

# Kapitel 7    Drahtlose Datenübertragung und Mobilkommunikation

7.1	Grundlegende Eigenschaften von Netzen zur Mobilkommunikation	6
7.2	Lokale Mobilkommunikation	8
7.2.1	Schnurloses Telefon – DECT	8
7.2.2	Wireless LANs (WLANs) – Drahtlose lokale Netze	10
7.3	Multi-hop Ad-hoc Netze (MANETs)	26
7.4	Zellulare Weitverkehrsnetze	30
7.4.1	GSM – Global System for Mobile Communications	32
7.4.2	Bündelfunk	42
7.4.3	Paging	46
7.4.4	Exkurs: Zukünftige Techniken	49
7.5	Satellitenkommunikation	54

# ... zur Einstimmung :

01.09.2009

**Prognose:**

**Zahl der mobilen Internetuser verdreifacht sich**

Von: Philipp Deutscher



Der Krise zum Trotz soll es in den nächsten fünf Jahren innerhalb Europas zu einer Verdreifachung der Zahl der mobilen Internetuser kommen.

*Zu dieser Erkenntnis gelangt Forrester Research*

*... und die tatsächlichen Zahlen für Europa laut Studie aus dem Jahr 2010:*

Die Studie zur mobilen Internetnutzung, die auf den Erkenntnissen der **2010 EIAA Mediascope Europe Studie** zum Konsum digitaler Medien basiert, stellt heraus, dass inzwischen 14 % aller Europäer wöchentlich mit ihrem Mobiltelefon auf das Internet zugreifen. In Großbritannien und Schweden liegt die Zahl sogar bei 20 % und in der Türkei nutzen mit 21 % der Bevölkerung sogar mehr Menschen das Internet mobil als über PC oder Laptop (20 %). In den europäischen Schwellenmärkten wächst die mobile Internetnutzung besonders schnell und wird vor allem von jüngeren Zielgruppen vorangetrieben, mit 24 % aller 16- bis 24-Jährigen und 21 % aller 25- bis 34-Jährigen.

# ... und neuere Zahlen (für D):

**Anteil der Nutzer des mobilen Internets via Smartphone in Deutschland** in den Jahren 2008 bis 2013; siehe **statista – Das Statistik-Portal**

2008 : 13%

2009 : 18%

2010 : 17%

2011 : 28%

2012 : 50%

**2013 : 70%**

Die vorliegende Statistik zeigt die mobile Internetnutzung über Smartphone in Deutschland. Im Jahr 2011 nutzten 28 Prozent der Internetnutzer das mobile Internet über Smartphones.

19.02.2013 15:28

## **Studie: Mobile Internet-Nutzung legt in Deutschland weiter zu**



Immer mehr Menschen gehen in Deutschland mobil ins Internet. Die Nutzung habe in diesem Jahr im Vergleich zum Vorjahr um 13 Prozentpunkte auf *40 Prozent der Bevölkerung* zugelegt, teilte die Initiative D21 am Dienstag in Berlin mit. Derzeit besäßen *37 Prozent der in Deutschland lebenden Bürger* ein Smartphone (24 Prozent im Vorjahr); 13 Prozent hätten ein Tablet (2012 waren es noch fünf Prozent). Und *53 Prozent aller Internetnutzer* gingen heute *auch mobil ins Netz*.

→ siehe: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Studie-Mobile-Internet-Nutzung-legt-in-Deutschland-weiter-zu-1806052.html>

# 7. Drahtlose Datenübertragung und Mobilkommunikation

## ➤ *Mobilkommunikation* :

Kommunikation zwischen mobilen Netzteilnehmern (Benutzern/Personen oder Endgeräten).

→ zu unterscheiden : **Benutzer-** versus **Gerätemobilität**  
 [... und *überdies*: **Dienst-** und **Sitzungsmobilität**, vgl. A. Küpper et al. in Zeitschrift PIK, Juni 2004, S. 68-73]



*nota bene* :

- Mobilkommunikation  $\nrightarrow$  drahtlose DÜ  
*Bsp.:* mit Laptop oder Notebook mobil zur nächsten  
 “Kommunikationssteckdose” (Festnetzanschluss)
- drahtlose DÜ  $\nrightarrow$  Mobilkommunikation  
*Bsp.:* Funkübertragung, z.B. Richtfunk, zwischen  
 stationären Endsystemen

**Primärliteratur** : [Gli 06], [KMK 08], [KrR 02, Kap.12], [Sch03] , [Rec08] sowie  
 [Wal 02]

# Historie → einige “High-lights” :

- 1958: erste Mobilfunknetze mit Verbindung zu Tel.- Festnetz, u.a. (analoges) **A-Netz** in BRD
- 1972: (analoges) **B-Netz**
- 1981: **C-Netz** (analoge DÜ, digitale Signalisierung)
- 1987: **GSM** (**G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications)-Standard
- 1992: **DECT** (**D**igital **E**uropean **C**ordless **T**elephony; *später*: **D**igital **E**nhanced **C**ordless **T**elecommunications)-Standard  
→ schnurloses Fernsprechen
- 1992: **D1-Netz** (Deutsche Telekom) und **D2-Netz** (Mannesmann) nach GSM-Standard in BRD
- 1993: **MODACOM** (**M**obile **D**ata **C**ommunication) der DeTeMobil (heute: T-Mobile) → paketerient. Datenfunk-Dienst (bis 2002)
- 1998-
- 2000: **Iridium** (**LEOs** – **L**ow **E**arth **O**rbiter) für Satellitenkommunikation  
→ Irrweg ?!
- 2000: nur noch Polargebiete ohne Mobilfunknetzzugang
- 2000: Versteigerung **UMTS** - Lizenzen (**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem); Ende 2011 betreiberübergreifend ca. 74% von Mobilfunknetzen in BRD durch UMTS oder HSDPA abgedeckt [hsdpa-umts-verfuegbarkeit.de]
- 2012: Erwartung: bis 2015-2017 nahezu vollständige Flächendeckung in BRD (95-99%) durch **LTE** (**L**ong **T**erm **E**volution)

## Neues Turbo-WLAN im Gigabit-Bereich

24.08.2012, 17:57 Uhr | Thomas Joos

*Netzwerke können nicht schnell genug sein. Auch im Privatbereich müssen Anwender immer größere Daten im WLAN-Netz übertragen, vor allem um Unterhaltungsgeräte und Mediacenter-PCs anzubinden. Hier hilft der neue schnelle WLAN-Standard 802.11ac.*

Laut Netzwerkspezialist Cisco sollen die ersten Netzwerkkarten im 2,4 GHz-Band bis zu 450 MBit/s übertragen, im 5 GHz-Band bis zu 1.300 Mbit/s. Die neuen Geräte sollen dabei auch abwärtskompatibel sein und die Formate 802.11 a/b/g und n unterstützen.

### **Mit 802.11ac Daten im Netzwerk übertragen**

Ab Ende 2012 sollen die ersten Geräte verfügbar sein, die 802.11ac beherrschen. Manche Hersteller verwenden als Bezeichnung auch 5G Wifi oder 5G VHT. Parallel liest man derzeit oft von 802.11-2012. Allerdings ist 802.11-2012 eine Erweiterung von 802.11 a/b/g/n und hat nichts mit 802.11ac zu tun. Diese erhalten neue Frequenzbänder, zum Beispiel zwischen 3.650 und 3.700 MHz, auch 3.7-GHz-Band genannt. Dieses läuft aber parallel zu 802.11ac und ist deutlich langsamer. Geräte sind aktuell noch keine am Markt. 802.11ac spielt seine volle Geschwindigkeit nur im 5 GHz-Band aus. Aus diesem Grund macht der Einsatz nur dann Sinn, wenn WLAN-Router und Netzwerkkarte das auch beherrschen. Viele Smartphones und Tablets können das nicht, erst die neuen Geräte die 2013/2014 erscheinen.



Mit 802.11ac Multimediadateien im Netzwerk übertragen (Quelle: t-online.de)

# 7.1 Grundlegende Eigenschaften von Netzen zur Mobilkommunikation

## ➤ Merkmale:

- bei terrestr. Systemen: Teilnehmer kommunizieren per Funk mit Basisstation (ihres Versorgungsbereichs), Kommunikation zwischen Basisstationen über Festnetz,
- inzwischen nahezu ausschließlich digitale Übertragung,
- Netzsicherheit besonders problematisch,
- da verfügbarer Frequenzbereich stark limitiert → nur relativ geringe Datenrate pro Teilnehmer (zumindest bei öffentlichen Netzen),
- wegen “drahtloser DÜ” : störanfällige Übertragungen,
- Mobilfunknetze : geschlossene private oder öffentliche Netze,
- zur Zeit (2012) enorme Wachstumsraten, insbes. gültig für WLANs und bei Mobiltelefonie (→ Anzahl Mobilnetzteilnehmer > Anzahl Festnetzanschlüsse !)

➤ **typische Anwendungen in Mobilnetzen**, vgl. [HPS 00] H. Häckelmann et al.:  
**Kommunikationssysteme – Technik und Anwendungen. Springer 2000 :**

- Fernsprechen (mit ISDN - Dienstmerkmalen),
- Zahlungsverkehr über mobile Stationen,
- Steuerung und Überwachung von Fahrzeugflotten (z.B. Taxis, Schiffe, LKWs, ...),
- Kommunikation mit Datenbanken (z.B. Abruf von Kunden- daten, Börsendaten, ...),
- Austausch von Kurznachrichten (z.B. Baustellen, Feuerwehr, Rettungsdienste, *sms*-Kommunikation, ...),
- Messdatenerfassung,
- Zugriff auf mobilen WWW-Dienst, früher (vor den HTML-fähigen Mobilgeräten) insbesondere über *WAP* (*Wireless Application Protocol*),
- Austausch kleiner Dateien (z.B. Zeichnungen, Baupläne, ...),
- Mobile Computing [Sch 03],
- „location-based services“.

... *heutzutage*: Mobilgeräte oft primär als Endgeräte für den Internetzugang genutzt (Verstärkung dieses Trends ist zu erwarten)!



# 7.2 Lokale Mobilkommunikation

## 7.2.1 Schnurloses Telefon – DECT

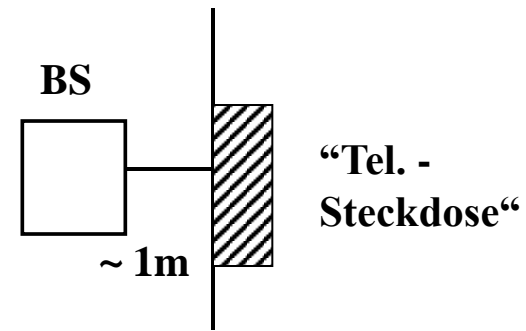
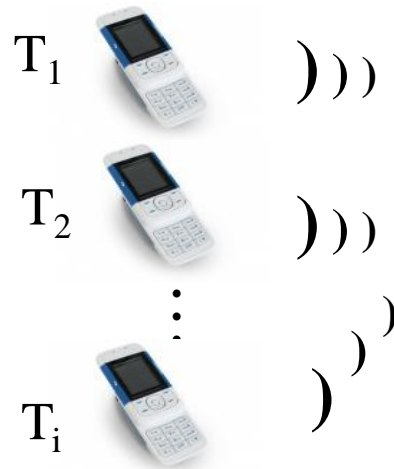
**DECT** = **D**igital **E**nhanced **C**ordless **T**elecommunications  
(früher : Digital European Cordless Telephone), vgl. [KrR 02]

Vorläufer : CT1, CT2

### ➤ Technische Daten :

- Frequenzbereich : [1880, 1900] MHz  
→ ergo : Bandbreite = 20 MHz
- Frequenzmultiplexen für  $N$  Teilnehmer ( $N = 120$ ) :
  - pro Teilnehmer :  $\leq 20\,000/120\text{ kHz} = 166.67\text{ kHz}$ ;
  - Frequenzbereich genutzt für Vollduplex-Kanal zur digitalen Sprachübertragung mit 32 kbit/s;
  - durch “Kanalbündelung” von 36 Kanälen :  
DÜ mit 1 152 kbit/s möglich;
- Sendeleistungen bis 25mW → Reichweite bis ca. 300 m  
(200 m in Gebäuden)
- relativ große Teilnehmerdichte :  $> 1\,000$  Teilnehmer pro  $\text{km}^2$   
(wegen relativ geringer Sendeleistung)
- Abhörsicherheit durch Verschlüsselung (noch CT1 nicht ganz abhörsicher);  
**ABER:** sobald mit Basisstation kommuniziert wird, die Verschlüsselung nicht unterstützt → es droht unverschlüsselte Kommunikation !!!

