daten austauschen. Da IR-Baken die passiven Elemente des Konzepts sind, entfällt aufwendige Vernetzung. Allerdings sind Badges selbst anspruchsvoller im Aufbau, da sie sowohl Infrarotempfänger als auch WLAN-Unterstützung beinhalten.

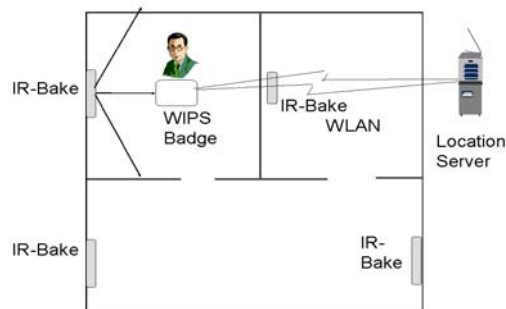


Abbildung 14.10: Wireless Indoor Positioning System (WIPS)

### 14.3.3 Funk-Baken

#### SpotON-System

Bei Infrarot-Baken wird ausgenutzt, dass sich Infrarotsignale nur innerhalb eines Raumes ausbreiten. Damit kann die Position eines Benutzers in einen Raum genau berechnet werden. Bei Funk statt Infrarot kann man ausnutzen, dass Funksignale Wände durchdringen können. Zusätzlich lässt sich durch Messungen der Signalstärke ein Maß für den Abstand zwischen Sendern und Empfängern gewinnen. Werden Sensoren in mehreren Höhenebenen angebracht, ist eine Positionsbestimmung in drei Dimensionen möglich ~> Projektumsetzung: SpotON.

*Prinzip des SpotON-Systems*

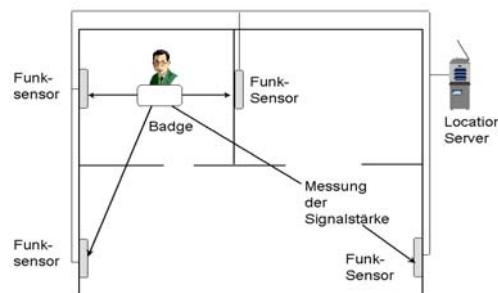


Abbildung 14.11: SpotON-System



Wie bei Active Badge geht das Signal vom Benutzer aus. Im Gebäude aufgestellte Funkensoren nehmen das Signal bis zu einer gewissen Entfernung auf und übermitteln die Signalstärke an einen Server. Im Gegensatz zu Infrarot-basierten Systemen ist die Auswertung der Daten komplexer. Es muss eine Position gefunden werden, die zu allen gemessenen Signalstärken passt. Hierbei geht man davon aus, dass die Stärke eines elektromagnetischen Signals mit dem Quadrat des Abstandes abfällt. Allerdings ist die Signalstärke noch von anderen Faktoren abhängig (z.B. Hindernisse, Störungen oder Varianten in der Sendeleistung des Senders), wenig präzises Bild. Fehlerkompensation, indem mehrere Sensoren in die Berechnung einfließen. Mit SpotON-System konnte aber nur eine Genauigkeit von 3 m erzielt werden.

### Radiofrequenz-Identifikation (RFID)

Eine Variante von Funk-Baken sind *RFID-Transponder (Radio Frequency Identification)*. Es sind kleine Systeme mit Prozessor, Speicher und Antenne, aber *ohne* eigene Stromversorgung. Sie nehmen die notwendige Energie zum Arbeiten aus den Funksignalen, die an sie gerichtet sind (magnetische Induktion). Ein an einen anderen Transponder gerichtetes Signal wird als Befehl interpretiert und bewirkt, dass entweder neue Daten in den Speicher geladen werden oder Daten aus dem Speicher als Antwort zurückgefunkt werden. Sender und Transponder haben dabei i.d.R. einen Abstand von maximal 1 Meter. RFID-Transponder werden häufig eingesetzt, um Objekte z.B. während eines Transportes oder in einer Produktion zu verfolgen. Hierbei steht nicht die genaue dreidimensionale Positionsbestimmung im Vordergrund. Vielmehr wird durch RFID-Transponder ermittelt, ob Objekte bestimmte Wegpunkte, z.B. an einem Fließband, passiert haben. Variante in industrieller Produktion: *NFC (Near Field Communication)*.

### 14.3.4 Ultraschall-Verfahren

#### Entfernungsmessung mit Schall

Durch Einsatz von Ultraschall kann wesentlich genauer der Abstand zw. Sender und Empfänger ermittelt werden. Die Zeit, die ein Ultraschallsignal benötigt, ist proportional zur Entfernung. Misst man die Zeit, die ein ausgesendeter Impuls zum Empfänger benötigt, hat man ein genaues Maß für die Entfernung. Im Projekt Active Bat wurde eine Positionsbestimmung auf der Basis von Ultraschall realisiert. Genauigkeiten von 10 cm erzielt.

#### Active Bat

Benutzer trägt ein Gerät (sog. *Bat*), das auf Anforderung eines Servers einen kurzen Ultraschallimpuls abgibt. Die Anforderung wird über Funk an das Bat übertragen. Der Server wählt dabei immer genau ein Bat für die Positionsbestimmung aus ~> keine Kollisionen. Das Ultraschallsignal wird von Empfängern aufgefangen, die an der Decke montiert sind. Die Empfänger sind in einem Raster von 1,2 m angebracht. Empfangen sie ein Signal, geben sie diese Information an den Location Server über ein drahtgebundenes Netzwerk weiter.

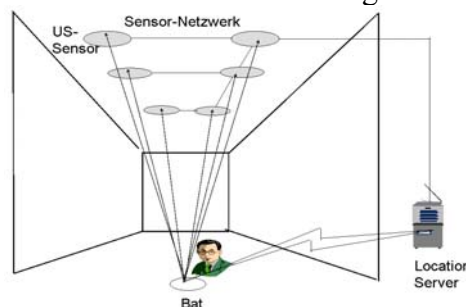


Abbildung 14.12: Active Bat System

Server verfügt nun über alle notwendigen Informationen zur Positionsbestimmung des entsprechenden Benutzers. Anhand der Zeiten, die bis zum Empfang bei den Sensoren vergangen

sind, kann der Server ein Gleichungssystem aufstellen und lösen. Berechnungen ähneln denen bei Satellitennavigation  $\sim$  Lösung eines *nichtlinearen Gleichungssystems*. Allerdings vereinfachte Berechnung, da Signallaufzeiten im NW und per Funk gegenüber Schallgeschwindigkeit vernachlässigbar  $\sim$  damit keine Variable für den Zeitversatz.

