

# Zusammenfassung - Netzwerke II

## Drahtlose Netzwerke

### 1.1.1 Grundlagen

**Wireless Host (Drahtloser Teilnehmer):** Endsystem auf dem die Applikation läuft (stationär oder mobile), z.B. Smartphone, PC

**Wireless Link (Drahtlose Verbindung):** Verbindet Teilnehmer direkt oder per Basisstation (Abdeckung, Datenrate)

**Basisstation (Base Station):** Überträgt Datenpakete zwischen drahtgebundenem zu drahtlosem Netzwerk, meist mit drahtgebundenem Netzwerk verbunden (WLAN Access Point, UMTS Basisstation)

**Drahtloses Infrastruktur Netzwerk:** Netzwerkteilnehmer sind über Basisstation mit dem Netz verbunden

**Drahtloses Ad-Hoc Netzwerk:** Keine Infrastruktur (Basisstationen), Teilnehmer bilden das Netz selbst.

Nachteile: passive Teilnehmer haben trotzdem Stromverbrauch, eigene Daten landen auf fremden Mobiltelefonen und höhere Latenz

**Single-Hop:** Genau ein wireless Link

**Multi-Hop:** Übertragung geht über mehrere wireless Links in Folge

Übliche Datenraten		Beispiele für Single und Multi-Hop	
		Single Hop	Multiple Hops
<b>GSM (2G)</b>	0.56 Mb/s	Infrastruktur	Host verbindet sich mit Basisstation (Wifi, zellulare Netzwerke) und diese dann mit dem Internet
<b>UMTS (3G)</b>	4 Mb/s		
<b>LTE (4G) und 802.11b</b>	5 - 11 Mb/s		
<b>802.11ag</b>	54 Mb/s	Keine Infrastruktur	Keine Basisstation und auch keine Verbindung zu weiterem Internet. Muss durch mehrere drahtlose Geräte: <i>MANET</i> , <i>VANET</i>
<b>802.11n</b>	200 Mb/s		

### Herausforderungen bei drahtloser Übertragung

- Teilnehmer zeitweise nicht erreichbar (Funkloch)
- IP-Adresse ändert sich
- Höhere Anzahl an Übertragungsfehlern durch Interferenz (Störung durch andere Teilnehmer) oder Dämpfung → Bessere Fehlerbehandlung
- Kurzer Paketverlust führt bei TCP zu angeblicher Netzüberlastung (obwohl nur kurzzeitige Störung)
- Medium kann abgehört werden
- Mehrwege-Ausbreitung: Signale werden an unterschiedlichsten Oberflächen reflektiert → Am Empfänger sowohl konstruktive als auch destruktive Überlagerung möglich

⇒ Funkkanal ist zeit- und ortsvariant!

**Modulationsarten:** Frequenz-, Amplituden- & Phasenmodulation, Quadraturamplitudenmodulation (QAM) ⇒ Kombination von Amplituden- und Phasenmodulation (*QAM-8*: 3 Bit pro Symbol, *QAM-1024*: 10 Bit pro Symbol).

Höhere Modulationsarten bieten höhere Übertragungsrate sind aber fehleranfälliger. Bei größerem Signal-Rausch-Abstand (SNR - Stärke des Nutzsignals bezogen auf Störung) kann höhere Modulation eingesetzt werden da Kanal anscheinend nicht so stark gestört (*QAM-16* = 4Mbps, *QAM-256* = 8Mbps)

**Bit-Error-Rate (BER):** Wahrscheinlichkeit, dass ein fehlerhaftes Bit übertragen wird.

**Hidden Terminal Problem:** Teilnehmer A, B & C. A und B hören sich, B und C hören sich aber A und C hören sich nicht → Bei Übertragung  $A \rightarrow B$  und  $C \rightarrow B$  stören sie sich unbewusst gegenseitig.

TODO: BEHEBUNG / VERMINDERUNG DURCH?

