

3.3 Mobilfunknetze

- Gründe für Boom der Mobiltelefonie
 - Auflösung des Monopols der Bundespost im Jahre 2001
 - Jetzt: T-Mobile, Vodafone, E-Plus, O2
 - Mobile Endgeräte immer kleiner und billiger
 - GSM international etablierter Standard
 - Endgeräte international vermarktbar, daher Preisverfall
 - Mobiltelefonie über Ländergrenzen hinweg möglich

3.3 Mobilfunknetze

- Entwicklung der Mobilfunknetze

Netz	Betreiber	Zeitraum	Eigenschaften	Frequenz	Nutzer (Jahr)
A	Bundespost	1958-1977	Analog, handvermittelt	150 MHz	10.000 (1970)
B	Bundespost	1972-1994	Analog, Selbstwahl	150 MHz	27.000 (1986)
C	Bundespost	1986-2001	Analog, zellular	450 MHz	800.000 (1992)
D1	Telekom/T-Mobile	Ab 1992	Digital, GSM 900	900 MHz	26,3 Mio. (2003)
D2	Vodafone	Ab 1992			24,6 Mio. (2003)
E1	E-Plus	Ab 1994	Digital, DCS 1800	1800 MHz	8,2 Mio. (2003)
E2	O2	Ab 1998			5,6 Mio. (2003)

Mobilfunk der ersten Generation

Mobilfunk der zweiten Generation

3.3 Mobilfunknetze

- Entwicklung der Mobilfunknetze
 - Erste Generation
Analoge Technik, nur für Sprache geeignet und mit sehr begrenzter Netzkapazität.
 - Zweite Generation
Digitale Technik für Sprach- und Datenübertragung. Die Netzkapazität erlaubt den Masseneinsatz. Die bekanntesten Standards sind GSM, CDMA, TDMA.
 - Zweieinhalbte Generation
Die Zweite Generation mit verbesserter Paketdatenübermittlung, zum Beispiel GPRS.
 - Dritte Generation
Optimiert für höhere Datenübertragungsraten. Bekannte Standards sind WCDMA oder UMTS, CDMA2000. Erlaubt unter anderem Videotelefonie.
 - Vierte Generation
Noch höhere Datenübertragungsraten, IP wird bis zum Endgerät für Sprachübertragung genutzt.

3.3.1 Zellulare Netze

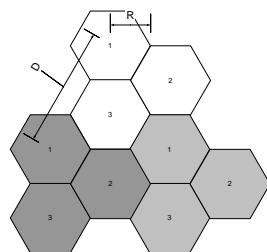
- Problem: drahtloses Netz für große Flächenabdeckung
 - Wirkung elektromagnetischer Wellen reduziert sich in Idealumgebung mit Quadrat des Abstands (z.B. Abstand verdoppelt, Wirkung geviertelt)
 - In Realumgebung sogar Reduktion um vierte Potenz (z.B. Abstand verdoppelt, Wirkung um ein Sechzehntel niedriger)
 - Naheliegende Lösung: große Sendeleistung
 - Widerspricht allerdings kleinen mobilen Endgeräten

3.3.1 Zellulare Netze

- Praktizierte Lösung: Zellulare Mobilfunknetze
 - Fläche wird lückenlos in Zellen aufgeteilt
 - Variation der Größe (z.B. Stadt oder Land)
 - Pro Zelle eine stationäre Sende-/Empfangsstation (Basisstation)
- + Distanz bis zur nächsten Basisstation gering (D-Netz max. 35 km, E-Netz max. 8 km)
- + Verschiedene Zellen können die gleichen Frequenzen nutzen
- Kostenintensiv, da viele Basisstationen notwendig
 - D-Netz-Infrastruktur: 4.5 Mrd DM
 - E-Netz-Infrastruktur: 7.5 Mrd DM
 - 39.000 Basisstationen für D1 (Jahr 2000)