### Cricket

Cricket-System kehrt die Funktionen von Sender und Empfänger um. Die fest installierten Systeme, die Baken, senden den Ultraschallimpuls aus, der von den mobilen Geräten empfangen wird. Um die Laufzeit des Schalls zu messen, sendet die Bake zeitgleich mit dem Ultraschallsignal ein Funk-Bake ab. Ein Merkmal des Cricket-Systems ist, dass es ohne Server auskommt, der die Daten verarbeitet. Im Vordergrund des Systems steht auch nicht die genaue 3D-Positionsbestimmung. Benutzer soll beim Betreten eines Raumes über das System mitgeteilt bekommen, dass bestimmte Dienste dort verfügbar sind, z.B. ein Druckdienst.

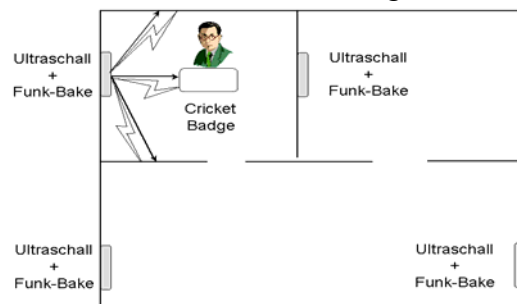


Abbildung 14.13: Cricket-System

### 14.3.5 Visuelle Positionsbestimmung

#### Videoaufnahmen (Visual Tags)

Eine weitere Klasse von Verfahren basiert auf der Auswertung von Videoaufnahmen. Verarbeitung von Videodaten ist sehr rechenaufwendig. Mit Hilfe spezieller Etiketten, die der Benutzer an der Kleidung trägt, kann die Auswertung jedoch signifikant vereinfacht werden. *Visual Tags* sind beispielsweise leicht zu erkennende Muster aus roten und grünen Quadraten. Die Anordnung der Quadrate erlaubt es, einfache Informationen zu kodieren, ähnlich dem Barcode. Da die Größe der Marken fest ist, kann über das Videobild die Entfernung zur Kamera sowie die Ausrichtung im Raum berechnet werden.

### 14.4 Netzwerkgestützte Positionsbestimmung

#### 14.4.1 Einsatz drahtloser Netzwerke

Aufbau eines Systems zur Positionsbestimmung erfordert erhebliche Investitionen. Ansatz zur Kostenreduzierung: Nutzung eines vorhandenen drahtlosen Netzwerks. Zellulare Netzwerke (Mobilfunk, Bündelfunk, Satellitentelefonie) gut geeignet, da durch die Funkzelle schon eine grobe Positionsbestimmung möglich ist. Zusätzlich erlauben Laufzeitmessung (TOA) oder Winkelmessung (AOA) eine genauere Eingrenzung der Position. Exemplarisch zwei Systeme vorgestellt, die ein vorhandenes drahtloses Netz zur Positionsbestimmung nutzen:

- Mobile Positioning System (Basis: GSM - Global System for Mobile Communications),
- Nibble System (Basis: WLAN - Wireless LAN).

#### 14.4.2 Positionierung auf Basis GSM

##### Lokalisierung in GSM

Einteilung des Versorgungsbereichs in GSM-Zellen ermöglicht bereits eine einfache Positionsbestimmung innerhalb des GSM-Netzwerks. GSM-Netz weiss, welches Mobiltelefon in welcher Zelle gerade eingebucht ist. Ein Teilnehmer, der den Zuständigkeitsbereich eines



*VLR (Visitors Location Register)* betritt, wird von diesem erfasst. Die entsprechende Information wird dann an das zentrale *HLR (Home Location Register)* weitergegeben, wo sie abrufbar ist. Prinzipiell bereits Dienste anbietbar, um mobile Teilnehmer zellengenau orten zu können. Der mobile Teilnehmer kann auch selbst auf ortsbezogene Daten zugreifen. Über sog. *Cell Broadcast Channels (CBCH)* können in jeder Zelle ortsspezifische Daten ausgestrahlt werden, die jedes Mobiltelefon empfangen und anzeigen kann. z.B. kann über die CBCHs in jeder Zelle der Ort der nächsten Notrufstationen, Hotels oder Krankenhäuser verbreitet werden.

### Mobile Positioning System (MPS)

Auflösung der Position bis auf eine Zelle ist für viele Anwendungen zu ungenau. Zellengröße variiert von unter 100 m in Ballungszentren bis zu 35 km auf dem Land.

System *MPS (Mobile Positioning System)* von Ericsson: ermöglicht genauere Positionsbestimmung auch in großen Zellen. MPS arbeitet mit Standard-GSM-Systemen zusammen und benötigt zur Installation nur minimale Änderungen an der Kommunikationsinfrastruktur. Mobile Endgeräte müssen modifiziert werden. Fakt wichtig, da kostenintensive Änderungen der Endgeräte für Kunden nicht akzeptabel. Positionsbestimmung mit MPS kann optional durch GPS aufgewertet werden, ist jedoch keine zwingende Voraussetzung.

#### Anwendungsszenarien mit MPS:

*Ortsabhängige Daten:* Mobiler Teilnehmer kann (genauer als mit Standard-GSM) ortsabhängige Daten abfragen, z.B. den Standort des nächstgelegenen Restaurants.

*Überwachung des Standorts des mobilen Endgeräts von außen:* GSM-Endgerät kann in ein Fahrzeug eingebaut werden. Standort des Fahrzeugs kann nach Diebstahl ermittelt werden. Standortbestimmung auch nutzbar, um Rettungs- oder Reparaturdienste bei Unfall zu lotsen.

*Ressourcenmanagement:* Überblick für Transportunternehmen über Positionen der verfügbaren Fahrzeuge, z.B. ein Taxi-Unternehmen kann die Position aller Taxis abfragen.