### Aufteilen eines Mediums:

- TDMA (Time Division Multiple Access)
  1. synchron: Jeder Teilnehmer hat festen Zeitslot, nur in diesem kann er senden
  2. asynchron: keine festen Zeitslot, jeder nutzt aktuellen Zeitslot wenn er Daten hat - Absender wird in Header geschrieben

- **FDMA** (Frequency Division Multiple Access)
  1. Teilnehmer nutzen unterschiedliche Frequenzen
- **CDMA** (Code Division Multiple Access)
  1. Teilnehmer nutzen unterschiedliche Spreizcodes, **Vorteil:** Störungsunempfindlicher, **Nachteil:** Mehr Datenübertragung
  2. Zu übertragende Daten werden vom Sender mit Spreizcode multipliziert, Ergebnisbits  $\Leftrightarrow$  **Chips**
  3. Empfänger multipliziert empfangende Daten mit Spreizcode des Senders
  4. Teilnehmer senden zur gleichen Zeit im gleichen Band, Daten werden beim Empfänger durch bitweise Multiplikation mit Code zurückgewonnen
  5. Andere Teilnehmer wirken als zusätzliches Rauschen ( $\Rightarrow$  Umso mehr Teilnehmer umso geringerer SNR  $\Rightarrow$  Sendeleistung erhöhen)

### CDMA - Beispiel zur Kodierung

Sender hat Spreizcode  $(1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1)$  und versendet Daten  $d_1 = -1, d_0 = 1$ . Nach Multiplikation der Daten mit Spreizcode:

$Z_{1,m} = (-1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1)$ ,  $Z_{0,m} = (1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1)$ . Der Empfänger dekodiert folgendermaßen:  $\frac{\sum_{m=1}^M Z_{i,m} \cdot c_m}{M}$ .

Dabei ist  $M$  Länge des Spreizcodes (in diesem Beispiel 8),  $c_m$  Spreizfaktor an der Stelle  $m$ ,  $Z_{i,m}$  die gespreizten Daten, d.h:

$$d_1 = \frac{(-1) \cdot 1 + (-1) \cdot 1 + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + 1 \cdot (-1) + 1 \cdot (-1)}{8} = \frac{-8}{8} = -1$$

$$d_0 = \frac{1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + (-1) \cdot (-1) + 1 \cdot 1 + (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1)}{8} = \frac{8}{8} = 1$$

Bei mehreren Sendern multipliziert der Empfänger das überlagerte Signal mit dem jeweiligen Spreizcode, da diese orthogonal zueinander sind, kommen die richtigen Daten des jeweiligen Senders wieder raus.

### 1.1.2 Wireless Local Area Networks

#### Protokollstack:



**802.11:** '97, FHSS/DSSS, 1-2MBit/s, 2.4 GHz

**802.11b:** '99, DSSS, 1 - 11MBit/s, 2.4 GHz

**802.11n:** '09, OFDM/MIMO, 6 - 600MBit/s, 2.4 oder 5 GHz

**802.11ac:** '14, MU-MIMO, bis zu 6.93 GBit/s, 5 GHz

**802.11ay:** '19, 20 - 40 GBit/s, 60GHz

#### Begriffe:

- **Basic Service Set (BSS):** Stationen die auf dem gleichen Übertragungskanal Daten austauschen
- **Extended Service Set (ESS):** Zusammenschluss mehrerer BSS zu Kommunikationsnetz, Roaming zwischen den BSS
- **Service Service Set ID (SSID):** Name des Netzwerkes
- **Ad-Hoc Mode / Independent BSS (IBSS):** Alle Stationen gleichberechtigt, kein Access Point
- **Infrastructure BSS:** Geräte kommunizieren über AP (=Übergang zu drahtgebundenem Netz)

#### Kanäle:



- Bis zu 13 Kanäle mit je 5 MHz zwischen 2410 MHz - 2483 MHz.
- Bei **DSSS** Kanalbreite = 22MHz, bei **OFDM** = 20 MHz / 40 MHz (ohne / mit Kanalbündelung). Störungsfreier Betrieb nur bei passendem Abstand (5 Kanäle bei DSSS).

