

**Einführung**

- **Aspekte der Mobilität (Folie 1.5)**
  - **Benutzermobilität:** Der Benutzer kommuniziert (drahtlos) "zu jeder Zeit, an jedem Ort, mit jedermann"
  - **Gerätemobilität:** Endgerät kann zu beliebigen Zeit, an einem beliebigen Ort im Netz angeschlossen werden
- Wunsch nach mobiler Datenkommunikation schafft Bedarf zur Integration von drahtlosen Netzen in bestehende Festnetze (lokaler Bereich: 802.11, Internet: Mobile IP, Weitverkehrsbereich: GSM, UMTS)
- Typische Verwendung im Straßenverkehr, „always best connected“ (immer so schnell wie möglich, softe Handover)
- **Auswirkungen der Endgeräteportabilität (Folie 1.12f)**
  - begrenzte Rechenleistung, niedrigere Qualität der Anzeigen, begrenzte Batterieleistung, Datenverlust, stark eingeschränkte Benutzungsschnittstelle, eingeschränkter Speicher, Höhere Fehlerraten durch Interferenzen, Restriktivere Regulierungen der Frequenzbereiche, niedrigere Übertragungsraten, höhere Verzögerungen, größere Schwankungen, geringere Sicherheit gegenüber Abhören, aktive Attacken, stets geteiltes Medium
- **Einfluss auf das Referenzmodell (Folie 1.29)**
  - Bitübertragungsschicht (Verschlüsselung, Modulation, Interferenzen, Dämpfung, Frequenzen)
  - Sicherungsschicht (Authentifizierung, Medienzugriff, Multiplexing, Medienzugangskontrolle)
  - Netzwerkschicht (Adressierung, Wegewahl, Endgerätelekalisierung, Handover)
  - Transportschicht (Staukontrolle, Flusskontrolle, Dienstqualität)
  - Anwendungsschicht (Dienstlokalisierung, neue Anwendungen, Multimedia, adaptive Anwendungen)