3.3.1 Zellulare Netze

- Zellulare Mobilfunknetze



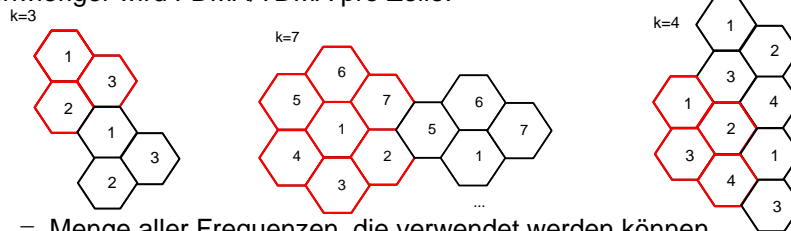
•Cluster: Menge räumlich zusammenhängender Zellen, die alle zur Verfügung stehenden Frequenzen nutzen

•Die Distanz D zwischen zwei Basisstationen mit der gleichen Frequenz sollte zur Vermeidung von Störungen möglichst groß sein

•Richtformel: $D = R * \sqrt{3k}$
k Anzahl der Zellen pro Cluster
R Radius einer Zelle

3.3.1 Zellulare Netze

- Zur optimalen Verteilung der vorhandenen Frequenzen auf Basisstationen werden angrenzende Zellen mit unterschiedlichen Frequenzen ausgestattet.
- Je mehr Frequenzen, desto weiter entfernt sind Basisstationen mit gleicher Frequenz.
- Je mehr Frequenzen, desto enger liegen diese beieinander und desto schwieriger wird FDMA/TDMA pro Zelle.



- F_{ges} = Menge aller Frequenzen, die verwendet werden können.
- Eine Zelle mit der Nr. i verwendet Menge von Frequenzen F_i , wobei $F_i \subset F_{ges}$ mit $F_i \cap F_j = \{ \}$ für $i \neq j$.

3.3.1 Zellulare Netze

- Zellen seien mit $i \in \{1, \dots, k\}$ nummeriert.
- Satz von Frequenzen $F_i \subset F_{ges}$ (Menge aller einsetzbaren Frequenzen)
- F_i bezeichne die Menge der Frequenzen, die in Zelle i eingesetzt werden.

- $F_i \cap F_j = \{ \}$

- $\bigcup_{i=1}^k F_i = F_{ges}$

3.3.1 Zellulare Netze

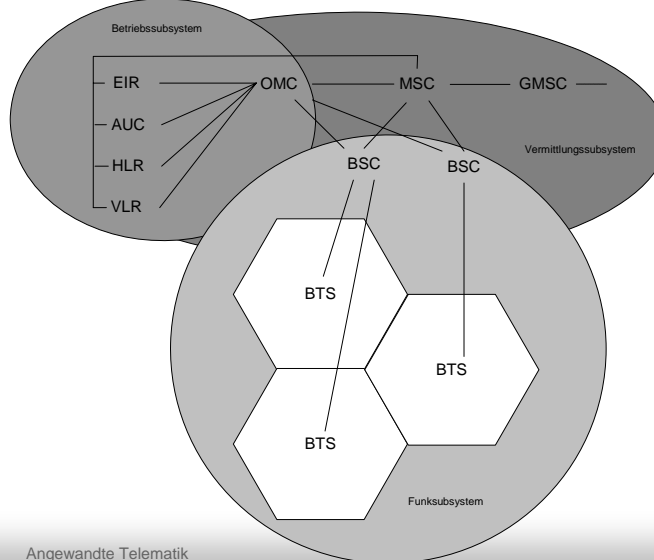
- $\bigcup_{i=1}^k F_i = F_{ges}$
- Räumlich zusammenhängende Zellen, die alle Frequenzen F_{ges} nutzen, nennt man Cluster.
- D gibt den Abstand zwischen 2 Basisstationen an, die dieselbe Frequenz verwenden.
- k sei Clustergröße, R Zellradius.
$$D = R \cdot \sqrt{3k}$$
- Zu beachten bei Netzkonzeption:
 - D muss hinreichend groß sein um Störungen zu vermeiden
 - Großes D reduziert die Frequenzen, die auf eine Basisstation entfallen
- => beide Aspekte wirken entgegengesetzt
- Berechnungen für das GSM-Netz ergaben eine optimale Clustergröße von $k=7$ (siehe vorherige Folien)