**Hierzu bitte auch das erste Übungsblatt vom Praktikum durchlesen!**

Accesspoint sendet regelmäßig **Beacon Frames** mit SSID und MAC-Adresse. Wireless Stations scannen Kanäle nach diesen Frames, wählen verfügbaren AP (Einstellungen & Signalstärke) aus, führt Authentifizierung durch und erhält anschließend IP-Adresse per DHCP.

**Passives Scannen**

PC ist passiv, hört Kanal ab

APs senden *Beacons*

PC sendet Association Request an ausgewählten AP

AP sendet Association Response an PC

**Aktives Scannen**

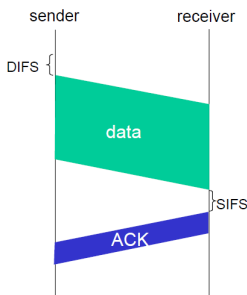
PC sendet Probe Request

APs senden Probe Response

PC sendet Association Request an ausgewählten AP

AP sendet Association Response an PC

Keine Kollisionserkennung (Collision Detection (CD)) möglich  $\Rightarrow$  ACKs auf Schicht 2

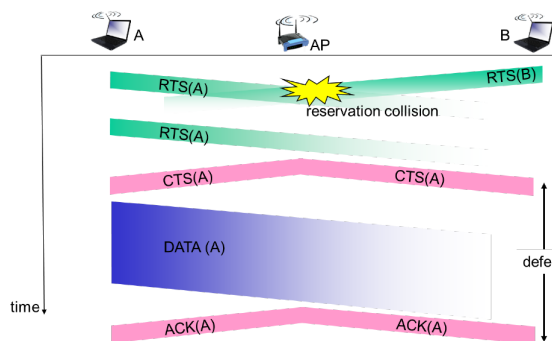


- Sender wartet Zeitspanne *DIFS* (Distributed Coordination Function Interframe Spacing) während der Medium frei sein muss
- Sender überträgt Daten (kein Collision Detection)
- Empfänger prüft CRC
- Empfänger sendet ACK falls CRC korrekt nach Wartezeit *SIFS* (Short Interframe Spacing) ( $SIFS < DIFS$ ) um Senden eines normalen Frames dazwischen zu verhindern außerdem Umschalten von *Empfangen* auf *Senden*

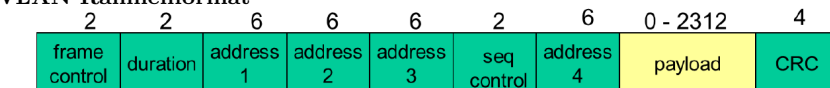
**Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA):**

- Sender lauscht (*Carrier Sense*) ob Medium frei (Dauer: **1 DIFS**)
- Falls frei: *random backoff* im aktuellen *Contention Window* würfeln wenn mehrere Stationen gleiches DIFS abgewartet haben und es sonst zu Kollision käme. Nach Ablauf des *random backoffs* Daten übertragen
- Falls nicht frei: Warten bis Kanal frei, wenn Kanal länger als 1 DIFS frei, dann *random backoff* verringern & anschließend Daten senden
- Falls kein ACK erfolgt: Contention Window verdoppeln und Daten erneut senden
- Empfänger sendet ACK nach Ablauf eines **SIFS** bei korrekt erhaltenen Daten

**Nachteile CSMA/CA:** Senden dauert lange, Kollision wird nicht erkannt - ist sehr zeitaufwändig und sollte daher vermieden werden  
 Besser eine Kollision bei kurzen Kontrollpaketen als bei langen Datenpaketen  $\Rightarrow$  **RTS/CTS**-Verfahren

**Ablauf:**

- Sender reserviert Kanal mit kurzem **Request-To-Send (RTS)**-Paket, Kollisionen möglich aber weniger schlimm da nur kleines Paket welches günstig erneut gesendet werden kann
  - Empfänger antwortet mit **Clear-To-Send (CTS)**
  - Sender sendet Datenpaket
- $\Rightarrow$  Andere Stationen empfangen RTS & CTS und berücksichtigen belegten Kanal  
 $\Rightarrow$  Funktioniert auch bei *Hidden Terminal* da CTS empfangen wird