**Technische Grundlagen**

- **Frequenzbereiche für die Kommunikation (Folie 2.2)**
  - Verdrillte Drähte (Frequenz: 300 Hz, Wellenlänge: 1 Mm, VLF)
  - Koaxialkabel (Frequenz: 30 kHz – 300 MHz, Wellenlänge: 10 km – 1 m, LF / MF / HF / VHF)
  - Hohlleiter (Frequenz: 30 GHz, Wellenlänge: 10 mm, UHF / SHF / EHF)
  - Optische Übertragung: (Frequenz: 300 THz, 1  $\mu$ m, Infrarot / Licht / UV)
  - ITU-R veranstaltet regelmäßig Konferenzen zur Aushandlung und Verwaltung der Frequenzbereiche
- **Antennen (Folie 2.8ff)**
  - isotroper Punktstrahler: strahlt Leistung in alle Richtungen gleichmäßig ab
  - einfache Dipole: Richtung der Hauptstrahlungskeule
  - gerichtet: direkte Verbindungen von Basisstationen für Mobilfunknetze
  - Abmessung einer Antenne ist proportional zur Wellenlänge
  - Antennendiversität: Umschaltung und Kombinationen von mehreren Antennen
- **Signalausbreitungsbereiche (Folie 2.12)**
  - Übertragungsbereich: Kommunikation möglich, niedrige Fehlerrate
  - Erkennungsbereich: Signalerkennung möglich, keine Kommunikation möglich
  - Interferenzbereich: Signal kann nicht detektiert werden, Signal trägt aber zum Hintergrundrauschen bei
- **Signalausbreitung (Folie 2.13ff)**
  - Empfangsleistung nimmt im Vakuum um  $1/d^2$  ab
  - Beeinflussung durch Freiraumdämpfung, Abschattung, Reflexion, Refraktion, Streuung, Beugung
- **Multiplexing (Folie 2.17ff)**
  - Frequenzmultiplex (gesamte verfügbare Bandbreite wird in einzelne Frequenzabschnitte aufgeteilt)
  - Zeitmultiplex (Kanal belegt gesamten Frequenzraum für einen gewissen Zeitabschnitt)
  - Zeit- und Frequenzmultiplex (Sendungen belegen einen Frequenzabschnitt für einen Zeitabschnitt, z.B. GSM)
  - Codemultiplex (Sendung ist durch persönlichen Code charakterisiert, selber Frequenzbereich, z.B. UMTS)
- **Fortgeschrittene Modulationsverfahren (Folie 2.25f)**
  - **Minimum Shift Keying (MSK)**
    - Bits werden auf zwei Kanäle aufgeteilt, Bitdauer verdoppelt, anhand der Bitwerte der beiden Kanäle werden die beiden Trägerfrequenzen mit ihrer Ausrichtung (hohe/niedrige Frequenz, positive/negative Ausrichtung) zugeordnet, dadurch keine Phasensprünge
  - **Binary Phase Shift Keying (BPSK)**
    - 0 sinusförmig, 1 negativ sinusförmig
  - **Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)**
    - 2 Bits pro Symbol, genutzt in UMTS
  - **Quadrature Amplitude Modulation**
    - kombiniertes Amplituden- und Phasenmodulationsverfahren
  - **Hierarchische Modulation** (z.B. DVB)
- **Spreizspektrumtechnik (Folie 2.30ff)**
  - Problem: frequenzabhängiges Fading löscht schmalbandige Signale für gewissen Zeitbereich aus
  - Lösung: Signal mittels Codefolge auf breiteren Frequenzbereich spreizen
  - **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**
    - XOR des Signals mit einer langen Pseudozufallszahl (chipping sequence)
  - **Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**
    - Ständiger diskreter Wechsel der Trägerfrequenz
    - schneller Wechsel (fast hopping) oder langsamer Wechsel (slow hopping), z.B. Bluetooth
- **Zellenstruktur (Folie 2.38)**
  - Realisierung des Raummultiplex durch Basisstationen für Funkzellen, Zellatmung bei UMTS

**Medienzugriff**

- Medienzugriffsverfahren aus Festnetzen können nicht übernommen werden
  - **Versteckte und „ausgelieferte“ Endgeräte (Folie 3.4)**
  - **Nahe und ferne Endgeräte (Folie 3.5)**
- **Zugriffsverfahren**
  - **Space Division Multiple Access (SDMA)**
    - Einteilung des Raums in Sektoren, gerichtete Antennen, Zellstruktur
  - **Frequency Division Multiple Access (FDMA)**
    - zeitlich gesteuerte Zuordnung eines Übertragungskanals zu einer Frequenz
  - **Time Division Multiple Access (TDMA)**
    - zeitlich gesteuertes Zugriffsrecht eines Übertragungskanals auf eine feste Frequenz
  - **Division Duplex**
    - Aufteilen in Aufwärts- und Abwärtsrichtung, z.B. TDD oder FDD
  - **Aloha / Slotted Aloha**
  - **Demand Assigned Multiple Access (DAMA) (Folie 3.9)**
    - Vorabreservierung für künftige Zeitschlitze
    - **Explizite Reservierung:** Aloha-Modus für die Reservierung, Reserved-Modus für die Übertragung
    - **Implizite Reservierung (PRMA):** Reservierung mittels Slotted Aloha, erfolgreich belegte Zeitschlitze bleiben belegt, solange genutzt
    - **Reservation-TDMA:** jede Station hat Minizeitschlitz und kann darin bis zu k Datenzeitschlitze reservieren, restliche verbleibende werden mittels Round-Robin verteilt
  - **Multiple Access with Collision Avoidance (MACA) (Folie 3.13)**
    - Signalisierungspakete mit Senderadresse, Empfängeradresse und Paketgröße
    - Request to send (RTS): Anfrage des Senders an Empfänger bevor ein Paket gesendet werden kann
    - Clear to send (CTS): Bestätigung des Empfängers sobald er empfangsbereit ist
    - Genutzt in IEEE 802.11 (WLAN) als DFWMAC
  - **Pollingverfahren**
  - **Inhibit Sense Multiple Access (ISMA) (Folie 3.17)**
    - aktuelle Belegung des Mediums wird durch einen „Besetztton“ angezeigt
  - **Code Division Multiple Access (CDMA) (Folie 3.18)**
    - Stationen operieren auf derselben Frequenz
    - und nutzen so gleichzeitig die gesamte Bandbreite des Übertragungskanals
    - Signal wird auf der Senderseite mit einer für den Sender eindeutigen Pseudozufallszahl verknüpft
    - Empfänger kann mittels Sender-Pseudozufallsfolge und Korrelationsfunktion Originalsignal restaurieren
  - **Spread Aloha Multiple Access (SAMA) (Folie 3.25)**
    - Anwenden von Spreizspektrumtechnik mit nur einem Code für Sender nach dem Aloha-Prinzip