*Navigation:* Routenplanung in Fahrzeugen könnte auf Basis der Positionsdaten einen optimalen Weg zu einem Ziel berechnen und den benutzen Weg ständig überwachen.

#### Verfahren von MPS zur Positionsbestimmung mit GSM:

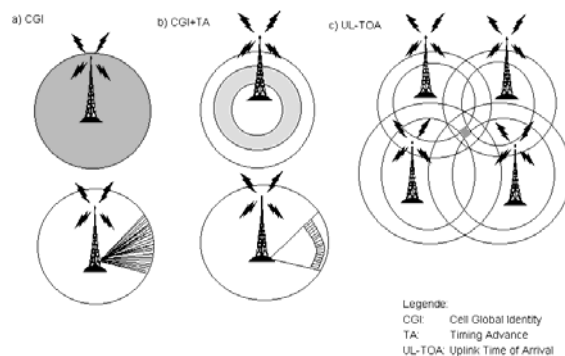


Abbildung 14.14: Verfahren im Mobile Positioning System (MPS)

#### Cell Global Identity (CGI):

Nutzt die Identifikation einer Zelle, um Position des mobilen Teilnehmers grob zu ermitteln. Methode ungenau. Nur verwendet, wenn feinere Verfahren nicht einsetzbar sind. Häufig verfügen Basisstationen über mehrere Antennen, die jeweils einen bestimmten Winkelbereich der Funkzelle erfassen. Falls Basisstation weitergibt, über welche Antenne ein Mobilfunkteilnehmer erfasst wurde, kann Position bis auf einen Kreissektor genau ermittelt werden.

#### Timing Advance (TA):

Basisstation und mobile Endgeräte verwenden zur Kommunikation bestimmte Zeitschlitze. Da Timing sehr exakt sein muss, wird Signallaufzeit zwischen Endgerät und Basisstation berücksichtigt. Gesteuert durch Verfahren *GSM Timing Advance* sendet ein mobiles Endgerät einen Burst früher, wenn es weiter von Basisstation entfernt ist. Damit erreicht ein Burst die Basisstation immer exakt innerhalb eines Zeitschlitzes. Position innerhalb einer Zelle so noch genauer bestimmbar. Entfernung zur Basisstation wird in Schritten von ca. 550 m gemessen.

*Uplink Time of Arrival (UL-TOA):*

Noch bessere Positionsbestimmung möglich, wenn sich ein mobiler Teilnehmer in Reichweite von mindestens vier Basisstationen befindet. Über eine Laufzeitmessung des Signals vom mobilen Endgerät zu den Basisstationen kann Position auf 50-150 m genau bestimmt werden. Hierbei ähnliche Auswertung wie bei Satellitennavigation durchgeführt.

### MPC (Mobile Positioning Center)

Gesamtsystem bezieht GPS-Satelliten ein: dienen den Basisstationen beim UL-TOA-Verfahren für eine exakte Zeitinformation. Damit möglich, die mobilen Endgeräte selbst mit GPS-Empfängern auszustatten. Die aus unterschiedlichen Verfahren ermittelten Entfernungsdaten werden an *MPC (Mobile Positioning Center)* übermittelt. Hier alle Daten verarbeitet und zwischengespeichert. Über Internet-Anbindung können Positionsdaten von außen zugreifbar gemacht und abgerufen werden.

Während die Positionsüberwachung für bestimmte Anwendungen gewollt ist, möchten viele mobilen Teilnehmer ihre Positionsdaten nur ungern publizieren. Hierin unterscheidet sich MPS von GPS, bei dem nur der Benutzer Zugriff auf die eigenen Positionsdaten bekommt. Wenn Positionsdaten über Internet zugreifbar werden sollen, muss Dienstanbieter die Fragen zu Zugriffsschutz, Authentifizierung und Verschlüsselung der Daten klären. MPS erlaubt daher den Zugriff auf Positionsdaten nur nach einer Authentisierung über ein Kennwort.

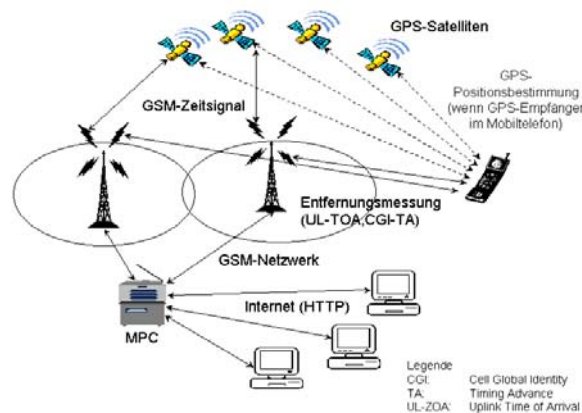


Abbildung 14.15: Architektur Mobile Positioning System (MPS)

### 14.4.3 Positionierung auf Basis WLAN

#### Microsoft Nibble

Verfahren zur Positionsbestimmung auf Basis vorhandener WLAN-Infrastruktur. Idee prototypisch durch Microsoft umgesetzt und identisch durch *Nibble-System* realisiert.

*Trainingsphase:* Bevor System zur Positionsbestimmung benutzt werden kann, muss es trainiert werden. Hierzu geht ein Benutzer möglichst flächendeckend über die einzumessende Fläche. An einigen Wegpunkten werden Messungen durchgeführt.

Dabei wird eine Tabelle mit folgendem Inhalt aufgebaut: Koordinaten (x,y) sowie Ausrichtung (d) werden vom Benutzer vorgegeben. Experimente haben ergeben, dass die Ausrichtung zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Daher sollten Messungen in unterschiedlichen Richtungen durchgeführt werden. Das Koordinatensystem kann beliebig für den jeweiligen Zweck gewählt werden, z.B.

kann  $(x,y)=(0,0)$  in einer ausgezeichneten Raumecke liegen und die Ausrichtung  $d=0^\circ$  wird parallel zu einer ausgezeichneten Wand gewählt.

Signalstärken zu allen installierten WLAN-Basisstationen ( $SS_i$ ) werden vom System automatisch gemessen. Basisstationen können über ihre Netzwerkadresse identifiziert werden. Insbesondere sind sie von anderen WLAN-Sendern, z.B. von anderen mobilen Rechnern, unterscheidbar.