**WLAN Rahmenformat**

Funktion	ToDS	FromDS	Add. 1	Add. 2	Add. 3	Add. 4
IBSS	0	0	destination	source	BSSID	unused
To AP	1	0	BSSID	source	destination	unused
From AP	0	1	destination	BSSID	source	Unused
WDS (bridge)	1	1	receiver	transmitter	destination	source

- Max. 2313 Bytes an Nutzdaten
- 3. Adresse erlaubt Umsetzung auf Ethernet-Rahmen
- WLAN-Reichweitenvergrößerung durch überlappende BSSs, IP-Adresse bleibt gleich da identisches Subnetz - nur AP ändert sich
- $\Rightarrow$  Switch ändert Port $\leftrightarrow$ IP-Zuordnung wenn sich Teilnehmer vom neuen AP meldet

Unterschied CSMA/CA $\leftrightarrow$ CSMA/CD: CSMA/CD bei Ethernet sendet *JAM*-Signal, CSMA/CA erkennt keine Kollision (versucht nur zu verhindern)

### 1.1.3 Personal Area Networks (PAN)

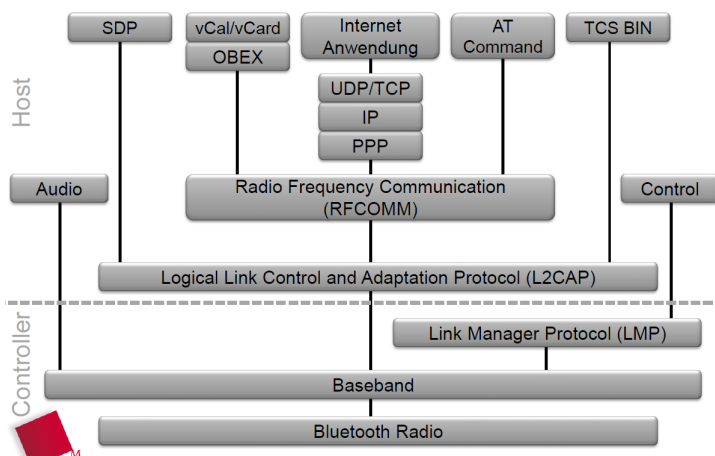
Drahtlos oder drahtgebundenes (Ad Hoc) Netzwerk von Kleingeräten, oft nur wenige Meter Reichweite.

#### Bluetooth

- Mehrfachzugriff mit TDMA, Frequenzsprungverfahren (Kanalwechsel nach jedem Zeitslot  $\Rightarrow$  Robustheit gegen Störer)
- Class 1: 100mW - 100m Reichweite, ◦ Class 2: 2.5mW - 10m Reichweite, ◦ Class 3: 1mW - 1m Reichweite
- '99: Einführung, 732,2kbit/s ◦ '04: v2.0 mit bis 2.1Mbit/s ◦ '16: v5.0 mit IoT Erweiterungen
- Ad Hoc Netzwerk (keine Infrastruktur nötig) ◦  $\leq 8$  aktive &  $\leq 255$  geparkte Geräte ◦ Master gibt Zeit vor, gewährt Slaves, aktiviert geparkte

#### Bluetooth Profile

Profil spezifiziert Anwendung von Bluetooth für bestimmten Zweck



- **AT Kommando:** Kommando zur Modemsteuerung
- **Baseband:** Basisband, Paketformate
- **L2CAP:** Logical Link Control and Adaptation Protocol: Bietet verbindungsorientierte- und lose Dienste zwischen Baseband und höheren Schichten
- **MCAP:** Multi-Channel Adaptation Protocol: Stellt Kontrollkanal *MCL* und Datenkanäle *MDL* bereit
- **RFComm:** Virtuelle, serielle Verbindungen, Emulation serieller Ports
- Geräte im HealthCare Bereich ursprünglich per RFCOMM angebunden  $\Rightarrow$  '08 Verabschiedung von standardisiertem *Health Device Profile*
- Zwei Rollen: **Source** = Datenquelle, **Sink** = Empfänger (Smartphone)
- Verbindungsauf- und abbau, Wiederaufbau abgebrochener Verbindungen

Sensoren (z.B. Pulsmesser, Thermometer) sollen lange Laufzeit ( $\Rightarrow$  geringer Stromverbrauch) aufweisen. Bluetooth 4.0 beinhaltet *Bluetooth Smart* (Low-Energy Profil auf Basis von einem *Generic Attribute Profile* (GATT)).