**Drahtlose Telekommunikationssysteme**

- **Entwicklung mobiler Telekommunikationssysteme (Folie 4.3)**
  - 1. Generation: CT0/1, AMPS, NMT (alle FDMA)
  - 2. Generation: IS-136, GSM, PDC, CDMAOne (auch TDMA und CDMA)
  - 2,5. Generation: GPRS, EDGE, CDMA2000
  - 3. Generation: DECT, UTRA FDD / W-CDMA (heute UMTS), HSDPA, UTRA TDD, CDMA2000 1X EV-DO
- **Global System for Mobile Communication (GSM) (Folie 4.5ff)**
  - **Technische Aspekte**
    - Mobile Kommunikationsmöglichkeit über einen Funkweg, Unterstützung für Sprach- und Datendienste
    - Internationaler Zugriff über Chipkarte, Nutzung anderer Mobilfunkstationen möglich
    - Grenzübergreifend unter gleichen Rufnummer erreichbar, Netz übernimmt die Lokalisierungs-Aufgaben
    - Bessere Frequenzausnutzung und kleinere Funkzellen können wesentlich mehr Teilnehmer versorgen
    - Hohe Qualität und Zuverlässigkeit für drahtlose, kontinuierliche, störungsfreie Telefonate in Bewegung
    - Zugangskontrolle durch Einsatz von Chipkarte und PIN
  - **Probleme**
    - keine End-to-End Chiffrierung der Nutzkanäle
    - Netzzugriff nur über „reduzierten“ B-Kanal, keine volle Nutzung der ISDN-Bandbreite
    - Missbrauch persönlicher Daten nicht ganz ausgeschlossen
    - hohe Komplexität des Systems
  - **Dienste**
    - Sprechverbindungen, Datenverbindungen und Kurznachrichten
  - **Komponenten**
    - **Radio Subsystem (RSS):** flächendeckende zellulare Netz bis zu den Vermittlungsstellen (**Folie 4.23**)
      - **Base Station Subsystem (BSS):**
        - **Base Transceiver Station (BTS):** Funktechnische Einrichtung, einschließlich Sende-/Empfangsantennen, für Kommunikation auf den Funk-Kanälen, kann eine oder, falls Richtantennen installiert werden, auch mehrere Funkzellen versorgen
        - **Base Station Controller (BSC):** Die Basisstationssteuerung führt Vermittlung aus und steuert den Ablauf der Übertragungsprozesse der BTS
      - **Mobile Station (MS):** Funkstationen (z.B. Handy) als bewegliche Netzkomponenten (**Folie 4.28**)