➤ **Konfiguration:**



**BS:** Basisstation ;       **$T_i$ :** tragbare Telefone

## 7.2.2 Wireless LANs (WLANs) – Drahtlose lokale Netze

*Infrastruktur- versus Ad-hoc-Netze :*

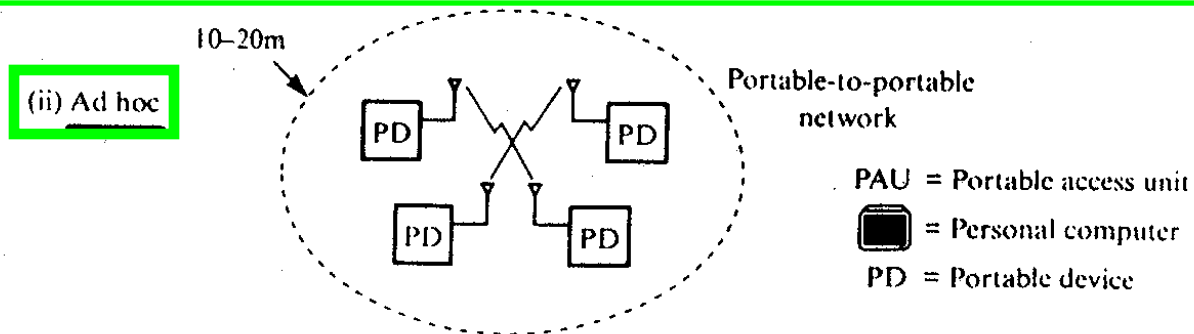
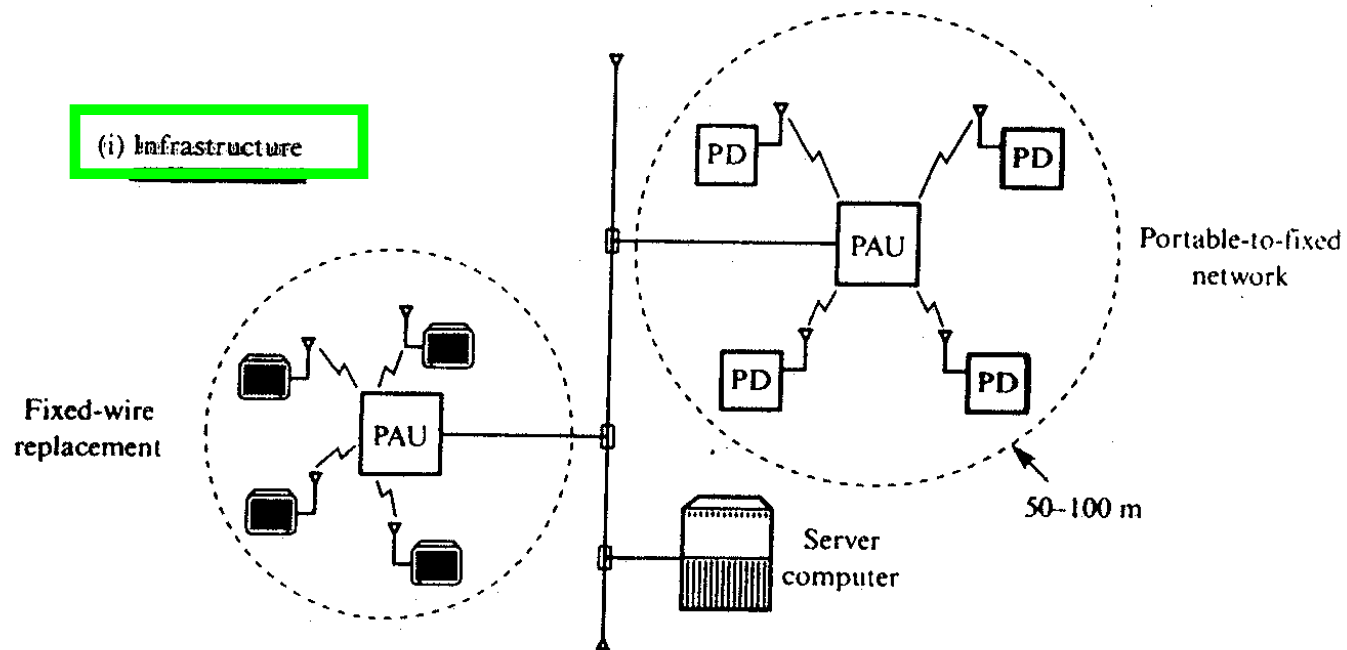
(i) **Infrastruktur-Netz :**

Wireless LAN (WLAN) gekoppelt mit LAN-Festnetz über “Access Points“ bzw. “Portable Access Units” (PAU)  
→ gesamtes LAN enthält auch nicht-mobile (stationäre) Endsysteme.

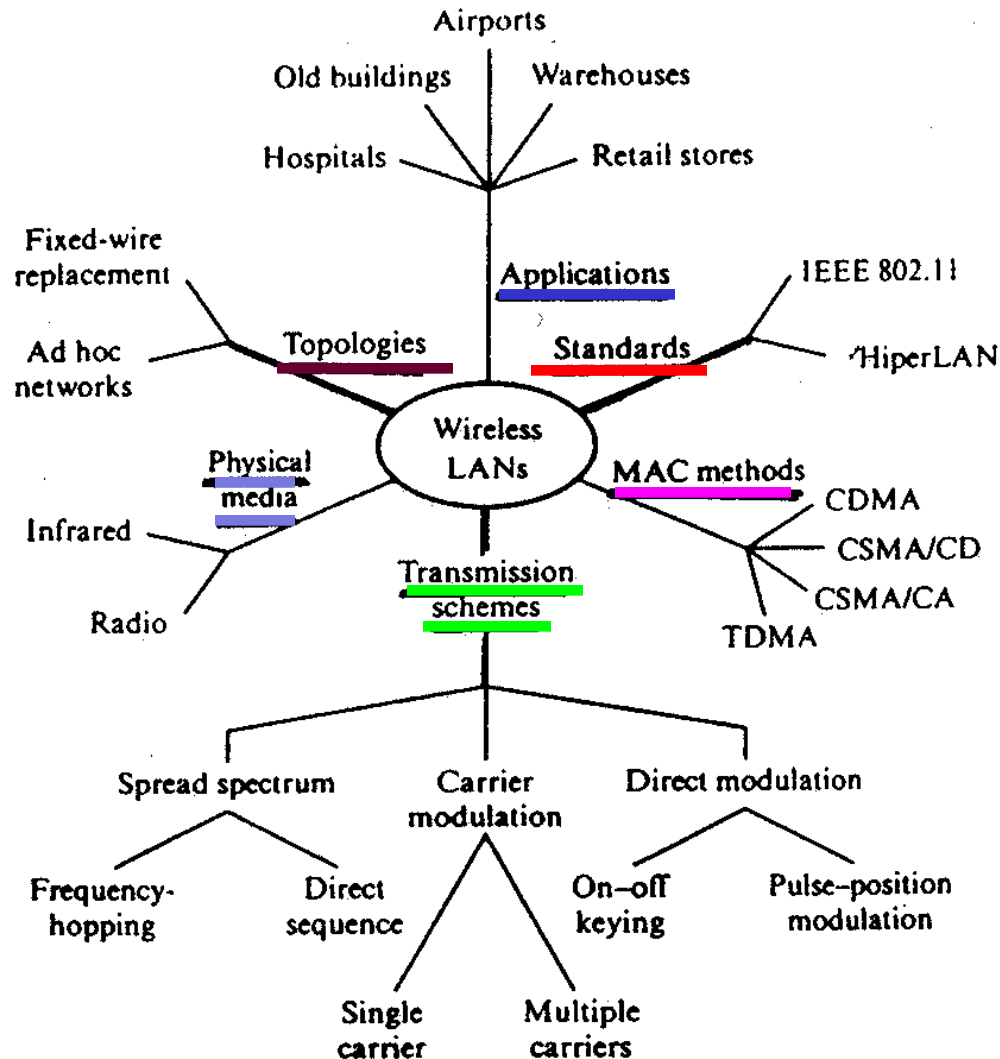


(ii) **Ad-hoc-Netz :**

Mobile Endsysteme spontan/ ad hoc zu LAN zusammengefasst (z.B. Realisierung von Ad-hoc-Netz bei Konferenzen/ Meetings o.ä. ohne verfügbare Festnetzinfrastruktur).



# Varianten von Wireless LANs



# Typische Anforderungen an WLANs (vgl. [Sta 04])

- möglichst **hoher Durchsatz** trotz stark begrenztem Frequenzband
- Unterstützung für evtl. **große Anzahl von Mobilstationen**
- **Verbindung zu leitungsgebundenem LAN** (z.B. Fast Ethernet)
- angestrebter **Versorgungsbereich** im allg. **ca. 100 – 300 m**
- **geringer Energieverbrauch** in Mobilstationen (u.a. „Sleep“-Modus)
- Realisierung **zuverlässiger und sicherer DÜ** (trotz störungsanfälliger Signalübertragung und einfacher Abhörbarkeit !)
- **lizenzfreier Betrieb** → starke Einschränkung für nutzbare Frequenzbereiche
- **zuverlässiges „Handoff“/ „Handover“** bei Wechsel der Funkzelle seitens Mobilstationen
- **dynamisches Konfigurieren** → keine Beeinträchtigung des lfd. Betriebs durch neu zu integrierende bzw. auszugliedernde Mobilstationen

# Merkmale des IEEE 802.11-Standards:

- **Datenraten:** 2 Mbit/s (ursprüngliche Rate bei 802.11-Standard), 11 Mb/s (bei 802.11**b**), 54 Mb/s (bei 802.11**a** im 5 GHz- bzw. 802.11**g** im 2.4 GHz-Band), und seit Kurzem bereits verfügbar: *Raten* > 100 Mb/s (z.B. 802.11**n**), ... und bis ca. 2013 in spe: 802.11**ac mit** > 1 Gb/s (im 5 GHz-Band über kurze Entfernungen)
- typ. **Reichweiten:** 25, ..., 150 m (stark abhängig von evtl. „Hindernissen“ zwischen Sender und Empfänger, z.B. Wände)
- **Zugriffskontrolle:** CSMA/CA (CA ≡ Collision Avoidance), ähnlich CSMA/CD
- **Stationen:** nicht nur (tragbare) Rechner sondern auch Datenerfassungsgeräte, Ausgabegeräte oder Mobiltelefone (→ LAN-Telefonie)
- **Standard** für **OSI-Schichten** ≤ 2; evtl. TCP/IP-Protokollstapel ab Netz- bzw. Vermittlungsschicht (d.h. ab Schicht 3)
- **“Roaming”** [*nota bene* : im WAN-Bereich eher „Handover“ entsprechend]: (bisheriger) Zugangspunkt ZP für mobile Station MS durch anderen zu ersetzen → Notwendigkeit erkannt durch Verschlechterung der Übertragungsqualität [Wechsel von ZP z.B. durch:
  1. Scannen der Umgebung seitens MS nach geeignetem neuen ZP  
→ Nutzung des periodischen “beacon-signals” der ZPs ≡ “Leuchtfener”
 oder:
  2. Aktives Aussenden von “Probe” seitens MS  
→ ZPs im Empfangsbereich antworten ggf. ]

**Quellen:** <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>

sowie <http://www.ieee802.org/11/>

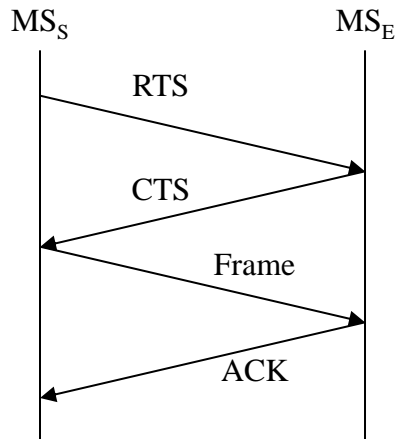
...

# IEEE 802.11: Rahmentypen (MAC-Schicht) – Semantik

## Typen von MAC-Rahmen:

- **Kontroll**-Rahmen
- **Daten**-Rahmen
  - u.a. Subtypen abhängig von evtl. mitübertragener Quittungsinformation („piggy-backing“)
- **Management**-Rahmen
  - u.a. für Managementaufgaben bezogen auf die Kommunikation zwischen Stationen und „Access Points“

### RTS-/CTS-Mechanismus :



ad **Kontroll-Rahmen** (CONTROL frames):

- **Power-Save (PS)**-Poll: Anforderung an AP (Access Point) durch Station MS, die ggf. für MS zwischengepufferten Daten an MS zu senden [nach Verlassen von „Power Saving“-Zustand]
- **Request to Send (RTS)**: Mitteilung an Empfänger MS<sub>E</sub>, dass Sender MS<sub>S</sub> Frame-Übertragung an MS<sub>E</sub> beabsichtigt
- **Clear to Send (CTS)**: Antwort auf RTS, dass Empfangsbereitschaft vorliegt
- **Acknowledgement (ACK)**: pos. Quittung auf zuletzt empfangenes Frame
- **Contention-Free (CF)**-End: Anzeige der Beendigung einer Phase ohne Konkurrenz um das ÜM
- **CF-End + CF-ACK**: pos. Quittung für CF-End



# IEEE 802.11: Rahmenformate (MAC-Schicht) – Syntax

2	2	6	6	6	2	6	$\leq 2312$	4	Byte
FC	D/I	Adresse	Adresse	Adresse	SC	Adresse	Nutzdaten	CRC	

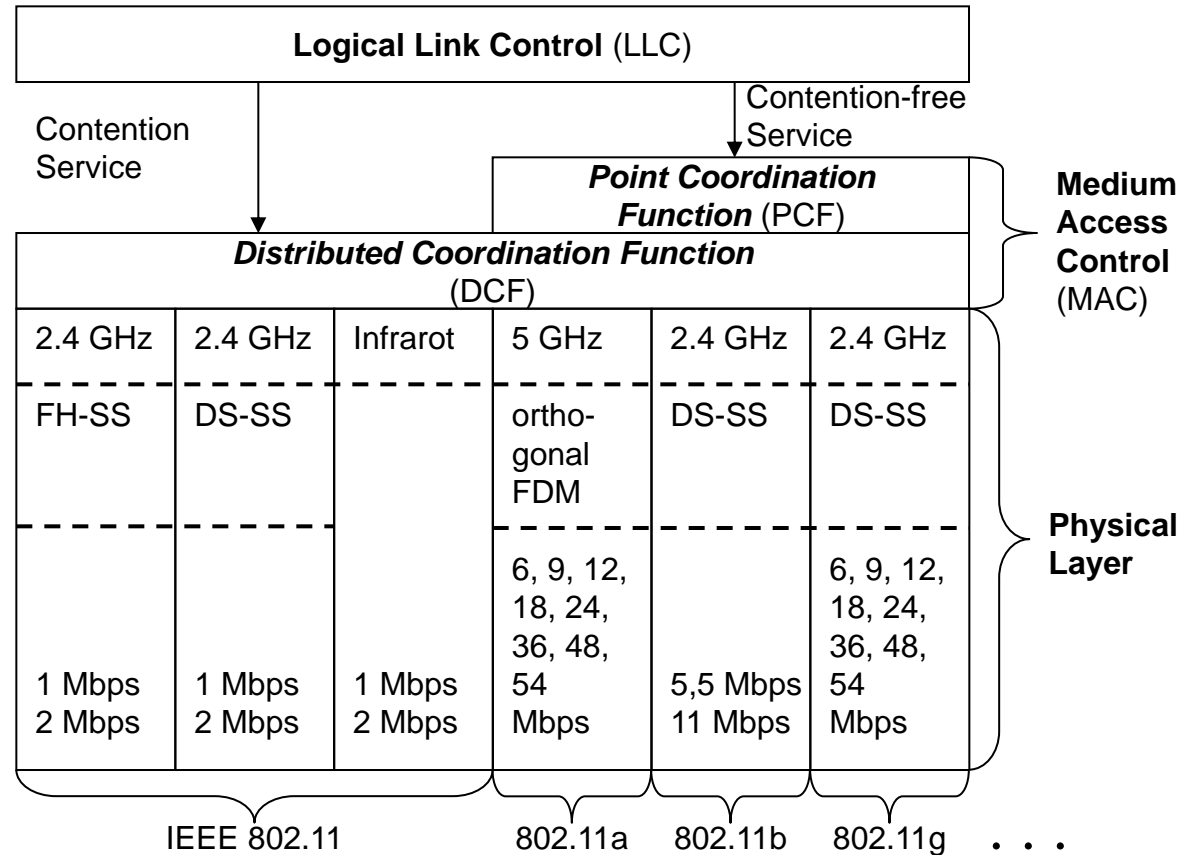
## *Felder:*

- **FC** (Frame Control): u.a. Angabe von Rahmentypen (CONTROL, MANAGEMENT, DATEN) und Kontrollinfo (von/zu einem „Access-Point“, Info zu Fragmentierung bzw. Security)
- **D/I** (Duration/Connection ID): D interpretiert als Dauer → Zeit (in  $\mu\text{s}$ ), die der Kanal zugeordnet bleibt für Übertragung von MAC-Rahmen; I interpretiert als Verbindungs-ID → Nr. einer virtuellen Verbindung
- **Adressen** : kontextabhängige Interpretation mit 4 Adresstypen *Quelle* (sendendes Endsystem), *Ziel* (empfangendes Endsystem), *letzter Sendeknoten*, *nächster Empfangsknoten*
- **SC** (Sequence Control): Zwei Laufnummern (4-Bit-Fragment-Nr. sowie 12-Bit-Sendefolge-Nr.)
- **Nutzdaten**: LLC-PDU oder MAC-Kontrollinfo
- **CRC**: 32-Bit-CRC-Prüfsumme

# Die IEEE 802.11 - Standards

→ u.a. IEEE 802.11, 11a, 11b (s.u.), 11e (Echtzeitkomm., QoS), 11g (s.u.), 11h (dynam. Frequenzwahl, Anpassung der Sendeleistung), 11i (Security), 11n (> 100 Mbps), ...