#### ZigBee

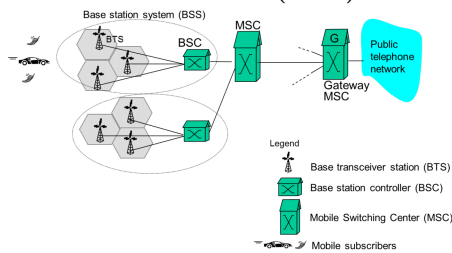
- Ziel: Drahtlose Übertragung bei geringem Stromverbrauch (geringe Datenraten: 20 - 250kbit/s, selten aktiv (*low duty-cycle*)).
- Übertragen von Sensordaten, Heim- und Gebäudeautomatisierung
- **Endgerät:** Reduced Function Device *RFD* - nur Teil des ZigBee Protokolls implementiert (geringere Kosten)
- **Router:** Full Function Device *FDD*, kann Daten weiterleiten ◦ **Koordinator:** Gibt zusätzliche Parameter vor, koordiniert das PAN

### 1.1.4 Zellulare Netzwerke

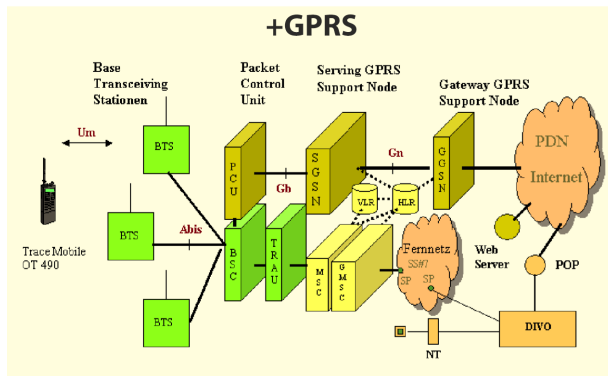
- **1G:** Analog (A/B/C-Netz) ◦ **2G:** GSM ab '92, 2.5G = GPRS, 2.75G = EDGE ◦ **3G:** UMTS ab '03 ◦ **4G:** ab '14 LTE ◦ **5G:** ab '21, Latent  $< 1\text{ms}$
- **Mobilfunkzelle:** Von Base Transceiver Station (BTS) abgedeckter Bereich ◦ **Air-Interface:** Untere 2 Netzwerkschichten Mobile Station  $\Leftrightarrow$  BTS

#### Ressourcenzuteilung in der Zelle:

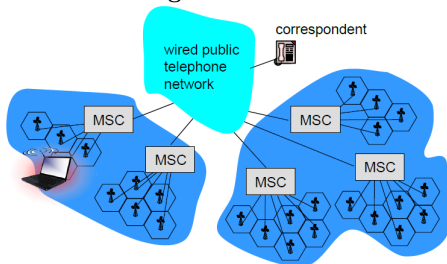
- **GSM:** Kombination aus FDMA & TDMA, Spektrum wird in einzelne Frequenzkanäle, jeder Kanal wiederum in Zeitschlitz aufgeteilt
- **UMTS:** CDMA Verfahren - Unterschiedlicher Code für unterschiedliche Nutzer

**2G Netzwerkkonstruktion (GSM):**

- **Base Station Controller (BSC):** übernimmt Ressourcenzuweisung und Mobilitätsmanagement in einem Base Station Subsystem (BSS)
- **Mobile Switching Center (MSC):** Anrufauf- und Abbau, Verbindung ins Festnetz, Mobilitätsmanagement
- **Gateway-MSC:** Vermittlungsfunktionen, Verbindung zu anderen Netzen bzw. Festnetz
- **PSTN:** Public Switched Telephone Network