Durch Trainingsphase wird eine Tabelle mit Einträgen aufgebaut. Soll jetzt eine Position bestimmt werden, führt das System eine Messung der Signalstärken  $SS_i$  durch. Danach wird Liste nach demjenigen Eintrag durchsucht, der zur Messung am „ähnlichsten“ ist.

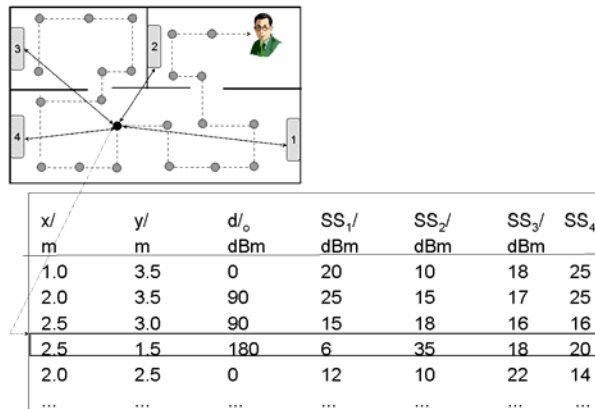


Abbildung 14.16: Microsoft Nibble (Positionsmessung auf WLAN-Struktur)

Hierbei verschiedenste Algorithmen einsetzbar. Implementierung von Microsoft durchsucht die Tabelle linear und ermittelt den Datensatz mit dem geringsten euklidischen Abstand zur aktuellen Messung. In einem Experiment über eine Fläche von ca. 43 m x 22 m wurde mit 70 Wegpunkten eine Genauigkeit von 2 - 3 m erzielt.

Nachteile des Verfahrens: Aufwendige Trainingsphase, muss für jeden Bereich durchgeführt werden, in dem später Positionsmessungen stattfinden sollen. Zudem muss Trainingsphase immer erneut durchgeführt werden, wenn sich die Umgebungsbedingungen ändern, z.B. die Position der Basisstationen. Eine Möglichkeit, Trainingsphase zu vermeiden: Tabelle automatisch erstellen lassen. Hierzu muss die Umgebung als Modell einem Programm eingegeben werden, das eine Simulation der Signalausbreitung durchführt. In Experimenten lag die Genauigkeit bei diesem Vorgehen bei ca. 4 m.

## 14.5 Geografische Adressierung

### 14.5.1 Geocast

#### Geographische Adressierung

Ansatz, um Positionsdaten mit Netzwerkinfrastruktur zu verknüpfen. Grundkonzepte (Imielinski und Navas) führten schon Mitte der neunziger Jahre zu ersten Prototypen. Idee der geographischen Adressierung: keine netzwerkspezifische Adressen als Ziel verwenden (wie beispielsweise IP-Adressen), sondern geographische Koordinaten. Ziel-„Adresse“ könnte somit beispielsweise lauten: *Alle Rechner, die sich im Umkreis von 2 km um das Institut für Informatik der Universität Leipzig befinden.*

Rechneradressierung anhand der geographischen Lage erfordert massive Veränderungen in der Netzwerkinfrastruktur, insbes. in Vermittlungsschicht. Allerdings sind mit einem solchen Dienst innovative Anwendungen möglich. Die geographische Adressierung wäre ein universelles Hilfsmittel, um Positionsdaten mit einer Netzwerkinfrastruktur zu kombinieren.

*Anwendungsbeispiele:*

Warnung vor bestimmten Naturereignissen genau an die Person richten, die sich im Gefahrenbereich aufhalten, z.B. Hochwasserwarnung an Bewohner des Uferbereichs.

Kunde sucht einen bestimmten Dienstleister oder ein Geschäft im näheren Umkreis seiner Wohnung. Er könnte eine Suchmeldung an alle Supermärkte im Umkreis aufgeben. Supermärkte könnten Sonderangebote an alle Kunden verschicken, die in einem bestimmten Umkreis wohnen.

Stauwarnung genau an die Autofahrer, die sich auf den Stau zu bewegen.

Elektronisches Schaufenster oder Schautafel könnte Informationen an Benutzer verschicken, die sich bis auf 3 m nähern.

Unternehmen zur Heizkosten-Ermittlung in Mietwohnungen könnte alle Messfühler in einem bestimmten Gebäude adressieren.

### **Geocast**

Zur Realisierung der geographischen Adressierung sind u.a. folgende Probleme zu lösen:

1. Um die Zielkoordinaten zu kodieren, ist eine bestimmte Adressgröße notwendig. Zur Definition einer Position auf Erdoberfläche mit den Angaben Längengrad und Breitengrad und einer Genauigkeit von 160 m so benötigt man 8 Byte [RFC 2009]. Für die höhere Genauigkeit von 1,8 m sind 10 Byte notwendig. Für aktuelle Netzwerkadressen sind 10 Byte zu viel: IPv4-Adresse 4 Bytes (32) ~> damit kann Positionsangabe nicht hinreichend genau kodiert werden. Abhilfe IPv6: 16 Byte (128).
2. Alle Rechner, die geographisch adressierbar sein sollen, müssen ihre Position kennen. Während man die Position stationärer Rechner fest einkodieren könnte, müssen mobile Stationen ständig die aktuelle Position ermitteln. Außerhalb von Gebäuden kann dazu die Satellitennavigation eingesetzt werden (innerhalb von Gebäuden andere Verfahren).
3. Aktuell Netzwerke benutzen eine Adressierung, die die Topologie des NWs widerspiegelt, nicht jedoch die geographische Lage. Ähnliche Adressen zeigen an, dass entsprechende Geräte aus Sicht des NWs nahe beieinander lokalisiert sind. Diese Adressinformation jedoch nicht für die geographische Adressierung geeignet. Für eine geographische Adressierung muss der aktuellen Netzwerktopologie eine logische Topologie überlagert werden, die Positionsinformationen berücksichtigt.