## ➤ IEEE 802.11: *Physikalische und Datensicherungsschicht*



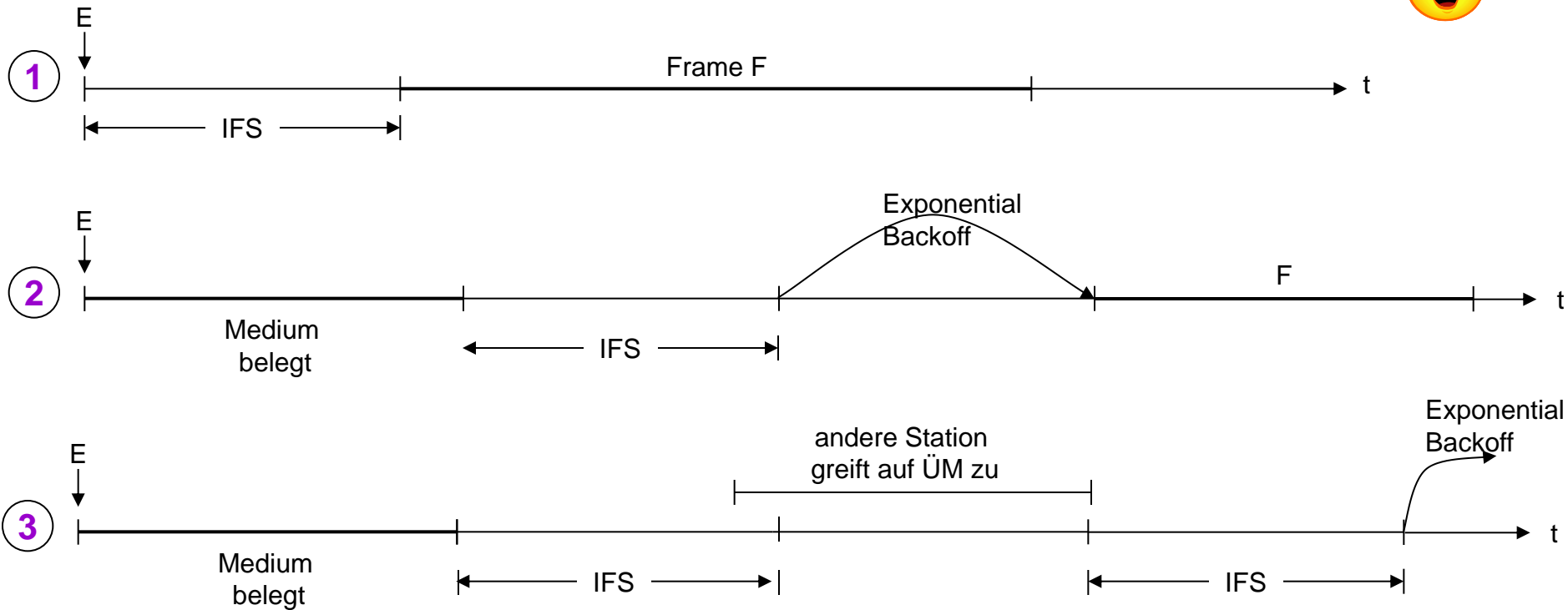
**FH-SS** = *Frequency Hopping Spread Spectrum* (Frequenz-Sprungverfahren)

**DS-SS** = *Direct Sequence Spread Spectrum* → Details, vgl. u.a. [Sch 03] und s.u.

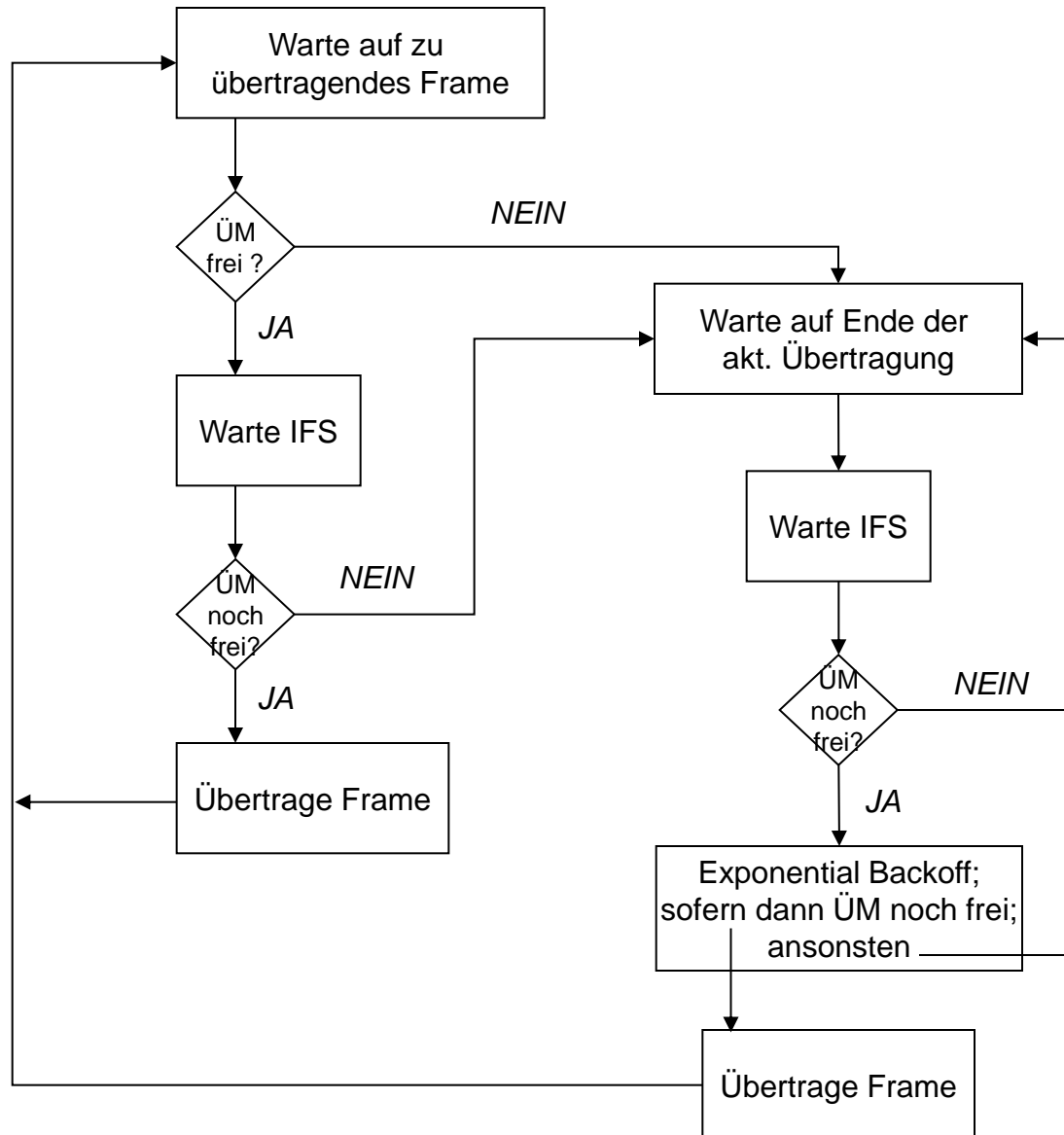
# Grundprinzip der IEEE 802.11-Zugriffskontrolle

Bezeichne E einen auftretenden Übertragungswunsch einer Station für einen Rahmen (Frame) F

→ **Fälle:** [IFS = interframe space]



# ... zugrundeliegender Algorithmus :



# Verfeinerung des Zugriffskontrollverfahrens

➤ Zur Priorisierung → 3 Arten von IFS-Zeiten:

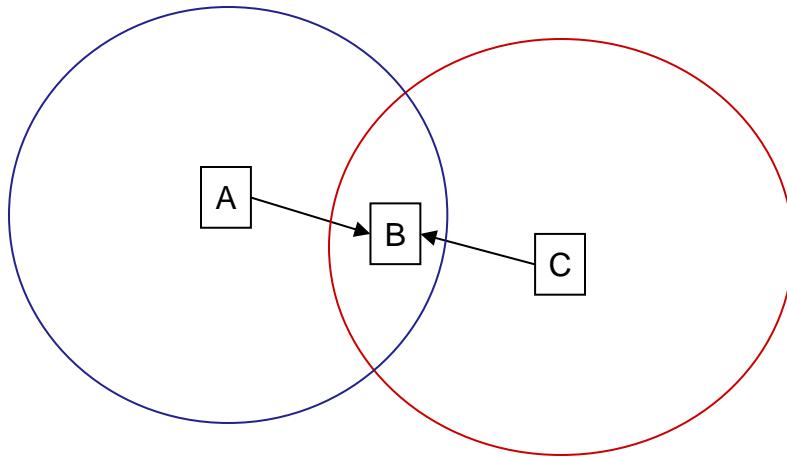
- **SIFS** – **S**hort **I**nter-**F**rame **S**pacing: kürzeste Wartezeit, z.B. für Übertragung von Steuernachrichten (u.a. ACKs)
- **PIFS** – **P**CF **I**nter-**F**rame **S**pacing: mittlere Wartezeit, insbesondere für Echtzeitkommunikation
- **DIFS** – **D**CF **I**nter-**F**rame **S**pacing: längste Wartezeit, insbesondere für asynchrone Datendienste („non-realtime“)



wobei

- **PCF** (**P**oint **C**oordination **F**unction): kollisionsfreies, zentralisiertes Zugriffsverfahren für zeitbeschränkte Dienste
- **DCF** (**D**istributed **C**oordination **F**unction): Zugriffsverfahren gemäß CSMA/CA [CA = Collision Avoidance] oder, optional, Verfahren zur Berücksichtigung versteckter Endgeräte („hidden stations“)  
→ vgl. optionale RTS/CTS-Erweiterung

➤ Beispiel für „**hidden station**“



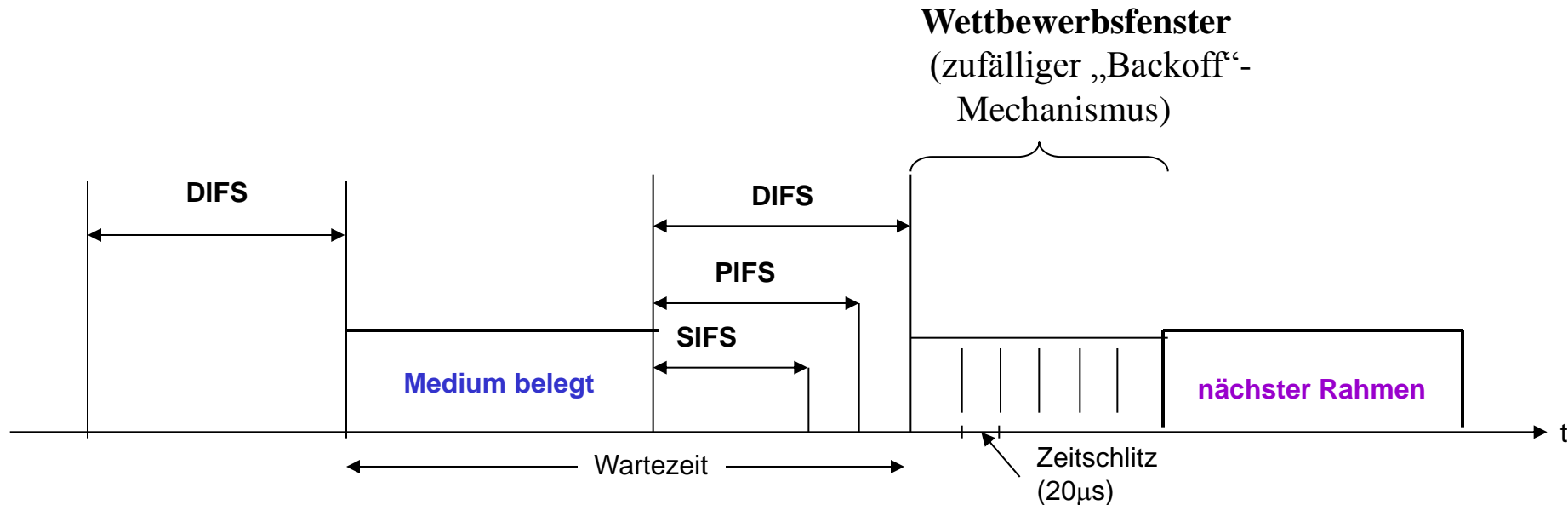
A sendet an B  
 C sendet an B  
 → C stört A (bei dessen Senden an B),  
 jedoch C verborgen für A, da A  
 außerhalb der Reichweite von C  
 liegt

➤ Werte für IFS-Zeiten:

	SIFS ( $t_{\text{SIFS}}$ )	PIFS ( $t_{\text{PIFS}} = t_{\text{SIFS}} + \Delta t$ )	DIFS ( $t_{\text{DIFS}} = t_{\text{SIFS}} + 2 \cdot \Delta t$ )	Zeit- schlitz ( $\Delta t$ )
bei DSSS	10 $\mu\text{s}$	30 $\mu\text{s}$	50 $\mu\text{s}$	20 $\mu\text{s}$
bei FHSS	28 $\mu\text{s}$	78 $\mu\text{s}$	128 $\mu\text{s}$	50 $\mu\text{s}$

# IEEE 802.11: Wettbewerbsfenster („Contention Window“) und Zugriffsverzögerung bei CSMA/CA

➤ zeitl. Abläufe (vgl. [Sch 03]):



*nota bene:*



- Backoff-Mechanismus impliziert zufällige Wartezeit (hier: Anzahl von Slots/Zeitschlitz, vgl. Analogie zu *Slotted ALOHA*)