3.3.2 GSM

- GSM (Global System for Communication)
 - Ziel: Errichtung eines europäischen digitalen Mobilfunkstandards
 - Einführung 1992
 - Dienste: Sprachübertragung, SMS (Short Message Service), WAP (Wireless Application Protocol)
- Subsysteme
 - Betriebssystem: Administration und Kontrolle des Netzwerks
 - Vermittlungssystem: Vermittlung von Nutzdaten innerhalb des Netzes, Anbindung an andere Netze
 - Funkssystem: Anbindung von Mobilfunkteilnehmern an das Netzwerk

3.3.2 GSM

- GSM (Global System for Communication) - Architektur



- BTS: Base Transceiver Station
- BSC: Base Station Controller
- MSC: Mobile Switching Center
- GMSC: Gateway MSC
- OMC: Operation And Maintenance Center
- EIR: Equipment Identifier Register
- AUC: Authentication Center
- HLR: Home Location Register
- VLR: Visitors Location Register

3.3.2 GSM

- GSM (Global System for Communication)

- Handover
 - Bei Bewegung des Teilnehmers von einer Zelle zur nächsten wird ohne Unterbrechung der Verbindung Verantwortung zur jeweils nächsten Basisstation übergeben
 - Aber: Handover zwischen Zellen verschiedener Mobilfunkbetreiber ist nicht möglich
- Intracell Handover
 - Innerhalb einer Zelle wird aufgrund der Signalqualität auf andere Frequenz umgeschaltet
- Intercell Handover
 - Zelle und Frequenz wird gewechselt, Umschaltung auf neue Basisstation
 - Internes Handover
 - Wechsel zwischen Zellen eines Base Station Controller
 - Externes Handover
 - Wechsel zwischen Zellen verschiedener Base Station Controller

3.3.2 GSM

- GSM (Global System for Communication)
 - Roaming
 - Teilnehmer kann von beliebigen Orten anrufen und angerufen werden
 - Teilnehmer kann unter derselben Nummer auch Netze nutzen, mit denen er keinen Vertrag hat
 - Black/White/Grey Listening
 - White: Liste aller registrierten Gerätenummern
 - Black: Nicht zu verwendende Gerätenummern (gestohlen, gesperrt)
 - Grey: Veraltet, Fehleranfällig

3.3.2 GSM

- Weiterentwicklungen von GSM
 - Sogenannte zweieinhalbte Mobilfunkgeneration (auch 2+)
 - Grund: höhere Datenraten gewünscht
 - HSCSD (High Speed Circuit Switched Devices)
 - Höhere Datenrate (14,4 kbit/s statt 9,6 kbit/s pro Kanal) durch bessere Codierung
 - Theoretisch Übertragungsgeschwindigkeiten bis zu etwa 115,2 kBit/s ($= 8 * 14,4 \text{ kbit/s}$) durch Bündelung mehrerer Datenkanäle
 - Praktisch aus technischen Gründen jedoch nur (4 x 14,4 kBits/s) 57,6 kBits/s.
 - Leitungsvermittelnd, daher teuer
 - Neue Geräte erforderlich, keine Änderung der Infrastruktur

3.3.2 GSM

- Weiterentwicklungen von GSM
 - GPRS (General Packet Radio Service)
 - Paketvermittelnd, daher ökonomischer
 - Theoretisch Übertragungsgeschwindigkeiten: bis 171,2 kBit/s
 - Praktisch aus technischen Gründen jedoch nur 53,6 kBits/s.
 - Always-on-Betrieb
 - virtuell dauerhafte Verbindung zur Gegenstelle
 - Infrastruktur nur beim Senden genutzt
 - GPRS-Abrechnungen abhängig von den übertragenen Datenmengen, nicht primär von der Verbindungsdauer
 - Neue Geräte erforderlich, weitreichende Änderung der Infrastruktur, da GSM leitungsvermittelnd

3.3.2 GSM

- Weiterentwicklungen von GSM
 - EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)
 - Neues Modulationsverfahren erlaubt 59,2 kBit/s pro Kanal, also 473,6 kBit/s bei 8 Kanälen
 - Passt sich dynamisch an Übertragungsqualität an
 - Höhere Qualität, höhere Übertragungsrate
 - Nutzung alter Modulationsverfahren
 - Kombination mit HSCD (\Rightarrow ECSD) und GPRS (\Rightarrow EGPRS)
 - Neue Geräte erforderlich, weitreichende Änderung der Infrastruktur