Lösungen der Probleme:

*Erstes Problem* (NW-Adresse) lösbar, indem geographische Adresse nicht als Teil der NW-Adresse kodiert wird, sondern als ein zusätzliches Feld im Paketkopf. Diese Adressierung jedoch mit entsprechenden Netzwerkprotokollen nicht kompatibel. *Anderer Lösungsansatz*: Internet-Standards IPv6 ~> IPv6-Adressen 16 Byte (128 Bit). Anteil von 80 Bit könnte jeden Kubikzentimeter der Erde dreidimensional, d.h. mit Angabe der Höhe, adressieren. Hierzu wird ein Höhenbereich von 10 km unter dem Meeresspiegel bis 100 km darüber vorgesehen. Da bei 80 Bit für den geographischen Anteil der Adresse noch 48 Bit übrig bleiben, werden von ca.  $10^{38}$  möglichen IPv6-Adressen nur ein relativ kleiner Anteil von ca.  $10^{24}$  für geographische Adressen benötigt werden.

*Zweites Problem* (Position): Falls Preisverfall für GPS-Empfänger weiter anhält, kann auch dies gelöst werden. Ggf. sind Chips zur Positionsbestimmung bald ähnlich selbstverständlich wie Chips zur Zeitmessung. Damit wäre eine Positionsmessung zumindest außerhalb von Gebäuden durchgängig verfügbar.

*Drittes Problem* (Topologie): Solange die geographische Adressierung nicht in die Netzwerkprotokolle integriert wird, muss das durch überlagerte Protokolle gelöst werden. 3 Ansätze: Geo-Routing-Ansatz, Multicast-Ansatz, geographische Adressierung mit Hilfe von Domain Name Servern. Alle Ansätze sind auf das Internet zugeschnitten, mit der Zielstellung, an der bestehenden Infrastruktur des Internets möglichst wenig zu ändern.

### **14.5.2 Ansatz für Geo-Routing**

#### **Geo-Routing**

Der *Geo-Routing-Ansatz* wurde 1997 in „The Nibble Location System“ vorgestellt [http://mmsl.cs.ucla.edu/nibble]. Er erlaubt eine geographische Adressierung der Erdoberfläche in 2 Dimensionen. Als „Zieladresse“ eines Netzwerkpaketes gibt der Absender ein geschlossenes Polygon oder einen Kreis mit Mittelpunkt und Radius an. Die Spezifikation der Polygonpunkte oder des Kreismittelpunktes erfolgt je nach gewünschter Genauigkeit mit 8 oder 10 Byte. Damit der Absender nicht mit unhandlichen Koordinaten umgehen muss, ist eine benutzerfreundliche Schnittstelle denkbar. Beispielsweise kann der Benutzer auf einer eingeblendeten Karte die Eckpunkte des Polygons einzeichnen. Damit das Paket an alle Rechner des spezifizierten Bereichs zugestellt wird, ist eine Änderung der existierenden Vermittlungsschicht notwendig.

### Komponenten des Geo-Routing-Ansatzes

*GeoRouter* sind Rechner, die Nachrichten im Netzwerk anhand der geographischen Adresse weiterleiten. Jeder GeoRouter kennt die Fläche, die von ihm verwaltet wird (sog. *Servicebereich*). *GeoRouter* können hierarchisch angeordnet werden, dadurch entstehen geschachtelte Servicebereiche. *GeoNodes* sind Rechner, die Nachrichten zwischenspeichern und periodisch versuchen, diese in einem bestimmten Servicebereich zuzustellen. Hierzu kann jedem Paket eine Lebenszeit zugeordnet werden. *GeoNodes* versuchen, innerhalb der Lebenszeit ein Paket zuzustellen. Insbesondere Knoten, die erst kurz in einen Servicebereich eingetreten sind, können so noch ältere Pakete erhalten. *GeoHosts* werden die mobilen und stationären Rechner genannt, die geografisch adressierbar sind.

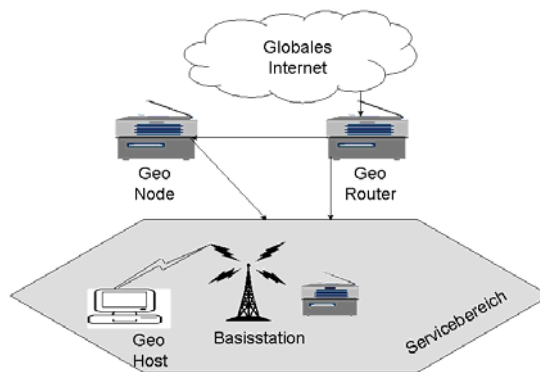


Abbildung 14.17: Komponenten des Geo-Routing

### Routing-Verfahren

Damit ein Paket für einen bestimmten geografischen Bereich zugestellt werden kann, ist ein Vermittlungsverfahren notwendig, das die geografischen Informationen berücksichtigt. In „The Nibble Location System“ (1997) wird ein hierarchisches Routing-Verfahren vorgeschlagen.

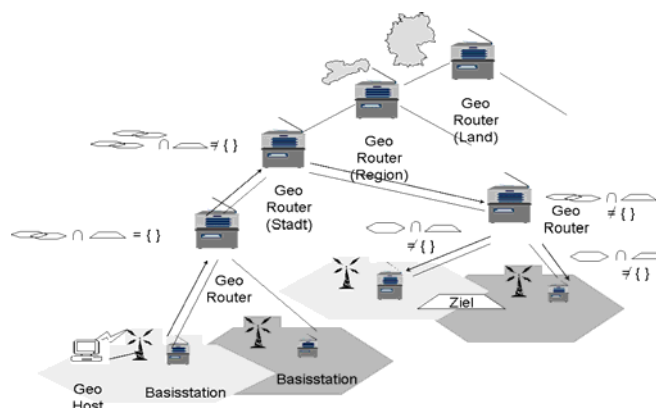


Abbildung 14.18: Hierarchisches Routing im Geo-Routing (Nibble-System)

Die Ebenen der Hierarchie sind nicht vorgeschrieben. Eine Einteilung in die Ebenen "Stadt", "Region" und "Land" ist jedoch ein sinnvolles Beispiel. Jeder Router muss nur eine geringe Anzahl untergeordneter Router betreuen. Jeder Router kennt genau die Flächen, die er betreut. Diese Information wird von der Basisstation ausgehend nach oben weitergereicht. Jeder Router verbindet hierzu die Flächen der untergeordneten Router zu einem größeren Servicebereich. Da u.U. disjunkte Servicebereiche zusammengefügt werden müssen, wird der resultierende Bereich durch eine Liste von Teilflächen repräsentiert. Das Geo-Routing-Verfahren erlaubt diverse Optimierungsmöglichkeiten.