# Bandspreizverfahren I



## ➤ Direct Sequence Spread Spectrum (DS-SS)

Spreizung im Zeitbereich mittels vorgegebener „Chipping-Sequenz“

### Prinzip:

XOR-Verknüpfung der Nutzdaten mit einer sog. „Chipping-Sequenz“

Beispiel:

Chipping-Sequenz  $CS = (c_n, c_{n-1}, c_{n-2}, \dots, c_2, c_1, c_0)$ ,  $c_i \in \{0,1\}$

→ resultierende Codierung  $C$

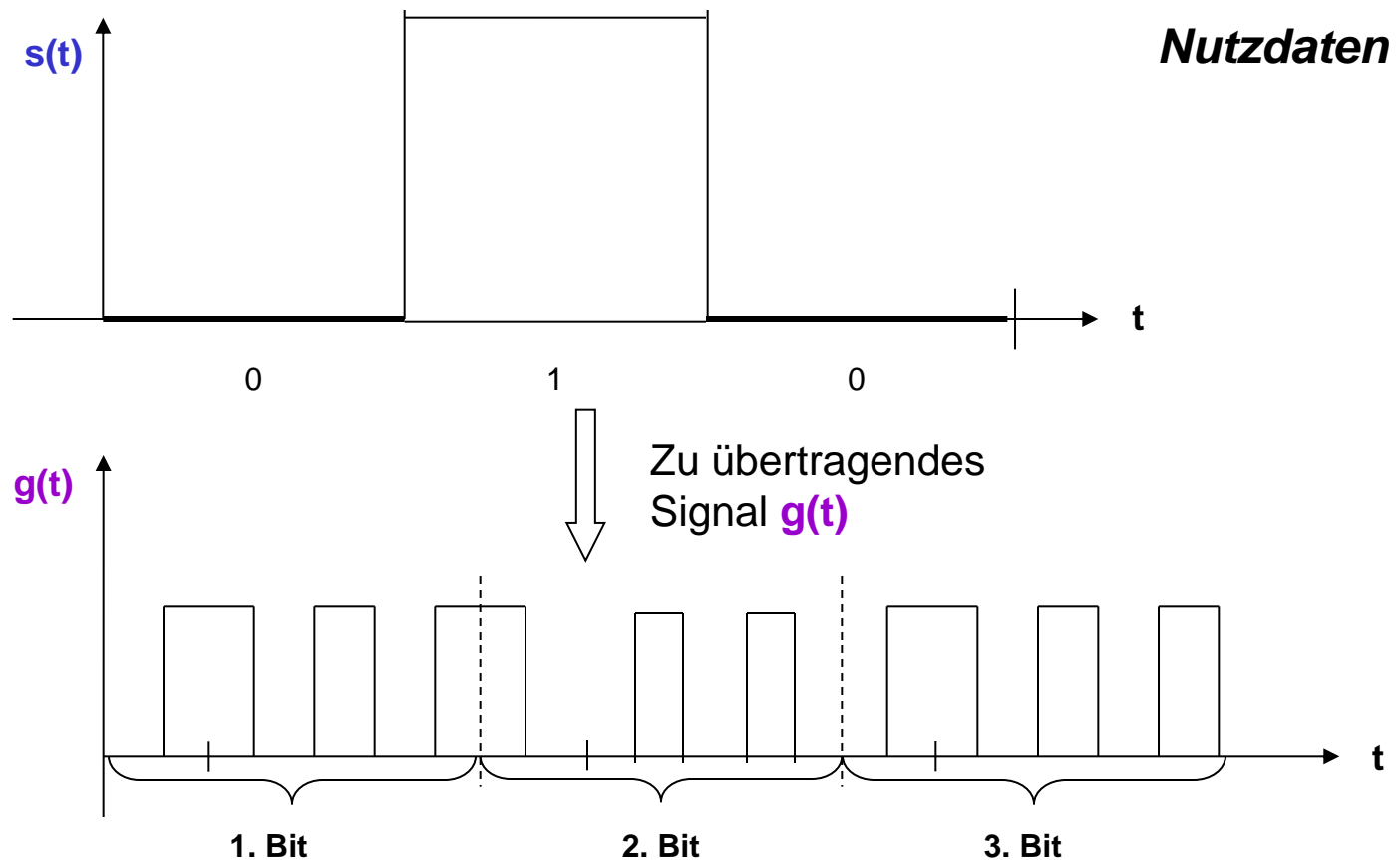
$$C: \begin{cases} \{0,1\} \rightarrow \{CS, \overline{CS}\} \\ 0 \mapsto c_n, c_{n-1}, c_{n-2}, \dots, c_2, c_1, c_0 \\ 1 \mapsto \overline{c_n}, \overline{c_{n-1}}, \overline{c_{n-2}}, \dots, \overline{c_2}, \overline{c_1}, \overline{c_0} \end{cases}$$

wobei  $\overline{c_i} \equiv \text{NOT}(c_i)$



# Bandspreizverfahren I (Fortsetzung)

Illustration für  $CS = (0,1,1,0,1,0,1)$ , d.h. Spreizfaktor 7:



# Bandspreizverfahren II



## ➤ Frequency Hopping Spread Spectrum (FH-SS)

Frequenzspringen: 1 x pro  $n$  Bit bzw.  $m$  x pro 1 Bit

### Prinzip:

Wähle Trägerfrequenz  $f_i$  in Intervall  $T_i$ ,  $f_i \neq f_{i-1}$  und bilde – bei FSK – die Bitwerte „0“ und „1“ wie folgt ab:

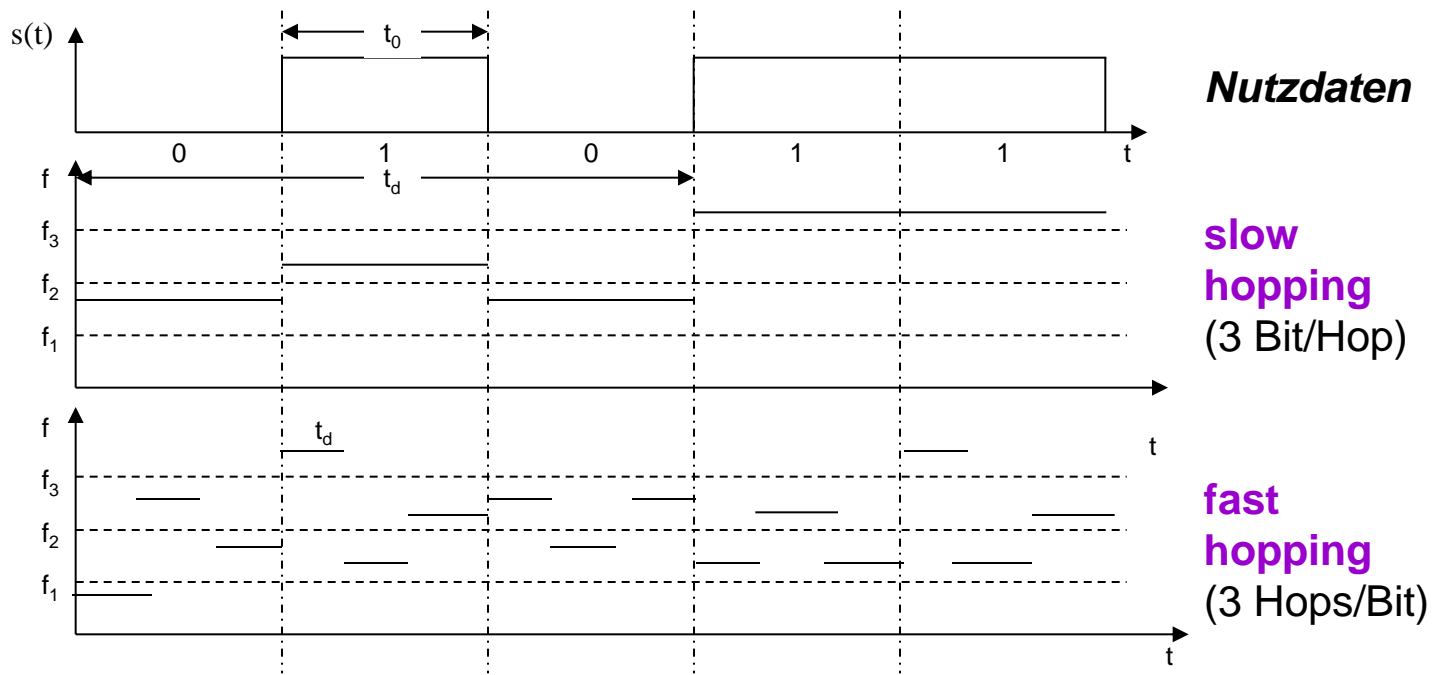
$0 \mapsto f_i - \Delta f$ ;  $1 \mapsto f_i + \Delta f$ ; wobei  $\Delta f \equiv$  fester Frequenzabstand

### Beispiele:

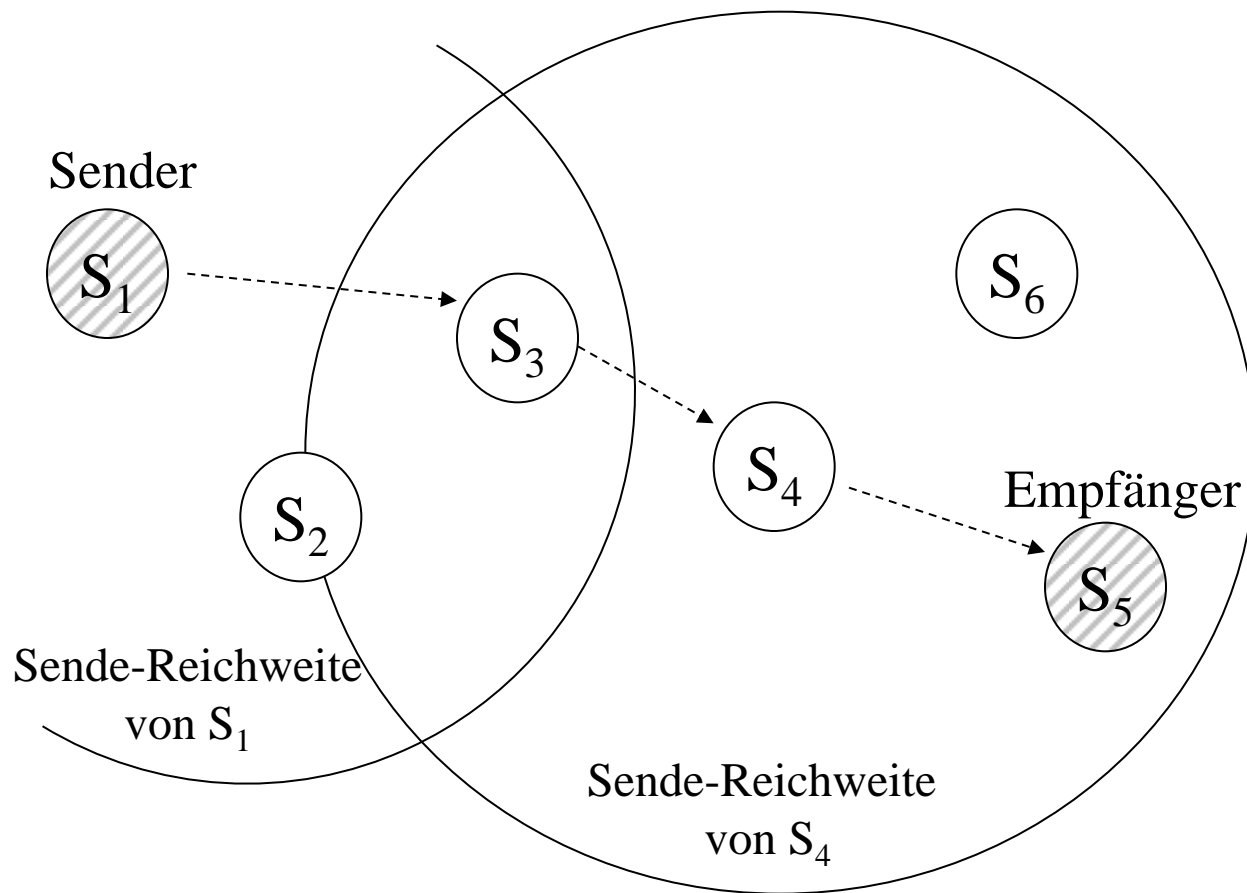
- langsames Springen, z.B. mit 3 Bit pro Sprung
- schnelles Springen, z.B. mit 3 Sprüngen pro Bit

Illustration für schnelles und langsames Frequenzsprungverfahren (s.o.), vgl.

[Sch 03];  $t_0 \equiv$  Zeit pro Bit;  $t_d \equiv$  Zeit pro Frequenzsprung



## 7.3. Multi-hop Ad-hoc Netze (MANETs)



### Wesentliche Charakteristika:

- Knoten-/ Stationsmobilität
- Qualität der Funkverbindungen
- verfügbare Energie in Stationen
- Verkehrsmatrix

# Routing in MANETs

- Stationen  $S_i$  fungieren als Vermittlungsrechner (VR), nicht nur als Endsysteme;
- hochdynam. Topologie: VR und „Hops“ verschwinden oder entstehen plötzlich (u.a. Ein-/Ausschalten von Stationen, Mobilität der Stationen, bisherige Nachbarn nicht mehr in Reichweite, ...)
- zentralisierte Routingverfahren nicht brauchbar, denn: wer soll als Zentrale fungieren? (Stationsverfügbarkeitsproblem !)
- drohende Schleifen („loops“) in Pfaden
- evtl. häufig isolierte Stationen
- Routing sollte Energieverbrauch berücksichtigen (minimieren) → „Hop“-Distanz (d.h. Länge des „Hops“) relevant !
- in Praxis: nur Suche nach hinreichend guten Lösungen (Optimumsuche zwecklos und unrealistisch !)