3.3.3 UMTS

- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
 - Mobilfunkstandard der 3. Generation, Netz im Aufbau befindlich
 - Ziele
 - Verschiedene Varianten des Funkzugangs (Schnurlos, zellular, Satellit)
 - Neben Sprachübertragung insbesondere Datenübertragung bis 2 Mbit/s (z.B. mobile Multimedia-Anwendungen)
 - Konfiguration von Verbindungen z.B. bzgl.
 - verschiedener Dienstgüte-Eigenschaften
 - Paket-, Leitungsvermittlung
 - Asymmetrischer Datenverkehr
 - Zugang zu Netzwerken wie ISDN, TCP/IP
 - Virtual Home Environment (VHE), d.h. Zugriff auf Dienste ungeachtet der aktuellen Lokation
 - Roaming, Handover zu Systemen der 2. Generation (GSM)

3.3.3 UMTS

- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
 - Verbreitung

There are 600+ Mobile Operators in the world today
 Concentration: 20 largest operators ~65% of subscriptions
 10 largest operators ~51% “ “

June 2003 (EMC)

10 largest Operators	Subscriptions (million), *50% or more - majority owned			
China Mobile	150.1	GSM	⇒	UMTS/WCDMA
Vodafone	90.2	GSM	⇒	UMTS/ WCDMA
China Unicom	79.8	GSM/CDMA	⇒	to be confirmed
T-Mobile	63.8	GSM	⇒	UMTS/ WCDMA
Orange	42.0	GSM	⇒	UMTS/ WCDMA
NTT DoCoMo	50.1	PDC	⇒	UMTS/ WCDMA
TIM	21.0	GSM	⇒	UMTS/ WCDMA
Verizon Wireless	34.1	CDMA	⇒	CDMA2000
Telefonica	23.0	GSM	⇒	UMTS/ WCDMA
Cingular Wireless	22.1	GSM/TDMA	⇒	UMTS/ WCDMA

Aus: The Future of UMTS, Steve Hearnden, UMTS-Forum, 2004, http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/MultiMedia_Presentations_future-of-umts.pdf

3.3.3 UMTS

- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
 - Übertragungsraten

Service Data Volume	Transfer Time					
	2nd Generation GSM - GPRS		Fixed PSTN / ISDN ≤ 64 kbps	3rd Generation UMTS		
	9,6 kbps	50 kbps		128 kbps	384 kbps	2 Mbps
E-mail 5 kbyte	8 s	1,7 s	1,6 s	1,2 s	0,5 s	<0,5s
SMS with photogr. 5 kbyte (JPEG 2000)	8 s	1,7 s	1,6 s	1,2 s	0,5 s	<0,5s
Web page 20 kbyte	20 s	4,5 s	4 s	2,4 s	0,8 s	<0,5s
Document 100 kbyte	2 min	35 s	25 s	12 s	4 s	<1s
3 min Audio CD 2 Mbyte MP3	40 min	9 min	6,5 min	3 min	... ¹⁾	... ¹⁾
10s Videoclip 600 kbyte MPEG4	10 min	2,5 min	1,5 min	45 s	15 s ²⁾	

User acceptance

¹⁾ Optimal CD Quality
Streaming = 128 kbps
²⁾ Videostreaming

Aus: The Future of UMTS, Steve Hearnden, UMTS-Forum, 2004, http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/MultiMedia_Presentations_future-of-umts.pdf

3.3.3 UMTS

- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
 - Flächenabdeckung durch verschiedene Zelltypen
 - Geschwindigkeitsbeschränkungen wegen des Doppler-Effekts (bei Bewegungen Frequenzverschiebungen, die nur bis zu einem gewissen Maß toleriert werden können)

Zelltyp	Größe	Geschwindigkeit	Datenrate
Piko	<50m	<10 kmh	<2 Mbit/s
Mikro	<Einige Kilometer	<120 kmh	<384 kBit/s
Makro	<einige 10 Kilometer	<500 kmh	<144 kBit/s
Satellit	größer	<1000 kmh	<144-384 kBit/s