- Mit GPRS-Komponenten erstmals paketvermittelte Datendienste
- verwendet bereits bestehende BTS mit
- **Packet Control Unit (PCU):** Kommuniziert über den BSC mit Endgerät und auch mit der SGSN, überwacht und verwaltet Datenpakete, Ressourcenverteilung
- **Serving GPRS Support Node (SGSN):** Übernimmt Vermittlung der Datenpakete und die Funktion des VLR
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN):** Ist der Router, der das Mobilfunknetz mit dem Internet verbindet und die IP-Adresse zur Verfügung stellt
- **Home Location Register (HLR):** Datenbank mit Informationen zum Nutzer, enthält Rufnummer und zuletzt bekannten Aufenthaltsort
- **Visitor Location Register (VLR):** Datenbank mit Informationen zu allen Nutzern, die sich im vom MSC bedienten Bereich befinden
- Sprachdaten laufen über  $BTS \Leftrightarrow BSC \Leftrightarrow MSC \Leftrightarrow G - MSC \Leftrightarrow Festnetz$
- Paketdaten laufen über  $BTS \Leftrightarrow BSC \Leftrightarrow PCU \Leftrightarrow SGSN \Leftrightarrow GGSN \Leftrightarrow Internet$

**Mobilitätsmanagement:**

- Nutzer kann sich zwischen Zellen verschiedener MSCs, auch von anderen Providern, bewegen
- Mobilgerät prüft im eingeschalteten Zustand, ob sich aktuelle Location Area ändert
- ⇒ sendet Location Update mit neuer Area ⇒ Home Location Register (HLR) wird aktualisiert
- Eingehender Anruf: Befragung von HLR nach aktuellem Ort des Angerufenen über dessen temporäre *Roaming-Nummer*, anschließend Verbindungsaufbau über das VLR des MSC
- ⇒ Falls gerade keine Verbindung besteht: Broadcast-Nachricht über alle Basisstationen des jeweiligen MSC (*Paging*), Mobile meldet sich ggf., damit genaue Basisstation bekannt

**GSM Handover (= MSC/Inter-BSC Handover)**

Mobilgerät wechselt bei bestehender Verbindung von einer Basisstation zur anderen.

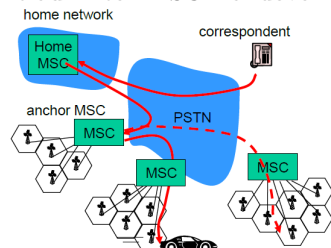
**Ursachen:** Bewegung des Nutzers (stärkeres Signal eines anderen BSS), aktuelle Zelle überlastet

**Ablauf Inter-BSC Handover:**

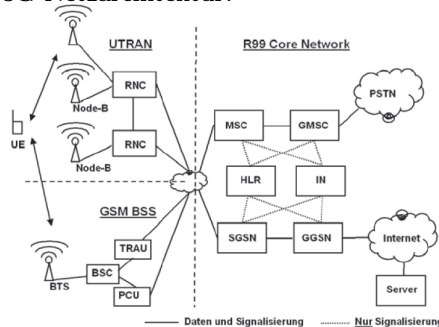
- Altes BSS informiert MSC über anstehendes Handover
- MSC reserviert Ressourcen zu neuer BSS
- Neue BSS reserviert Zeitslot (TDMA)
- Neue BSS signalisiert an MSC und alte BSS Bereitschaft zum Handover
- Alte BSS weist Mobilgerät an, Handover zu neuer BSS durchzuführen
- Mobilgerät aktiviert Kanal in neuer BSS
- Mobilgerät bestätigt Handover an MSC, diese leitet Daten um
- MSC weist alte BSS an, Ressourcen des Mobilgeräts freizugeben