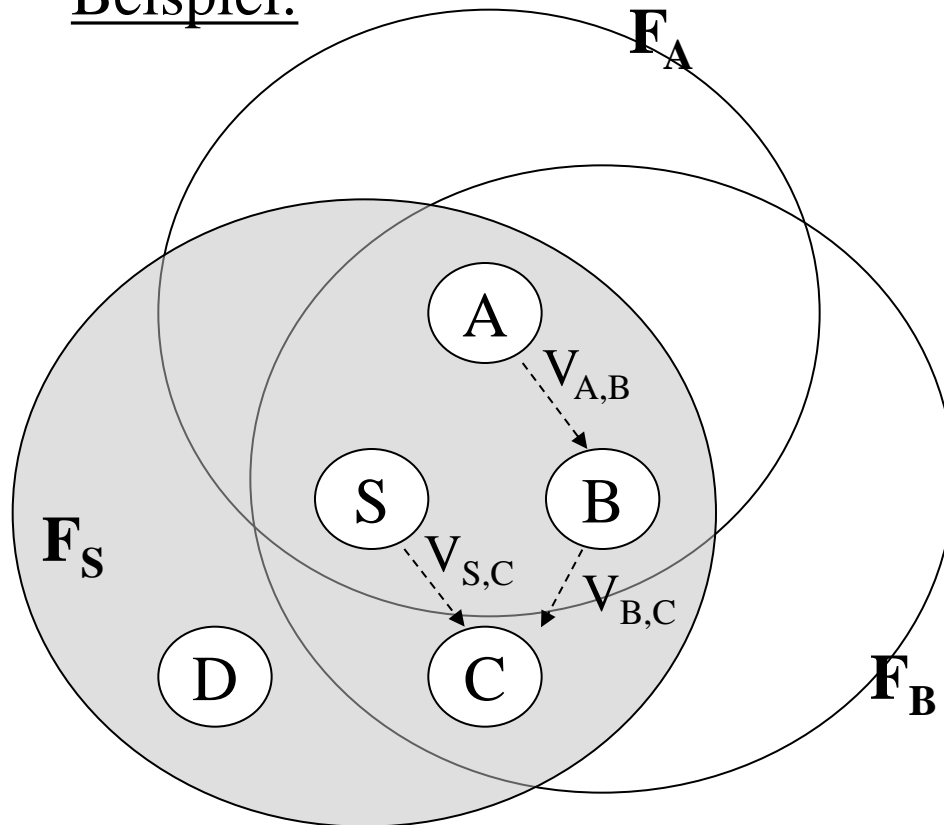


# Einige Grundprinzipien für Routing in MANETs

- Verwendbar z.B. Verteiltes Routing mit Austausch von Zustandsinfo zwischen Nachbarknoten erster oder zweiter Ordnung (vgl. Abschn. 6.3)
- Ausgetauschte Zustandsinfo z.B. eigene Sicht (der Station) bzgl.
  - Netztopologie bzw. kürzeste Pfade zu Zielstationen
  - Momentanqualität der lokal beobachtbaren Funkverbindungen bei Kommunikation mit bzw. zwischen Nachbarknoten 1. Ordnung  
(*nota bene*: Beobachtungen aus jüngerer Vergangenheit zugrundegelegt → spez. Prüfpakete „probes“ und/oder Normalverkehr)

# Beurteilung der Momentanqualität von Funkverbindungen

Beispiel:



$F_X$  = Funkbereich der Station X

$V_{X,Y}$  = Funkverbindung von Station X zu Y

*nota bene:*

- S sieht Qualität von  $V_{A,B}$  und  $V_{B,C}$  (kann mithören, da in  $F_A$  und in  $F_B$ )
- S sieht Qualität von  $V_{S,C}$  (eigene Sendungen)
- S kann D informieren über Momentanqualitäten z.B. von  $V_{A,B}$ ,  $V_{B,C}$  &  $V_{S,C}$

Zu einer Verfeinerung des Ansatzes siehe:

Karbaschi G., Fladenmuller A., Wolfinger B.E., Link-Quality Measurement Enhancement for Routing in Wireless Mesh Networks, 9 th IEEE Internat. Symp. on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, WoWMoM 2008, Newport Beach, CA, USA, June 2008

# 7.4 Zellulare Weitverkehrsnetze

**Zellulare Funknetze**, vgl. bereits Abschn. 3.4.2 (Mobilfunkübertragung)

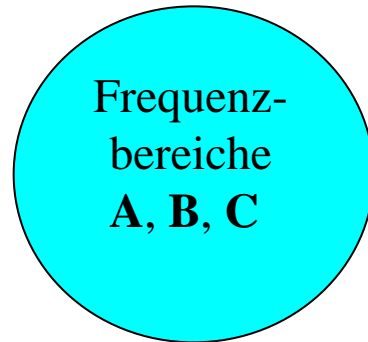
→ "Bienenwabenstruktur", Vergabe/Nutzung von nicht-überlappenden Frequenzbereichen in benachbarten Zellen, 1 Basisstation (BS) pro Zelle

- **große Zellen** :

- weniger effiziente DÜ,
- preisgünstiger,
- größerer Energiebedarf für Sendevorgänge,
- geringere Komplexität (u.a. seltener Wechsel von Zellen)

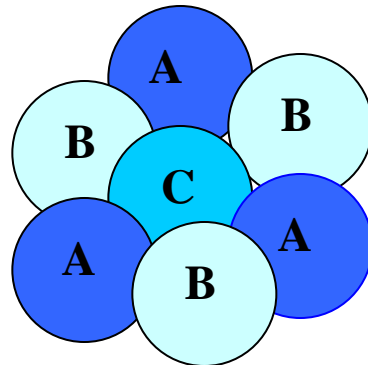


→ **Bandbreite im Beispiel:  $A \cup B \cup C$**



- **kleine Zellen** :

- schnellere DÜ (mehr Bandbreite pro Benutzer bzw. mehr parallel aktive Benutzer; indes weniger Gesamtbandbreite pro Zelle – gleichwohl Frequenzbereich auch schneller, geographisch betrachtet, wiederverwendbar),
- teurer (u.a. mehr Basisstationen benötigt),
- häufigere „hand-over“ durchzuführen bei hoher Gerätemobilität



*ergo:*

es existiert ein schwierig zu bewertender

„Trade-off“ zwischen kleinen und großen Zellen!

→ **Bandbreite im Beispiel:  $3 \bullet A \cup 3 \bullet B \cup C$**   
(Gewinn wegen Raummultiplexen)

# ➤ Merkmale der ersten zellularen Weitverkehrsnetze :

Netz	Zeitraum	Frequenzbereich (MHz)	Art der DÜ und Signalis.	Modulations- technik	Anz. Teilnehmer	Sonstiges
<b>A-Netz</b> (in D)	1958-'77	[156, 174]	analog	FM	≤ 11.000	Handvermittl.; Verbindungs- aufbauzeit u. U. mehrere min.; Teilnehmerlokali- sierung durch Info seitens des Anrufers
<b>B-Netz</b> (in D)	1972-'94	[146, 156] + später: Frequenzen des A-Netzes	analog	FM	≤ 26.000	vollautomat. Vermittl.; V.-aufbauzeit im sec.-Bereich; Funkgerät etwa 2 Schuhkartons groß
<b>C-Netz</b> (von DeTe Mobil; 0161- ...)	ab 1981	uplink (MS → BS): [450, 455.74] downlink (BS → MS): [461, 465.74]	analoge DÜ; digit. Signalis.	PhM für Sprach- übertr.	max. 770.000 (1994)	"Hand-Over"; DÜ mittels Modem (2.4 kb/s)
<b>GSM</b> (insbes. D1-Netz: 0171- ...; D2-Netz: 0172- ...)	seit 1990	uplink: [890, 915] downlink: [935, 960]	digital	Variante von FM; Mux: TDMA + FDMA + slotted ALOHA	ca. 1.7 Mrd. (in 3/2006) weltweit; + tägl. ca. 1 Mio. weitere Kunden	In weltweit > 200 Ländern im Einsatz; Details, vgl. 7.4.1



## 7.4.1 GSM – Global System for Mobile Communications

➤ Anforderungen bei Entwicklung von GSM, u.a.

- hohe Teilnehmerzahlen,
- Schnittstellen mit anderen GSM-Netzen und Tel.-Netz
- hohe Sprachqualität und größere Datenrate als bei C-Netz
- Übernahme ISDN-Dienstmerkmale für Fernspreverkehr

⇒ Resultat: **GSM**  $\cong$  "**G**reat **S**ignalling **M**onster" ☺  
 → mehrere *m* Regal für Standard !  
 (> 5000 Seiten)

Info u.a. auch bei :

<http://www.gsmworld.com/>

*GSM-Telefone 1991*  
 ("Anno dazumal");  
 aus: Wikipedia ☺



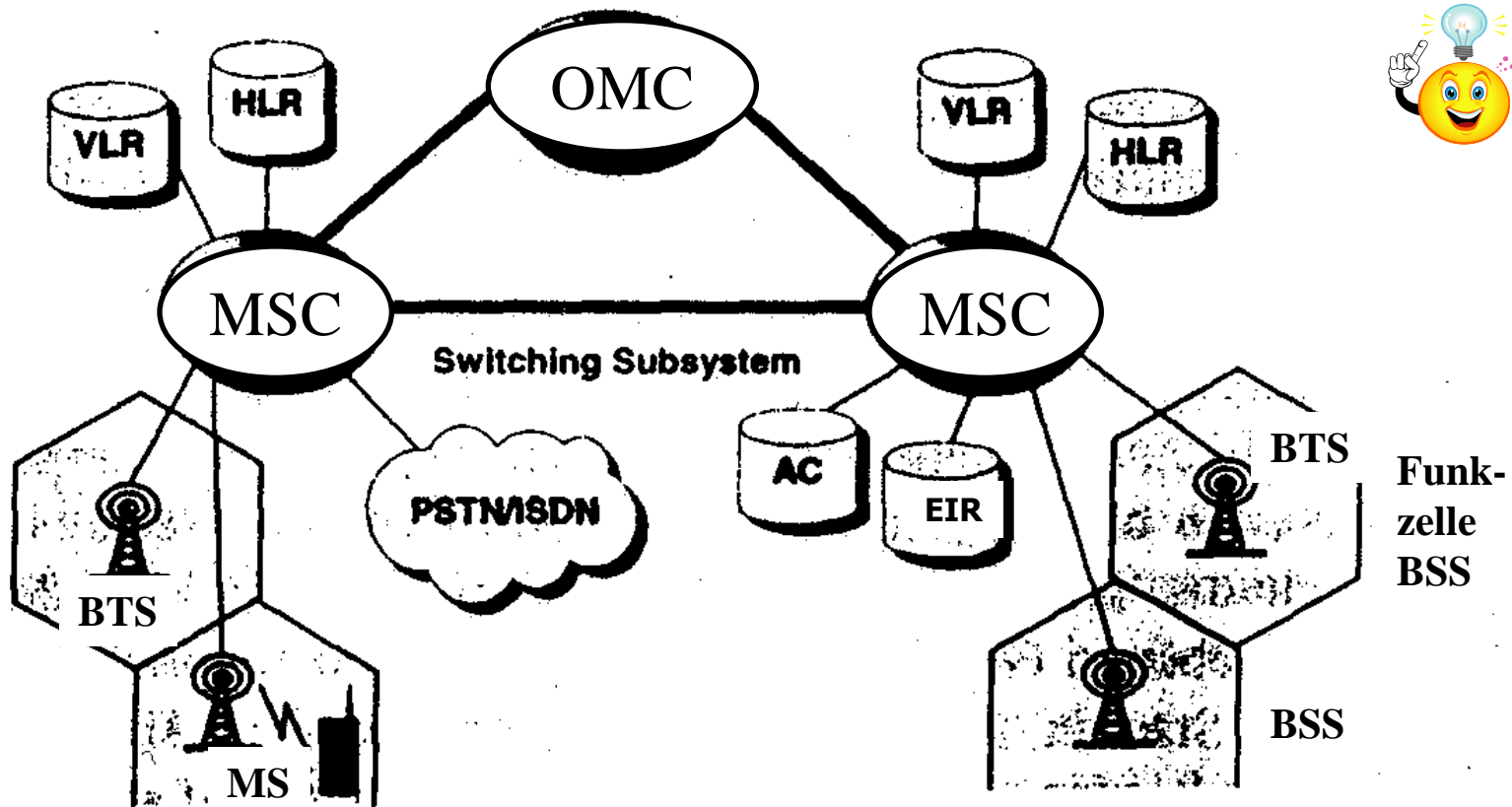
# GSM – Systemarchitektur



## ➤ **Komponenten** von GSM-Netz :

- **MS** (Mobile Station) : "Handy", Laptop, o.ä.
- **BS** (Base Station) : Basisstation (mit festgelegtem Versorgungsbereich); detaillierter :
  - BSS (≡ Base Station Subsystem) *mit genau einer*
  - BTS (≡ Base Transceiver Station) *pro Funkzelle und einem*
  - BSC (≡ Base Station Controller) *für mehrere BTS bzw. Funkzellen*
- **MSC** (Mobile Switching Center) : zentrale Komponenten zur Nachrichtenvermittlung zwischen MSen, zur Überwachung von gesichertem Nachrichtenaustausch und zur Erfassung von Abrechnungsdaten (vgl. "accounting management")
- für MSC verfügbare Info :
  - **HLR** (Home Location Register) → Teilnehmer (TN)-Daten der in Funkzelle "beheimateten" Teilnehmer
  - **VLR** (Visitor Location Register) → TN-Daten der die Funkzelle "besuchenden" TN
  - **AC** bzw. **AUC** (Authentication Center) → Authentifizierung
  - **EIC** (Equipment Identification Center) → Identifikation der Geräte der TN
- **OMC** (Operations Maintenance Center) : Zentrales Netzmanagement und Funktionen zur zentralen Wartung