### 14.5.3 Ansatz für Multicasting

#### Multicast IP

Statt Routing-Verfahren zu ändern, verwendet der *Multicasting-Ansatz* das Multicast IP, um Ziele geografisch anzusprechen. Verfahren definiert folgende Begriffe [RFC 2009]:

- \* *Atome* sind die kleinsten Flächen, die adressierbar sind.
- \* *Partitionen* sind größere geografische Bereiche wie Stadtteile, Städte oder Länder.

Sie können selbst aus Partitionen oder Atomen aufgebaut sein.

Grundidee des Multicasting-Ansatzes: jedes Atom und jede Partition ist durch eine eigene Multicast-Gruppe zu adressieren. Eine wichtige Eigenschaft von Atomen und Partitionen ist, dass sie komplett in der nächst größeren Einheit eingebettet sind, d.h. eine Partition oder ein Atom kann nicht an einer Partitions- oder Atommengengrenze geschnitten werden.

Die Reichweite einer *Basisstation* passt üblicherweise nicht in das Muster der Atome und Partitionen, sondern richtet sich nach anderen Gegebenheiten. So kann es sein, dass die Reichweite mehrere Atome abdeckt und in mehreren Partitionen liegt. Eine Basisstation wird Mitglied aller Multicast-Gruppen, die zu Atomen und Partitionen gehören, die in der Reichweite liegen bzw. die Reichweite schneiden.

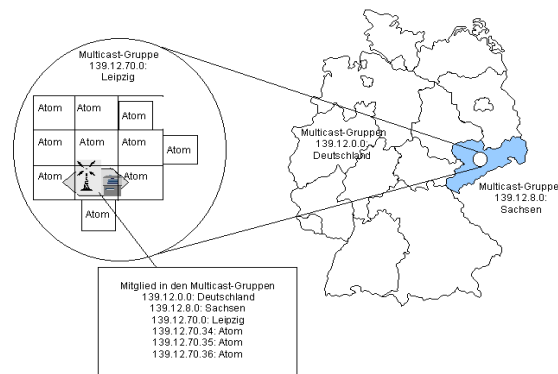


Abbildung 14.19: Multicasting (Beispiel)

#### Skalierbarkeit des Ansatzes

Einfacher Ansatz mit 2 Problemen. Erstes Problem: Adressgröße. Jedes Atom erhält eine genaue Multicast-Gruppenadresse. Bei IPv4 nur ein reduzierter Adressbereich verfügbar. Um den Adressraum von IPv4 nutzen zu können, wird folgende Kodierung vorgeschlagen:

- 10 Bit: fester Anteil der Multicast-Adresse,
- 6 Bit: Adresse des Landes,
- 6 Bit: Adresse der Region im Land,
- 10 Bit: Adresse des Atoms in der Region.

Mit dieser Aufteilung muss man sehr große Atome definieren. Das Verfahren funktioniert auch bei großen Atomen, da jeder Empfänger eines Pakets den Zielbereich mit der eigenen Position vergleicht. Allerdings erhalten zu viele Empfänger überflüssigerweise ein Paket und müssen es verwerfen. Bei hohem Paketaufkommen ist dieser Kommunikationsaufwand nicht

mehr vertretbar. Bei IPv6 wird dieses Problem nicht mehr bestehen, da man Atome hinreichend klein definieren kann.

Zweites Problem: im Multicast-Verfahren des Internets begründet. Jede Multicast-Gruppe erfordert *Ressourcen* bei den involvierten Routern. Die vorgeschlagene Vorgehensweise würde durch die hohe Anzahl von Multicast-Gruppen die Router überfordern. Als Ausweg wird vorgeschlagen, das Multicast-Verfahren abzuändern. Statt Informationen über die Mitgliedschaft von Atomen im ganzen Netz zu verteilen, werden sie nur regional vorgehalten. Die vorgeschlagene hierarchische Adressvergabe erlaubt dabei, die Pakete dennoch den entsprechenden Gruppen zuzustellen, wenn auch mit mehr Aufwand. Weiteres Problem besteht allgemein in der *Verfügbarkeit von Multicast IP*.

#### **14.5.4 Geografische Adressierung mit Domain Name Service**

##### **Domain Name Server**

Weiterer Ansatz zur geografischen Adressierung: Verfahren mit Hilfe von DNS (Domain Name Service). DNS-Server erlauben im Internet eine Zuordnung von symbolischen Namen zu zugehörigen IP-Adressen (decimal dotted notation). Zusätzlich zur IP-Adresse können weitere Informationen zu einem Rechner hinterlegt und abgefragt werden. So im RFC 1712 vorgeschlagen, geographische Koordinaten zu Rechnern und Domain Name Servern zu hinterlegen ~> Informationen können von allen bisher vorgestellten Verfahren zur geographischen Adressierung genutzt werden.

##### **Geographische Adressen**

Eine andere Möglichkeit ist, neue Namen zu definieren und mit geographischen Adressen zu verknüpfen. So könnte die Adresse *Informatik.Uni.Leipzig.Sachsen.Deutschland.geo* alle Rechner des Instituts für Informatik der Universität Leipzig adressieren.

Das hierarchische Namenskonzept des Internets bietet sich prinzipiell dafür an, statt Netzwerkdomänen auch geographische Domänen zu verwenden. Der Ansatz der geografischen Adressen verursacht jedoch im Detail *einige Probleme*. Bisher erhält man bei jeder Abfrage bei einem Domain Name Service genau eine IP-Adresse. Der DNS-Dienst müsste so abgeändert werden, dass man eine *Liste von IP-Adressen* erhält. Dies wirkt sich auch auf alle bisherigen Internet-Anwendungen aus, da diese nur eine Adresse als Rückgabewert erwarten. Zusätzlich ist unklar, wie die *Zuordnung von geographischer Domäne* zu den entsprechenden Rechneradressen erfolgen soll. In einem lokalen Netz ist immer definiert, welcher Rechner der Domain Name Server ist. Entweder ist diese Information fest konfiguriert oder ein Rechner erhält diese Information durch eine DHCP-Anfrage. Im Gegensatz zu Netzwerkdomänen haben jedoch die Rechner einer geografischen Domäne nicht unbedingt gemeinsame Adresspräfixe, d.h., Rechner einer geographischen Domäne befinden sich nicht notwendigerweise im selben Subnetz. Damit kann nicht mehr auf einfache Weise ein (geographischer) Domain Name Server ermittelt werden.