**Arten von Handover:**

- *Intra BSC:* Aktuelle und neue Zelle gehörten zum selben BSC
- *Inter BSC:* Aktuelle und neue Zelle gehören zu unterschiedlichen BSC aber gleichen MSC
- *Inter MSC:* Aktuelle und neue Zelle gehören zu unterschiedlichen MSC
- *Subsequent Inter MSC:* Teilnehmer wechselt nach *Inter MSC* in Zelle eines dritten MSC
- *Subsequent Handback:* Teilnehmer wechselt nach *Inter MSC* zurück in Gebiet des ersten MSC

**Ablauf Inter-MSC Handover:**

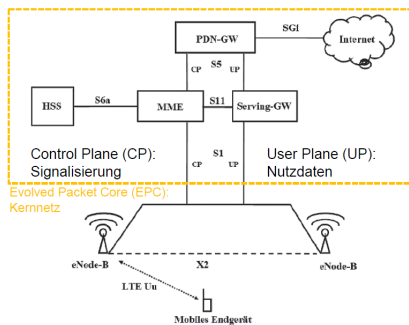
- Anker-MSC = erste MSC während eines Anrufs
- Daten bzw. der Anruf wird zunächst an Anker-MSC geleitet
- Dann Weiterleitung zu aktueller MSC

**3G Netzarchitektur:**

- Mit UMTS '99 neues Air-Interface *Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)*
- basierend auf Wideband-CDMA
- Ab UMTS v4 Umstellung auf IP basierte Kommunikation (Sprache & Daten)

**LTE & LTE Advanced (4G):**

Umstellung auf *Orthogonal Frequency Devision Multiplexing (OFDM)*: Übertragungstechnik mit flexibler Bandbreite zwischen 1.25 bis 20 MHz  
 LTE-Endgerät muss Mehrantennenverfahren unterstützen (*Multiple Input, Multiple Output MIMO*), LTE-Netz rein paketbasiert (Sprache per VoIP)

**1.1.5 Long Term Evolution (LTE, LTE-A)**

- **LTE + 2 Releases:** *LTE Advanced* - 3 Gbit/s DL bzw. 1.5 Gbit/s UL, Bündelung bis zu 5 Carrier
- **LTE + 3/4 Releases:** *LTE Advanced Pro* - Bündelung von bis zu 32 Carriern, QAM-256, LTE Narrow Band IoT, **5G** Standardisierung läuft
- **Packet Data Network Gateway:** Internetschnittstelle
- **Mobility Management Entity:** Mobilitätsmanagement
- **Serving-Gateway:** Weiterleitung von Nutzdaten ins Kernnetz
- **Home Subscriber Service:** entspricht HLR bei GSM
- **evolved Node-B (eNode-B):** Basisstation

**1.1.6 5G**

**Enhanced Mobile Broadband (eMBB):** Hohe Datenraten, **Massive Machine Type Communications (mMTC):** IoT Anwendungen

**Ultra-Reliable and Low-Latency Communication (uRLLC):** z.B. drahtlose Vernetzung in der Produktion

**5G New Radio:** Nutzung mehrerer Antennen (*MIMO*), mmWave-Bänder (24 - 30GHz), flexible und kürzere Slotzeiten (<1ms)

**Ziele:** E2E Latenz < 1ms, 1000x höheres Datenvolumen, 10-100x mehr Geräte, 10-100x mehr typische Nutzerdatenraten

**Umsetzung:** 5G Zellen mit LTE-Kernnetz (non-standalone), 2-3Gbit/s  $\Rightarrow$  5G mit 5G-Kernnetz (standalone), mmWave Bänder

**1.1.7 Zusammenfassung Drahtlose Netzwerke**

Ersetzen der unteren 2 Schichten (Link- & Physical-Layer) durch drahtlose Varianten  $\Rightarrow$  Auswirkungen auf obere Schichten minimal, aber:

$\Rightarrow$  Fehlinterpretation von Paketverlusten auf drahtlosem Link von TCP führt zu Congestion Window Verringerung  $\Rightarrow$  Datenrate sinkt

$\Rightarrow$  Verzögerung durch Link-Layer Retransmission (Auswirkungen auf Echtzeitanwendungen), Drahtloser Link meist geringere Datenrate