# ➤ GSM-Netzarchitektur :



*Notation:*

**MSC:** Mobile Switching Center

**OMC:** Operations Maintenance Center

**PSTN:** Public Switched Telephone Network

**ISDN:** Integrated Services Digital Network

**BSS:** Base Station Subsystem (von BTS „aufgespannte“ Funkzelle)

**BTS:** Base Transceiver Station (Basisstation)

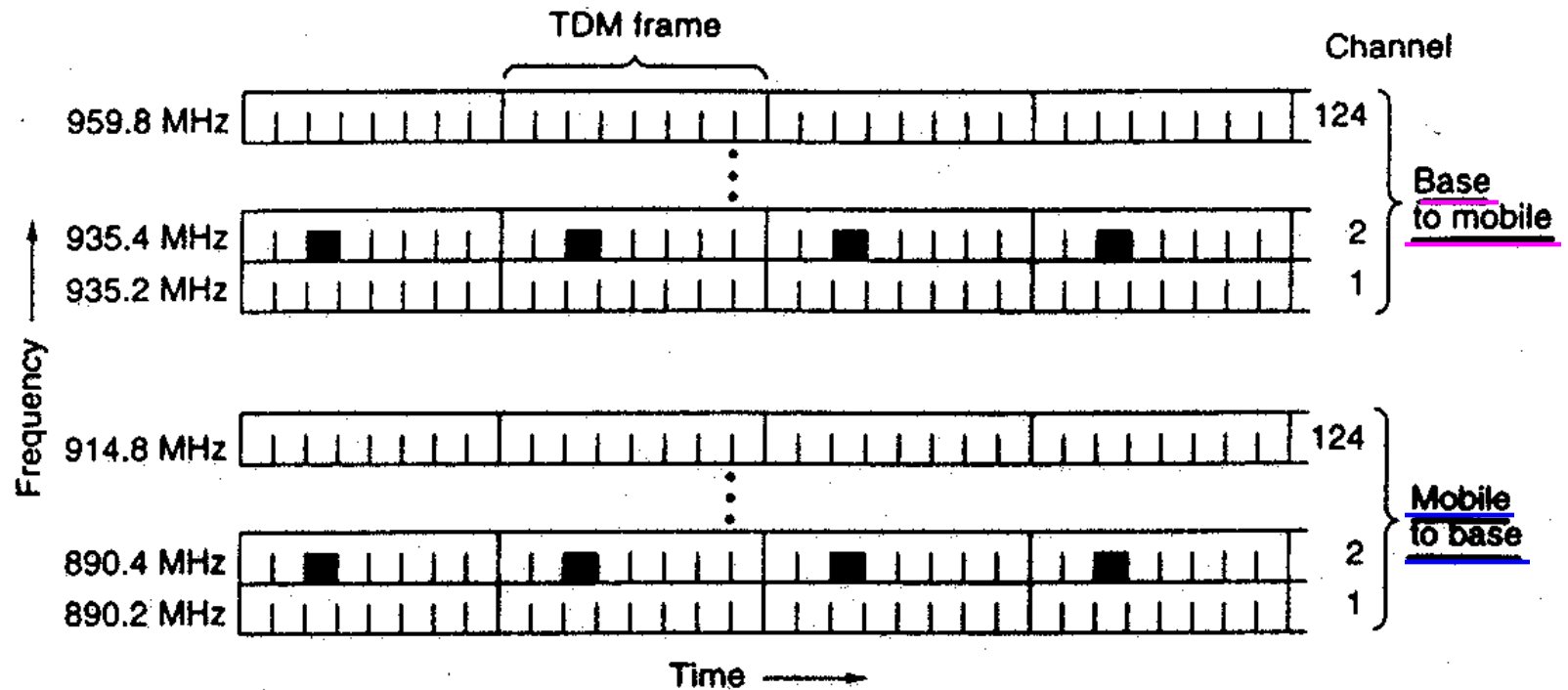
**AC:** Authentication Center

**EIR:** Equipment Identification Register

**HLR:** Home Location Register

**VLR:** Visitor Location Register

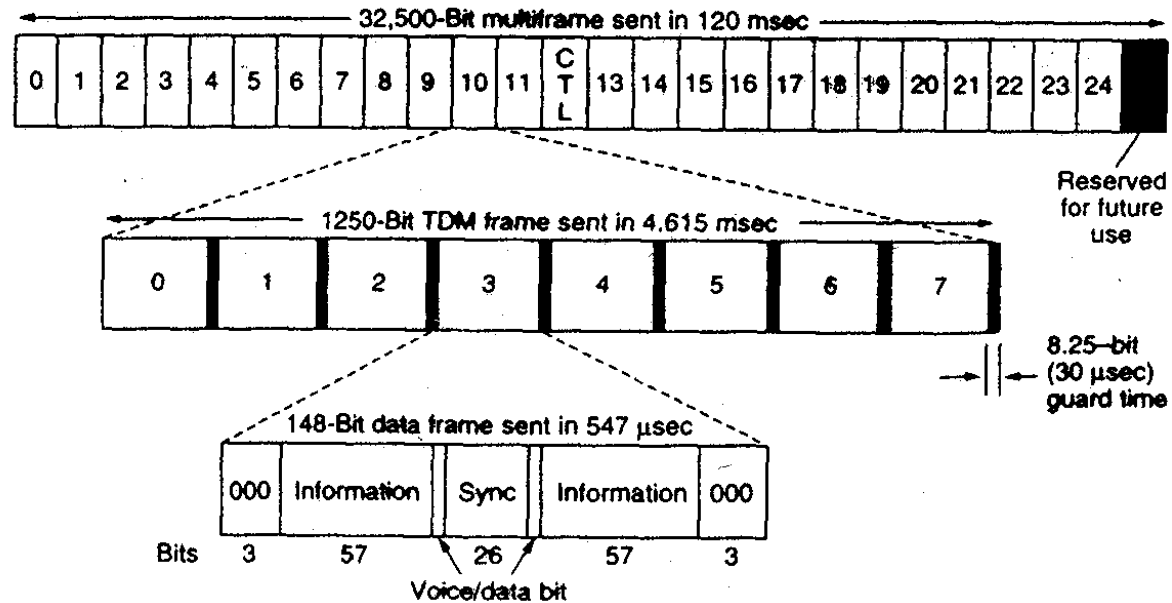
## ➤ Bandbreitennutzung bei GSM :



ergo :

- Für "Uplink" (MS → BS) verwendet : [890.2, 915] MHz  
→ ergibt Bandbreite von 24.8 MHz;  
entsprechend für "Downlink" (BS → MS)
- 24.8 MHz werden jeweils aufgeteilt auf 124 Frequenzkanäle (mit jeweils 4 TDM-Frames à 8 Zeitscheiben); Größe von 1 TDM-Frame : 1250 Bit  
→ Zeitscheibe in TDM-Frame enthält 148 Bit - 2 Bit = 146 Bit (vgl. Abb. s.u.)
- ⇒ Jede Mobile Station (MS) erhält :  
4 Zeitscheiben ("Slots") des Frequenzkanals  $F_x$  sowohl im "Uplink" als auch im "Downlink" (vgl. schraffierte "Slots" in Abb., s.o.)
- Datenrate pro MS :  
In 4.615 ms werden zwar 8 Data-Frames übertragen; indes wird dabei **pro MS max. 1 "Data Frame"** à 57 Bit (genutzt für Nutzdatentransfer) übertragen
- ⇒ ergibt (unter Berücksichtigung des Overheads) pro MS die max. Datenrate von 9.6 kb/s !

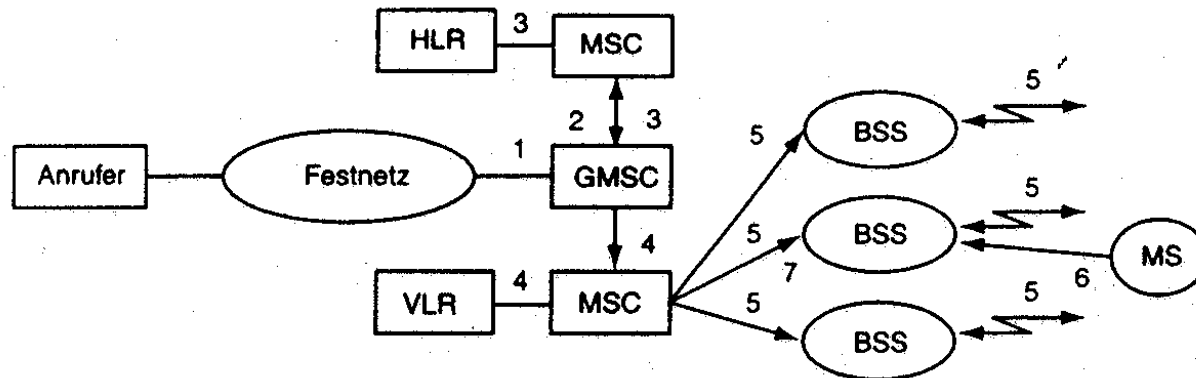
## ➤ Die GSM-TDM-Frame-Struktur :



Notation: **CTL** = **control** (frame)

# Lokalisierung von Teilnehmer bzw. MS bei GSM

Beispiel : Anrufer aus Festnetz



Notation:

**GMSC** ≡ **G**ateway **MSC** (zu Festnetz)

**BSS** ≡ **B**ase **S**tation **S**ubsystem

## ⇒ Schritte :

1. Anruf aus Festnetz an GMSC des Mobilnetzes weitergeleitet
  2. GMSC erkennt zuständiges HLR (Home Location Register)
  3. GMSC holt sich, über entsprechende MSC, aus HLR die Info bzgl. aktuellem Teilnehmer-Aufenthaltort (VLR – Visitor Location Register)
  4. GMSC signalisiert dem VLR, über entsprechende MSC, den Verbindungsaufbauwunsch zu Teilnehmer (MS)
  5. Da VLR den Aufenthaltsort von MS nur grob charakterisiert (→ Aufwandsgründe !), wird bei BSS in Umgebung nach exaktem Aufenthaltsort von MS gesucht ("paging")
  6. Sofern MS über ein BSS gefunden (→ Voraussetzung : MS zur Zeit empfangsbereit): MS meldet sich bei VLR\_MSC
  7. Klingeln des "Handys" (MS) veranlasst. ☺
- **"Hand-Over"** (während eines Gesprächs) :
- bei **Wechseln von Funkzelle** :  
→ Wechsel kann Zuständigkeit einer neuen BSS oder gar neuen MSC nach sich ziehen
  - bei **Eintritt in neue Funkzelle** :  
Abbruch von Verbindung, sofern in neuer Zelle z. Zt. kein freier Funkkanal verfügbar.



# Kommunikationsdienste bei GSM :

Dienstgruppen:

➤ **Trägerdienste:**

- **Sprachübertragung** (komprimiert auf 13 kb/s + Redundanz für Fehlerkorrektur) :  $\Sigma = 22,4 \text{ kb/s}$
- **Datenübertragung** :  $\leq 9.6 \text{ kb/s}$  (leitungs- oder paketvermittelte DÜ )  
[GPRS (General Packet Radio Service) als Weiterentwicklung von GSM für paketvermittelte DÜ bis zu *max. 171,2 kbit/s* und *EDGE* (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) bis zu *max. 384 kbit/s*]

➤ **Tele(kommunikations)dienste** auf Basis von Trägerdiensten:

- **Sprachdienste** (z.B. Fernsprechen, Notruf, Voice Mail)
- **Nicht-Sprachdienste** (z.B. Telefax, Short Message Service/SMS, Datenübertragungsdienste insbesondere für Mobile Rechner)

➤ **Zusatzdienste**, wie z.B.:

- Ruf-Nr. - Identifizierung
- Anrufweitschaltung/-weiterleitung
- automatischer Rückruf
- Gebührenanzeige
- Konferenzgespräch, etc.

➤ **Mehrwertdienste**, wie z.B.:

- Flug-/Hotelreservierungen
- Stauvorhersagen
- Börsennachrichten
- Pannenservice, etc.

Überdies:

→ bereits relativ früh **mobiler WWW-Dienst**

- zunächst über Wireless Application Protocol (WAP)
- mittels spez. "WAP-Handys" als Clients
- sowie spez. WAP-Servern.

Zum Einsatz kamen hier u.a. auch weitere spez. Protokolle wie

- WTP (Wireless Transport Protocol) sowie das
- WSP (Wireless Session Protocol)

... und:

- vereinfachte textbasierte Browser ("Micro-Browser")

Inzwischen zumeist: *HTML-fähige Mobilgeräte*

### ➤ **Zur Netzsicherheit bei GSM:**

⇒ realisiert auf Basis von

- **SIM** (**S**ubscriber **I**dentify **M**odule)  $\cong$  Chipkarte
- vor Aktivierung von SIM: PIN (persönliche Identifik.-Nr.)

und

- **AC** (**A**uthentic. **C**enter)

sowie

- verschlüsselte Übertragung (ausreichend sicher gegen Abhören).



Überdies:

- Verfahren zum Unterbinden des Ortens von GSM-Teilnehmern.

## 7.4.2 Bündelfunk

Ziel von Bündelfunk:

- *Sicherer* Austausch kurzer Nachrichten im Nahbereich (für Branchen/Institutionen, wie z.B. Taxi-/Bauunternehmen, Feuerwehren, Pannendienste, ...) → primär regionale Nutzung und insbes. auch 'Point-to-Multipoint'-Kommunikation unterstützt

Früher: Betriebsfunksysteme mit fester Funkkanalzuweisung an Teilnehmer.

Bei Bündelfunk:

- Nutzung von "Frequenzbündel" (für mehrere Kanäle) und dynamische Kanalzuweisung  
→ effizienter, höhere Kanalverfügbarkeit, Aufwand für dynamische digitale Signalisierung.

# Kommunikationsdienste bei (digitalem) Bündelfunk:

- Trägerdienste zur DÜ (2.4, ..., 28.8 kb/s abhängig von geforderter Übertragungssicherheit)
- Telekommunikations- und Zusatzdienste, wie z.B.
  - Einzel-/Gruppen-/Direkt-/Notruf
  - Rufumleitung/-weiterleitung
  - automatischer Rückruf
  - Konferenzzuschaltung
  - Telefax

→ es handelt sich hier um :

*Betriebliche* Kommunikationsanwendungen (Sprache, Daten und Text)

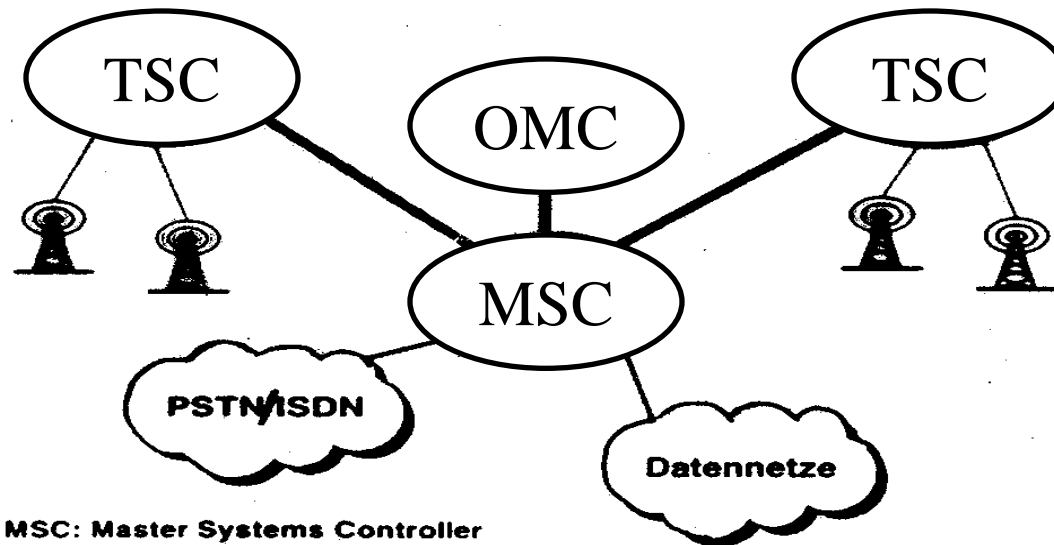
ABER: jeweils nur für **geschlossene** Benutzergruppe (abgesehen von verfügbaren **unidirektionalen** Zugängen zu Fest- und GSM-Netzen).