## 15 Abbildungsverzeichnis (Teil 2)

Abbildung 7.1: Kommunikationssystem (Blockdiagramm) .....	5
Abbildung 7.2: Digitales Kommunikationssystem (Blockdiagramm) .....	7
Abbildung 7.3: Frequenzbereich der Drahtleitungskanäle .....	9
Abbildung 7.4: Frequenzbereiche drahtloser elektromagnetischer Kanäle .....	10
Abbildung 7.5: Funkübertragungsstrecke Sender – Empfänger .....	12
Abbildung 7.6: Ausbreitung und Reichweite elektromagnetischer Wellen .....	12
Abbildung 7.7: Leistungsflussdichte F eines isotropen Strahlers .....	13
Abbildung 7.8: Dämpfung aufgrund von Wettereinflüssen .....	13
Abbildung 7.9: Modell der Zweiwegeausbreitung .....	14
Abbildung 7.10: Mehrwegeausbreitung .....	15
Abbildung 7.11: Reflexion an einer Schicht .....	15
Abbildung 7.12: Frequenzmultiplexverfahren FDM .....	17
Abbildung 7.13: Zeitmultiplexverfahren TDM .....	18
Abbildung 7.14: Codemultiplexverfahren CDM .....	18
Abbildung 7.15: Frequency Hopping (Spreiztechnik) .....	20
Abbildung 7.16: Unterteilung der Kanalvergabeverfahren .....	21
Abbildung 8.1: Aufbau Zellularfunknetz (GSM) .....	24
Abbildung 8.2: GSM-Trägerdienste (Faltungscoder) .....	27
Abbildung 8.3: Funktionelle Architektur eines GSM-MFN .....	30
Abbildung 8.4: Betreiberteilsystem (OSS) .....	33
Abbildung 8.5: Frequenzbänder in GSM .....	34
Abbildung 8.6: Aufbau TDMA-Rahmen .....	35
Abbildung 8.7: Burstarten in GSM .....	35
Abbildung 8.8: Frequency Hopping .....	36
Abbildung 8.9: Signalisierungsprotokolle (Schicht 2) .....	37
Abbildung 8.10: Signalisierungsprotokolle (Schicht 3) .....	38
Abbildung 8.11: Location-Update Algorithmus .....	41
Abbildung 8.12: Nummernstruktur (Roaming) .....	41
Abbildung 8.13: Nummerierungsplan (Roaming) .....	42
Abbildung 8.14: Tele- und Trägerdienste .....	43
Abbildung 8.15: Kurznachrichtendienst SMS .....	44
Abbildung 8.16: Telefax-Dienst (Adapter und Interworking) .....	45
Abbildung 8.17: Voice Broadcast Service .....	47
Abbildung 8.18: Architektur HSCSD .....	48
Abbildung 8.19: GSM/GPRS-Netz (Leitungs- und Paketvermittlungsdienst) .....	50
Abbildung 8.20: Logische Architektur GPRS .....	52
Abbildung 8.21: Routing in GPRS (Beispiel) .....	52
Abbildung 8.22: Protokollstapel GPRS .....	53
Abbildung 8.23: GPRS Protokolle an Funkschnittstelle .....	54
Abbildung 8.24: GSM/GPRS-Protokolle an Funkschnittstelle (Überblick) .....	54
Abbildung 8.25: Teilnehmer-Authentisierung in GSM .....	57
Abbildung 8.26: Verschlüsselung .....	57
Abbildung 8.27: Architektur DCS1800-System .....	59
Abbildung 8.28: EDGE-Architektur .....	61
Abbildung 8.29: TFTS Zellulernetz .....	61
Abbildung 8.30: Rahmen und Zeitslitze im TFTS .....	62
Abbildung 8.31: Architektur TFTS-Netz .....	63
Abbildung 8.32: Architektur des USDC-Systems .....	64
Abbildung 8.33: Architektur des PDC-Systems .....	65