# Systemarchitekturen für Bündelfunknetze

## ➤ Standards:

- *früher*: MPT 1327 (Ministry of Post, GB)
  - *analoge* Übertragung;  
Uplink: [410, 420] MHz, Downlink: [420, 430] MHz;  
Datenkommunikation mit  $\leq 1.2$  kb/s
- *heute*: **TETRA** (**T**errestrial **T**runked **R**adio von ETSI), vgl.:  
<http://www.tetramou.com>
  - *digitale* Übertragung (Sprache, Daten);  
Datenrate  $\leq 28.8$  kb/s; abhörsicher; vollduplex-Verbindungen

## ➤ Bündelfunk – Netzarchitektur:



MSC: Master Systems Controller  
OMC: Operations Maintenance Center  
TSC: Trunked Site Controller

- Zur Rolle von MSC und OMC vgl. GSM-Architektur, ABER: neue (!) MSC-Abkürzung
- TSC vergleichbar mit BSC (Base Station Controller) bei GSM-Architektur

Neueste Generation: *TETRA Enhanced Data Service* (bis 691 kbit/s, siehe: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/TEDS-TETRA-enhanced-data-service.html>)

➤ Lizenzen für Betrieb von Bündelfunksystemen:

*Klassen* (frühere Klassifikation der Bundesnetzagentur):

- A : für Regionen hoher Nachfrage (z.B. Großstädte)
- B : für etwas kleinere Gebiete, evtl. mit Überlappungen
- C : für Grundstücke
- D : für gesamte BRD

# 7.4.3 Paging

**Paging/Funkruf:** unidirektionale Übertragung kurzer Nachrichten an  $\geq 1$  Empfänger (ohne Kenntnis von aktuellem Empfänger-Standort).

*Nota bene:* Nicht zu verwechseln mit gleichnamiger Technik der Hauptspeicherverwaltung !

„**Pager**“ (Gerät) : auch als „Meldeempfänger“ oder auch als „Beeper“ bezeichnet.

„**2-Way-Pager**“ : Meldeempfänger mit Sender.

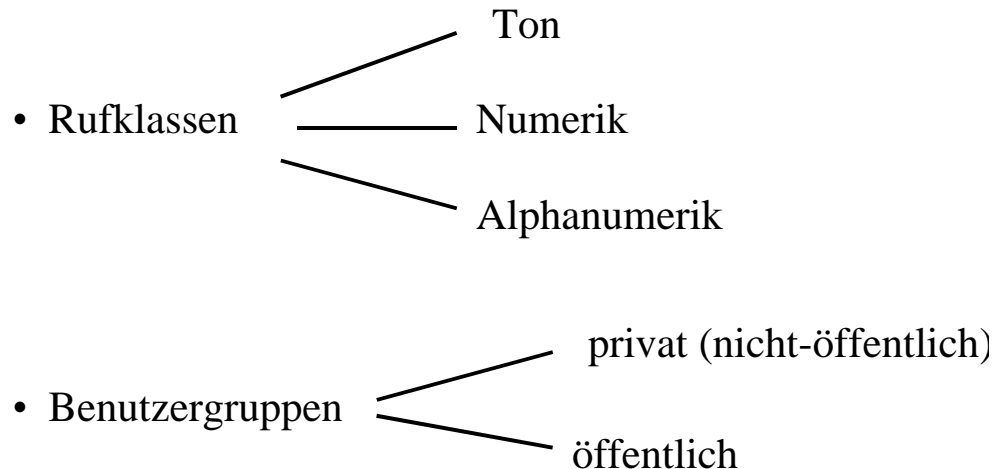
➤ Vorteile :

- geringe Kosten für Endgeräte und Nutzung
- Erreichbarkeit auch an Orten, an denen aktive Endgeräte verboten

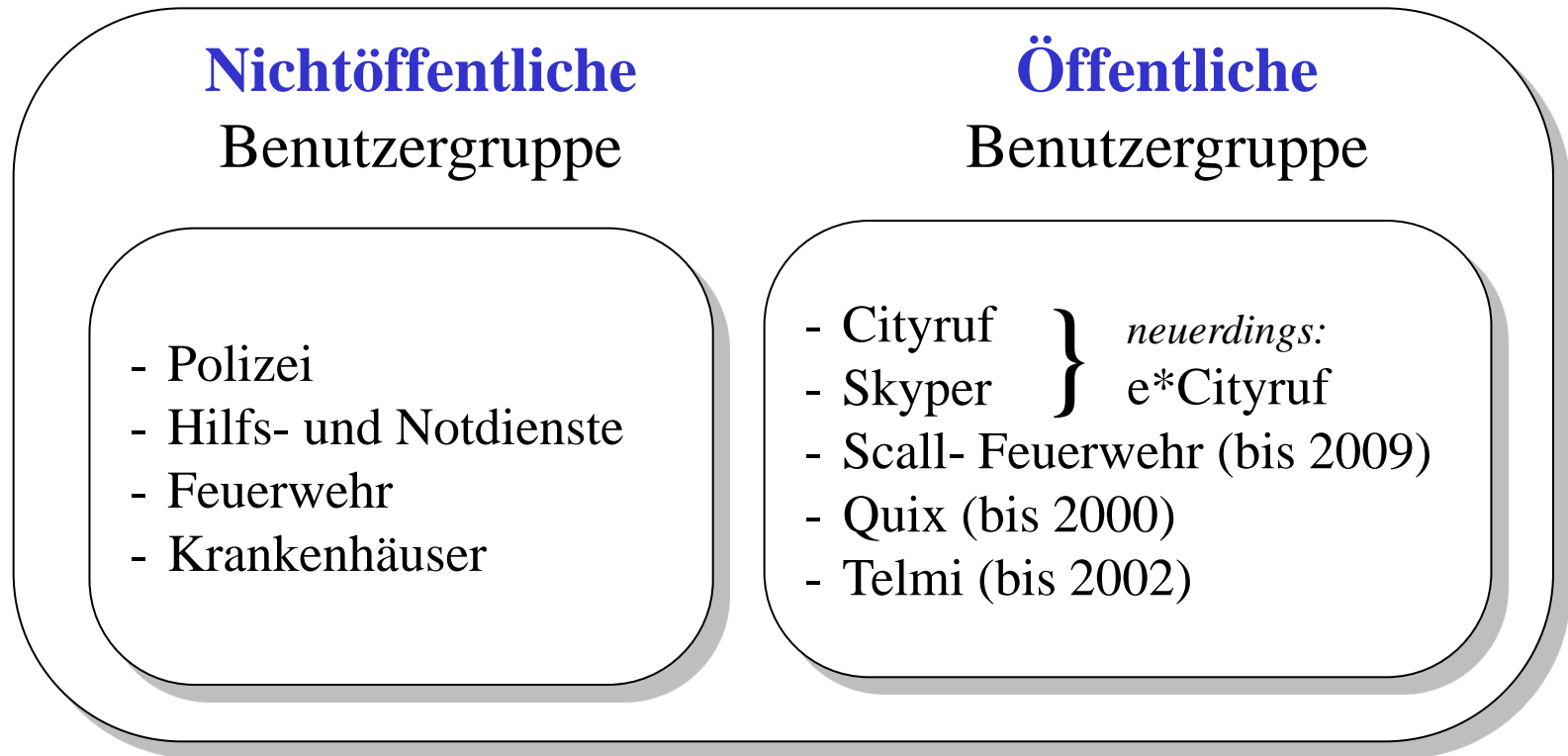
→ Details zu Praxisbeispielen, vgl.

[http://www.verizonmessaging.com/selecting\\_service.asp](http://www.verizonmessaging.com/selecting_service.asp)

**Charakteristika :**



## ➤ Benutzergruppen und Dienste (Übersicht)



- Beispiele für Paging-Dienste in BRD (Betreiber: zunächst Telekom; später von *e\*message* [ = *e\*message Wireless Information Services (W.I.S.) Deutschland GmbH* : kontinental-europäischer Marktführer im Funkruf ] übernommen und angeboten):
- **Cityruf**
  - **Skyper**: Kundenerreichbarkeit in 1 von 16 Rufzonen
  - **Scall**: Netz-Kundenerreichbarkeit im Umkreis von 25 km um das PLZ-Gebiet (für Geschäftskunden bis Nov. 2009; für Privatkunden bis 2002)
- neuerdings:*  
e\*Cityruf



# Anwendungsszenarien von sog. „Smart Paging“-Systemen

(siehe Produktspektrum kommerzieller Anbieter)

→ u.a. <http://www.commtechwireless.net/>

- **Gästepaging** (z.B. „Essen fertig“-Mitteilung in Selbstbedienungsrestaurants)
- **Personal-Rufsysteme** (z.B. in Firmen/Unternehmen)
- **Service „auf Knopfdruck“** (→ Kunden fordern möglichst umgehende Bedienung per Pager an)
- **Umfragesysteme** (z.B. elektron. Abfrage von Kundenzufriedenheit o.ä.)
- **Gastronomie** (→ Gäste- bzw. Personalrufsysteme, u.ä.)
- **Logistik** (→ Entladevorgänge von LKWs, freie Rampe für Entladen mittels Beeper gemeldet)
- **Gesundheitswesen** (→ Patienten- oder Mitarbeiterpager)

## 7.4.4 Exkurs: *Innovative Techniken*

### *Innovative Technik I: UMTS* – Mobilnetz-Standard für „3rd Generation Networks“

⇒ einer der weltweit dominierenden Standards für Mobilfunknetze der 3. Generation :

- **UMTS** (**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem) als existierender europäischer Vorschlag – sowie
- **IMT**-2000 (**I**nternationale **M**obile **T**elecommunications) als ITU-Standard aus dem Jahr 1999, vgl. <http://www.itu.int/home/imt.html> und *ITU-R M.1457 Recommendation*.

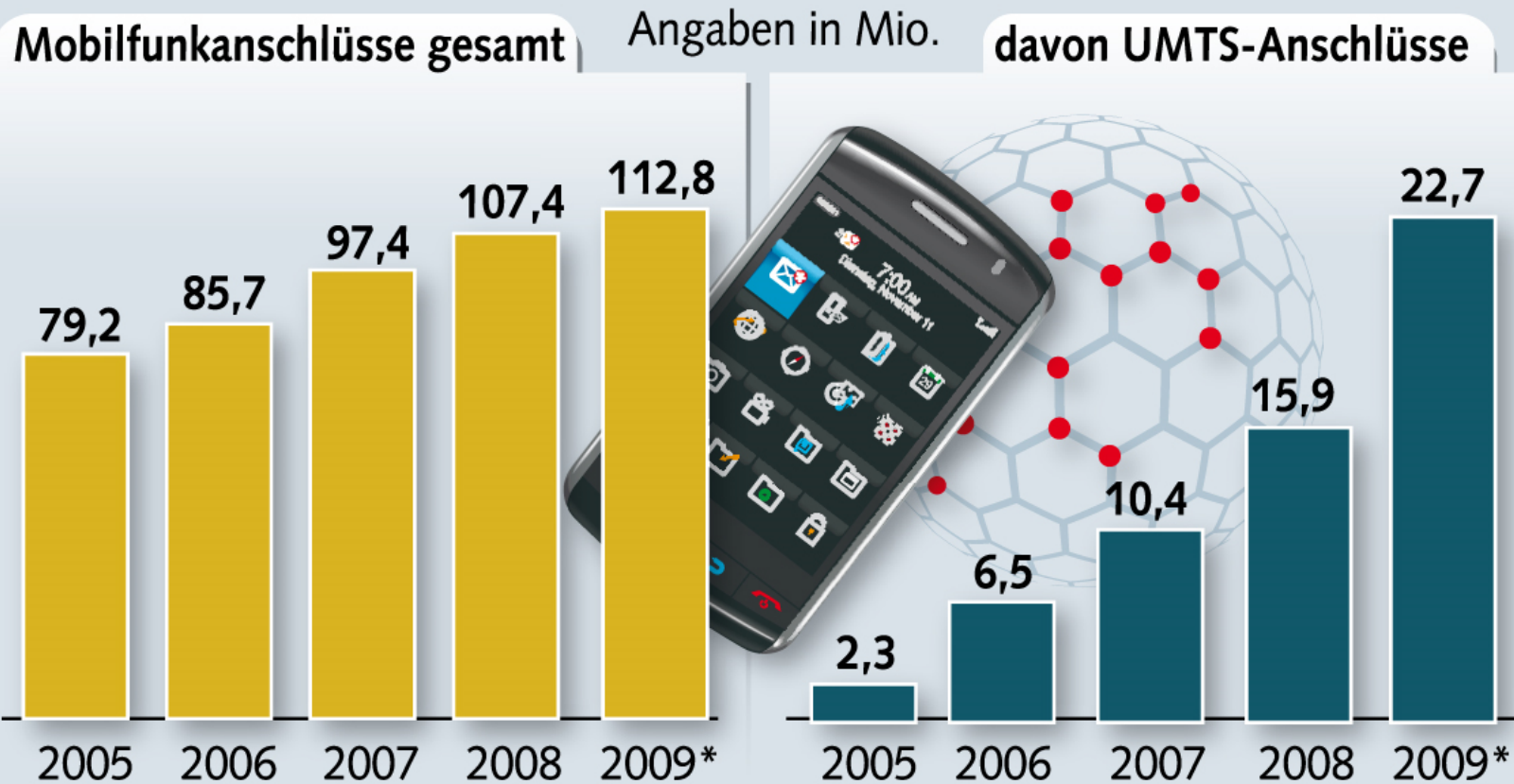
#### ➤ Charakteristika UMTS:

- Datenrate abhängig von Gesamtleistung des jeweiligen Versorgungsbereichs und von Aufenthaltsort der MS  
(z.B.  $\leq 2$  Mb/s in Gebäuden bzw.  $\leq 384$  kb/s bei weiträumiger Versorgung)  
→ Datenrate ausreichend für z.B. Audio-/Videokommunikation und schnellen Internet-Zugang
- genutzter Frequenzbereich  $\subseteq [1900, 2200]$  MHz
- Realisierung flächendeckender Versorgung (auch unabhängig von terrestrischen Basisstationen) durch Einbeziehung von Verbindungen über Nachrichtensatelliten  
→ dann jedoch reduzierte Datenraten !
- Erste, partielle Netzverfügbarkeit ab 2003 (zunächst nicht flächendeckend !); erste Netz-Versuchsphase startete ab 2001; Jan. 2009 existierten bereits ca. 16 Mio. UMTS-Nutzer (in D)

# UMTS : Entwicklung 2005 - 2009

## UMTS-Boom in Deutschland

20 Prozent der deutschen Mobilfunkanschlüsse mit UMTS



⇒ Standard für breitbandige Mobilfunknetze im MAN-Bereich

vgl. [MaF07] J. Maucher, J. Furrer: „WiMAX – Der IEEE-802.16-Standard: Technik, Anwendung, Potenzial“, Heise-Verlag, 2007, 407 S.