Abbildung 9.1: Supportdienste und Teledienste .....	67
Abbildung 9.2: Zusammenwirken von UMTS und GSM .....	67
Abbildung 9.3: Frequenzspektrum für IMT-2000 (incl. MFN 2G) .....	68
Abbildung 9.4: UMTS-Spezifikationen .....	69
Abbildung 9.5: Schema eines UMTS-Netzes .....	73
Abbildung 9.6: Access-/Non-Access Stratum und SAP .....	74
Abbildung 9.7: Architektur UMTS-Netz mit UTRAN-Zugangsnetz .....	75
Abbildung 9.8: Schichtenarchitektur für Anrufe im leitungsvermittelten Modus .....	75
Abbildung 9.9: Schichtenarchitektur der Packet-Switched Domain .....	76
Abbildung 9.10: Aufteilung der Kernnetz-Komponenten auf Domains .....	76
Abbildung 9.11: Schema des Zugangsnetzes .....	78
Abbildung 9.12: Logisches Modell des NodeB .....	78
Abbildung 9.13: Zellenarchitektur UMTS-Netz (Vodafone) .....	81
Abbildung 9.14: Global Multimedia Mobility (GMM) .....	83
Abbildung 9.15: UMTS Domains .....	84
Abbildung 9.16: Zugangsebene mit UTRAN .....	84
Abbildung 9.17: Architektur Zugangsebene und Kernnetz .....	86
Abbildung 9.18: Protokollstapel am Bezugspunkt $U_u$ .....	87
Abbildung 9.19: Struktur der RRC-Schicht .....	91
Abbildung 10.1: Protokolle für WLAN (MAC) .....	93
Abbildung 10.2: Frequenzzuweisungen für WLAN und HIPERLAN .....	94
Abbildung 10.3: Protokollarchitektur von IEEE 802.11 .....	94
Abbildung 10.4: WLAN-Infrastrukturnetz mit Access Points .....	95
Abbildung 10.5: WLAN Service Sets .....	95
Abbildung 10.6: Verwendete Frequenzen von FHSS .....	96
Abbildung 10.7: Format eines FHSS-Frames .....	97
Abbildung 10.8: Aufbau eines DSSS-Frames .....	97
Abbildung 10.9: Hidden-Terminal-Problem .....	98
Abbildung 10.10: Protokollarchitektur HIPERLAN/1 .....	102
Abbildung 10.11: Referenzmodell HIPERLAN/2 .....	103
Abbildung 10.12: Verbindung HIPERLAN/2 und Core Network .....	104
Abbildung 10.13: Wireless-ATM Szenarien .....	105
Abbildung 10.14: HomeRF Protokollstapel .....	106
Abbildung 10.15: HomeRF Übertragung verschiedener Kanalarten .....	106
Abbildung 11.1: IrDA-Protokollstapel .....	109
Abbildung 11.2: Aufgaben der IrDA-Protokollschichten .....	110
Abbildung 11.3: IrDA Bitübertragungsschicht .....	110
Abbildung 11.4: Verbindungsaufbau und Stromsparmodi .....	113
Abbildung 11.5: Protokollstapel Bluetooth .....	114
Abbildung 11.6: Anschlusskonfiguration (Beispiel T-DSL) .....	119
Abbildung 12.1: OBEX und IrDA-Protokollhierarchie .....	122
Abbildung 12.2: SyncML Protokollaufbau .....	124
Abbildung 12.3: SyncML Infrastruktur .....	125
Abbildung 12.4: WAP Gateway .....	127
Abbildung 12.5: WAP Infrastruktur .....	128
Abbildung 12.6: WAE/WAP Protocol Stack .....	128
Abbildung 12.7: WTLS (Wireless Transport Layer Security) .....	130
Abbildung 12.8: i-Mode Infrastruktur .....	133
Abbildung 12.9: Anzeige einer i-Mode-Seite (Beispiel) .....	134
Abbildung 13.1: Aufbau Satellitenkommunikationssysteme .....	135
Abbildung 13.2: Geostationärer Orbit .....	135

Abbildung 13.3: Satellitenübertragungssystem.....	137
Abbildung 14.1: Systeme zur Positionsbestimmung.....	141
Abbildung 14.2: Positionsbestimmung mit 3 Satelliten.....	142
Abbildung 14.3: Zwei Schnittpunkte bei 3 Satelliten .....	142
Abbildung 14.4: Umlaufbahnen der GPS-Satelliten .....	143
Abbildung 14.5: Messung Signallaufzeiten mit PRN .....	144
Abbildung 14.6: GPS Segmente.....	145
Abbildung 14.7: Differential GPS (DGPS).....	146
Abbildung 14.8: Wide Area Augmentation System (WAAS).....	147
Abbildung 14.9: Active Badge System .....	149
Abbildung 14.10: Wireless Indoor Positioning System (WIPS).....	150
Abbildung 14.11: SpotON-System .....	150
Abbildung 14.12: Active Bat System.....	151
Abbildung 14.13: Cricket-System.....	152
Abbildung 14.14: Verfahren im Mobile Positioning System (MPS).....	153
Abbildung 14.15: Architektur Mobile Positioning System (MPS).....	154
Abbildung 14.16: Microsoft Nibble (Positionsmessung auf WLAN-Struktur).....	155
Abbildung 14.17: Komponenten des Geo-Routing.....	157
Abbildung 14.18: Hierarchisches Routing im Geo-Routing (Nibble-System) .....	157
Abbildung 14.19: Multicasting (Beispiel).....	158

## 16 Literaturverzeichnis

### *Allgemein*

- Borghoff, U.M.; Schlichter, J.H.: Rechnergestützte Gruppenarbeit - Eine Einführung in Verteilte Anwendungen. Springer, 1995
- Hase, H.-L.: Dynamische Virtuelle Welten mit VRML 2.0. Einführung, Programme und Referenz. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 1997
- Steinmetz, R.: Multimedia-Technologie. Springer-Verlag, 2. Auflage, 1999

### *Telekommunikation und Teledienste*

- Braun, T.; Zitterbart, M.: Hochleistungskommunikation, Bd. I und II. Oldenburg, 1996
- Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.: Verteilte Systeme. Konzepte und Design. Addison Wesley & Pearson Studium, 2002
- Häckelmann, H.; Petzold, H. J.; Strahinger, S.: Kommunikationssysteme – Technik und Anwendungen. Springer-Verlag, 2000
- Peterson, L. L.; Davie, B. S.: Computernetze (Lehrbuch). dpunkt, Heidelberg, 2000
- Tanenbaum, A. S.: Computer-Netzwerke. Prentice-Hall, München, 1996

### *Mobilkommunikation und Mobile Computing*

- Biala, J.: Mobilfunk und Intelligente Netze. Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1994
- Davies, P.T.; McGuffin, C.R.: Wireless Local Area Networks. McGraw-Hill, N.Y., 1995
- Diehl, N.; Held, A.: Mobile Computing. Systeme, Kommunikation, Anwendungen. Thomson's Aktuelle Tutorien (TAT 3). Int. Thomson Publishing, 1995
- Dornan, A.: The Essential Guide to Wireless Communications Applications. From Cellular Systems to WAP and M-Commerce. Prentice Hall PTR, 2001
- Garg, V.; Wilkes, J.E.: Wireless and Personal Communication Systems. Prentice Hall, 1996
- Lescuyer, P.: UMTS. Grundlagen, Architektur und Standard. dpunkt, Heidelberg, 2002
- Proakis, J.G.; Salehi, M.: Grundlagen der Kommunikationstechnik. Pearson Studium, 2004
- Roth, J.: Mobile Computing - Grundlagen, Technik, Konzepte. dpunkt, Heidelberg, 2002
- Schiller, J.: Mobilkommunikation. Techniken für das allgegenwärtige Internet. Addison-Wesley, 2000
- Walke, B.: Mobilfunknetze und ihre Protokolle, Bd. 1/2. Teubner-Verlag, 2000