- Standardisierung seitens *IEEE-802.16 Working Group* (1. Standard-Version: Dez. 2001)
- Genauer: *WiMAX* = ein konkretes Profil der IEEE 802.16-Standardfamilie

➤ Einige *Entwurfsziele und Charakteristika* von **WiMAX**:

- Max. erreichbare Datenrate im Bereich von 134 Mb/s (für die Summe sämtlicher an eine Basisstation BS angeschlossenen Teilnehmer/Subscriber Stations SS);
- Reichweite im Bereich mehrerer km (bis ca. 50 km);
- u.a. Unterstützung eines schnellen Internet-Zugangs (z.B. sofern DSL nicht verfügbar); auch besonders interessant für Schwellen- und Entwicklungsländer
- genutzter Frequenzbereich  $\subseteq [10, 66]$  GHz (= Bereich der Richtfunkfrequenzen); in D:  $\subseteq [23, 38]$  GHz ; mögl. Bandbreiten: 20, 25, 28 MHz;
- Verfügbarkeit von > 150 Pilotnetzen (weltweit) bereits Anfang 2006;
- Ermöglichung schneller und kostengünstiger, temporärer Netzinstallationen (z.B. bei Sportgroßveranstaltungen, Messen, Konzerten, etc);
- QoS-Unterstützung für Echtzeitkommunikation (Überlagerung mit Nichtezeit-anwendungen);
- Standard nur für Schichten 1 und 2 (OSI-Modell) – ergo z.B. Basis für IP oder ATM;
- unterstützte Topologien: Punkt-zu-Punkt, Punkt-zu-Mehrpunkt, irregulär vermascht;
- flexible und dynamische Anpassung von Codierung und Modulation an aktuelle Ausbreitungsbedingungen auf Funkkanal; Unterstützung Multiantennentechnik.

Bezeichnung	<i>IEEE 802.16</i>	<i>IEEE 802.16a</i> <i>IEEE 802.16REVd</i> <i>IEEE 802.16d-2004</i> <i>(WiMAX)</i>	<i>IEEE 802.16e (WiMAX)</i>
Standardisierung	Dezember 2001	Januar 2003 bis Juli 2004	Dezember 2005
Frequenzband	10 bis 66 GHz	2 bis 11 GHz	0,7 bis 6 GHz
Bandbreiten	20, 25 und 28 MHz	skalierbar von 1,5 bis 20 MHz	
max. Datenrate	bis zu 134 MBit/s (28- MHz-Kanal)	bis 75 MBit/s (20-MHz-Kanal)	bis zu 15 MBit/s (5-MHz-Kanal) max.
Reichweite	bis zu 75 km	bis zu 5 km mit Innenantenne; bis zu 15 km mit Außenantenne; maximal 50 km	bis zu 5 km typisch bis zu 1,5 km
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM256, OFDMA, 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	OFDM256, OFDMA , 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Empfänger	fest	fest mit Außenantenne für Innenanwendungen, eingeschränkte Mobilität	nomadische Nutzung (nicht mit Mobilfunk vergleichbar)

⇒ UMTS-Nachfolge-Standard für Mobilfunknetze auf Paketvermittlungsbasis („All IP“-Netz)

vgl. [FaK08] K. Fazel, S. Kaiser: *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems: From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX*. 2. Auflage. Wiley & Sons, Chichester 2008

- *LTE* steht für *Long Term Evolution* (alias: E-UTRAN / Evolved UTRAN; High Speed OFDM Packet Access / HSOPA; Super 3G bzw. 3.9G)
- Standardisierung seitens **3rd Generation Partnership Project** oder **3GPP**; 3GPP ist eine weltweite Kooperation von Standardisierungsgremien für die Standardisierung im Mobilfunk (endgültige Version noch in spe: Release 11, Anfang 2011 publiziert)

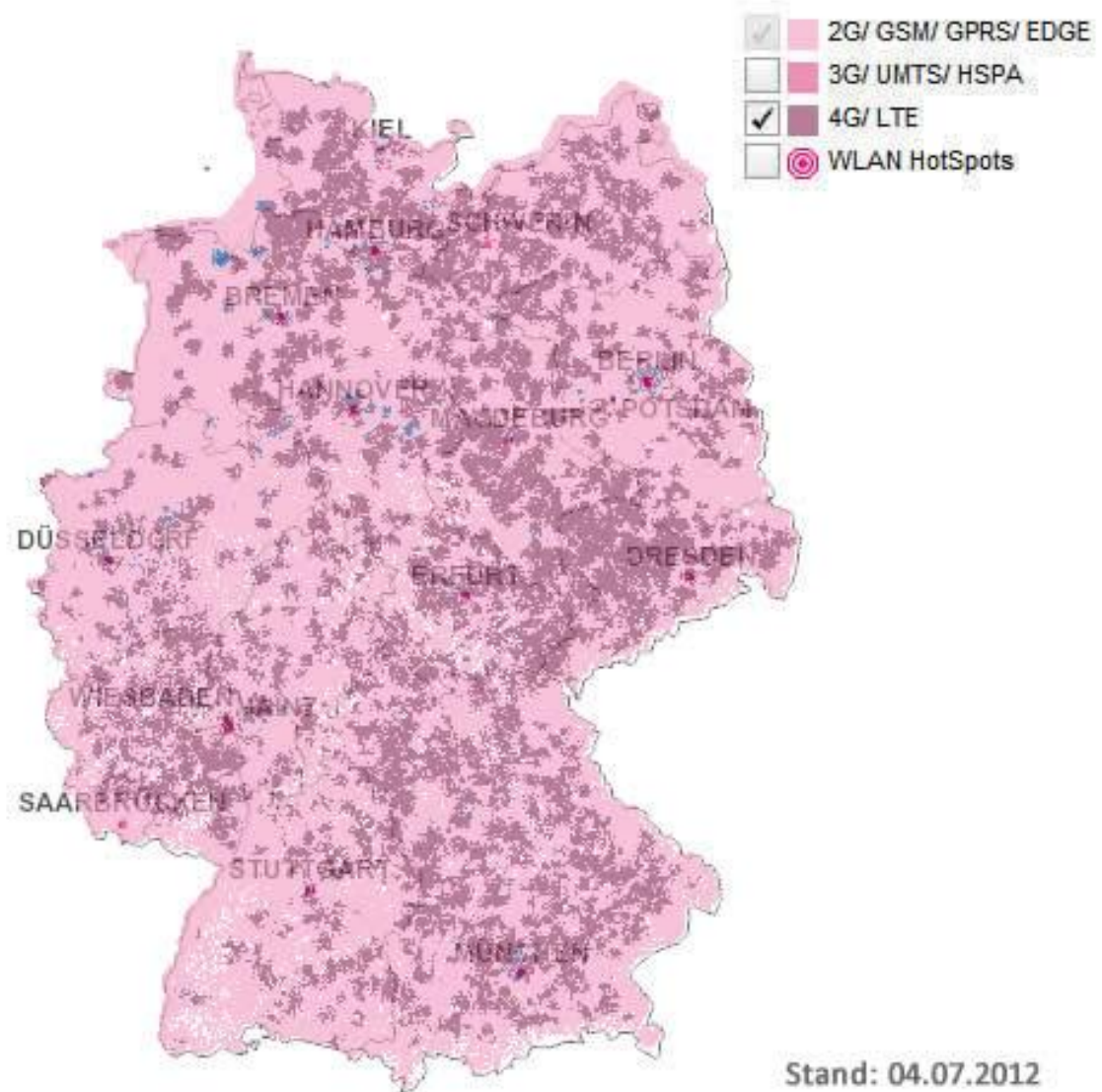
➤ Einige *Entwurfsziele und Charakteristika* von **LTE**:

- Kostengünstiges Angebot von Datendiensten mit hohen Datenraten; Zugang zum mobilen Internet;
- Verwendung von Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing-Techniken (OFDM) sowie Multiple-Input-Multiple-Output-Antennentechnologie (MIMO);
- LTE bietet skalierbare Kanalbandbreiten von 1,25 MHz; 2,5 MHz; 5 MHz; 10 MHz; 15 MHz und 20 MHz;
- Mögliche Geschwindigkeit der mobilen Endsysteme bis zu 500 km/h;
- *Latenzzeiten*, d.h. Verzögerungszeiten vom Handy bis zum Festnetz < 5 ms;
- Kapazität einer LTE Funkzelle: bis zu 200 aktiven Teilnehmern bei einer Kanalbandbreite von 5 MHz;
- Handover vorgesehen zu Netzen auf Basis von z.B. IEEE 802.11 b/g und WiMAX;
- seit 2011 : Aufbau erster Netze auf Basis von LTE mit zügigem Wachstum (u.a. in Japan, D), s.u.

# Zur LTE-Verfügbarkeit

DKR: VII.55

Bild: Telekom LTE-Verfügbarkeitskarte (siehe: <http://www.mobiles-lte-internet.de/lte-verfuegbarkeit/>)

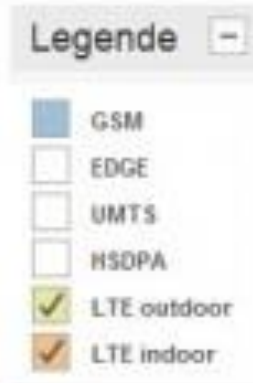




## Geschwindigkeit des LTE-Netzausbaus in Deutschland

(am Beispiel von Vodafone während des Jahres 2012; Mai – Juli '12)

Vodafone LTE-Verfügbarkeit  
(Stand: 13. Mai 2012)



Vodafone LTE-Verfügbarkeit  
(Stand: 12. Juli 2012)





## Geschwindigkeit des LTE-Netzausbaus in Deutschland

(am Beispiel von Vodafone während des Jahres 2012; Juli – Dez. '12)

Vodafone LTE-Verfügbarkeit  
(Stand: 12. Juli 2012)

Vodafone LTE-Verfügbarkeit  
(Stand: 31. Dez. 2012)



*Nota bene:* Das Beispiel illustriert exemplarisch auch die imposanten Wachstumsraten sowie den hohen Innovationsgrad in vielen Bereichen der Mobilnetze und der drahtlosen Kommunikation !

# 7.5 Satellitenkommunikation

Zur Signalübertragung über Nachrichtensatelliten, vgl. Abschn. 3.4.1

## ➤ Klassen von Nachrichtensatelliten:

- **GEOs** (**G**eostationary **E**arth **O**rbiter) : Höhe ca. 36.000 km, synchron mit Erdrotation
- **MEOs** (**M**edium **E**arth **O**rbiter) : Höhe ca. 10.000 – 15.000 km
- **LEOs** (**L**ow **E**arth **O**rbiter) : Höhe ca. 700 – 1.500 km

dazwischen: ca. 2.000-6.000 km → innerer **Van-Allen-(Strahlungs-)Gürtel** ;  
 ca. 15.000-30.000 km → äußerer **Van-Allen-(Strahlungs-)Gürtel**  
 [mit hoher Konzentration ionisierter Partikel]



## ➤ Beispiele für Satellitenkommunikationssysteme mit

- **GEOs: Inmarsat** (**I**nternational **MAR**itime **SAT**ellite Organisation) seit 1982  
 → 9 geostat. Satelliten mit Abdeckung gesamter Erdoberfläche (außer Polargebiete); Frequenzbereich : [1.5, 1.6] GHz; Kommunikation mit mobilen Stationen (z.B. MS auf Schiffen, in Flugzeugen); Datenraten : 1.2 bis 64 kb/s;

**Inmarsat – Anwendungsgebiete**, u.a.

- Kommunikation für Schiffe auf "hoher See"
- Sprach-/Fax-/Datenübertragung aus Flugzeugen
- Notrufe (z.B. bei Expeditionen)
- Telefax
- Steuerung von Fahrzeugflotten, ...

## Beispiele für Satellitenkommunikationssysteme (Forts.) mit

- *MEOs* :      **GPS** (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem)  
→ 24 Satelliten in ca. 18.000 km Höhe : für jeden Punkt der Erde Zugang zu  $\geq 3$  Satelliten (i.a. 5-9 Satelliten);  
exakte Positionsbestimmung für MS (d.h. GPS-Empfänger, z.B. Fahrzeug) anhand der Laufzeiten für die, seitens der Satelliten gesendeten, Zeitsignale;  
Positionsgenauigkeit : wenige m
- *LEOs* :      vgl. "**Iridium-Flop**" mit Betriebsdauer 1998-3/2000  
unter Verwendung von 66 LEO-Satelliten zur Kommunikation  
MS  $\leftrightarrow$  MS.

# Bewertungskriterien für Mobilfunknetze



- **Kosten :**
  - Betreibersicht :
    - erstmaliger Aufbau des Netzes, z.B. Aufbau von Basisstationen, Bau und Positionierung von Satelliten
    - bei Reparaturen : Satellitenausfall (!?)
  - Netzbenutzersicht :
    - Kosten für MS
    - Kosten für Netzbenutzung, z.B. abh. von Verbindungsdauer, übertragenem Datenvolumen, Art des genutzten Dienstes, Aufenthaltsort, monatl. Grundgebühr, "Flatrate", ...
- **Sicherheit :**
  - Fehlerfreiheit der DÜ
  - Abhörsicherheit
  - Benutzer- und MS-Authentifikation
  - "Closed User Group", ...
- **Verfügbarkeit des Netzzugangs :**
  - zu verschiedenen Zeitpunkten → i.a. besser bei Paketvermittlung
  - an unterschiedlichen Orten
- **Qualität der DÜ** → i.a. besser bei digitalen Netzen
- **verwendete Sendeleistung** → Implikationen für Reichweite, Energiebedarf, Gesundheitsschädlichkeit (!?)
- **(weltweite) Offenheit für Kommunikation** in andere existierende Netze (insbesondere Festnetze, Internet, ...)

## ➤ **Resümee :**

genereller Nachteil : Frequenzengpass (auch bei Wiederverwendung von Frequenzbereichen !)

DENNOCH : exponentielles Wachstum bei Nutzung von Mobilkommunikationsnetzen (der jüngsten Generation) *und*

weitere Belege für zu erwartende zukünftige Bedeutung :

Prognosen für Mobilnetzbetreiber, staatliche Einnahmen für UMTS-Lizenzen, Mobile IP, F&E zu Sensornetzen in den USA, u.a.m.

## **Weitere Tendenzen:**

- Mobilstationen im „Dual-Mode“-Betrieb, d.h. wahlweiser Zugang zu zellularen (Weitverkehrs-)Netzen sowie zu WiFi-Netzen (WLANs);
- Leistungsengpässe in spe; *nota bene*: einziges Youtube-Video entspricht der Datenmenge von ca. 500.000 SMS

**Mobilnetze als wichtig(st)es Beispiel für die Tendenz zu:**

**„ANYTIME, ANYWHERE“ Kommunikationsmöglichkeiten**

**(in den Industrienationen! siehe jedoch : „Digital Divide“)**