- **Netzwerk-Subsystem (NSS):** Hauptbestandteil des öffentlichen mobilen Funknetzes, übernimmt die vermittlungstechnischen Aufgaben (**Folie 4.29**)
  - **Mobile Switching Center (MSC):** Verbindungssteuerung über ein Koppelnetz vom und zum mobilen Teilnehmer, an einem MSC können etliche BSCs angeschlossen sein
  - **Gateway Mobile Switching Center (GMSC):** Anbindung an andere Netzwerke
  - Datenbank-Einrichtungen:
    - **Home Location Register (HLR):** zentrale Master-Datenbank der Teilnehmerdaten, beinhaltet semipermanente und temporäre Daten aller Funkteilnehmer, die auf Dauer einem HL-Bereich zugeordnet sind
    - **Visitor Location Register (VLR):** lokale Datenbank für eine Teilmenge der Benutzerdaten, einschließlich der Aufenthaltsorte der Teilnehmer
- **Operation Subsystem (OSS):** Betriebs- und Wartungs-Subsystem für zentralisiertes Betreiben und die Instandhaltung der verschiedenen Netzelemente (**Folie 4.31**)
  - Authentication Center (AUC): teilnehmerspezifische Berechtigungsparameter, Authentizitätsdaten
  - Equipment Identity Register (EIR): Gerätedatenbank
  - Operation and Maintenance Center (OMC): unterschiedliche Kontroll- und Bedienstellen
- **Funktionsweise**
  - **Mobile Terminated Call → Folie 4.35**
  - **Mobile Originated Call → Folie 4.36**
  - Handover Entscheidung anhand von Empfangssignalstärke, harter Handover
- **Sicherheitsdienste (Folie 4.41)**
  - Teilnehmer ↔ Subscriber Identity Module (SIM): Geheimnummer PIN
  - SIM ↔ Netzwerk: Challenge-Response-Verfahren
- **Datendienste (Folie 4.44ff)**
  - Ursprünglich Übertragung nur 9,6 kbit/s, fortgeschrittene Kanalcodierung erlaubt 14,4 kbit/s
  - **High-Speed Circuit Switched Data (HSCSD)**
    - Zusammenfassung mehrerer Zeitkanäle für höhere Datenrate (57,6 kbit/s bei 4 slots)
  - **General Packet Radio Service (GPRS)**
    - paketorientierte Vermittlung, Belegung der Zeitschlitze nur wenn Daten vorhanden
- **Digital Enhanced Cordless Telecommunication (DECT) (Folie 4.51ff)**
  - entwickelter Standard für das schnurlose Telefon, legt Luftschnittstelle zwischen Basisstation und Mobiltelefon fest: FDMA / TDMA / TDD
  - DECT-Referenzmodell stark angelehnt an das OSI-Referenzmodell
- **Terrestrial Trunked Radio (TETRA) (Folie 4.59ff)**
  - System für Notfalleinsätze, sehr zuverlässig, schneller Verbindungsaufbau, typischerweise nur lokaler Betrieb
  - viele verschiedene Trägerfrequenzen, eine Frequenz wird kurzzeitig Benutzer/Nutzergruppe zugewiesen
  - Gruppenrufe, Rundrufe, sehr schneller Gruppenverbindungsaufbau (< 1s), ad-hoc („direct mode“),
  - Warteschlangen von Rufen mit preemptiven Prioritäten
  - **Direct Mode Operation (DMO)**
    - ermöglicht den Ad-hoc-Betrieb, wichtigster Unterschied zu rein Infrastruktur-basierten Netzen
    - Individueller Ruf zwischen zwei Teilnehmer, „Dual Watch“ abwechselndes Teilnehmen an Infrastruktur und ad-hoc, Gruppenruf, Managed Direct Mode mit autorisierendem Endgerät
    - Zusätzlicher Repeater für erhöhte Reichweite möglich
- **Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) (Folie 4.67ff)**
  - Entstand aus IMT-2000-Familie (UTRA Universal Terrestrial Radio Access), kompatibel zu GSM
  - Spreizen durch konstante chipping-Rate von 3,84 Mchip/s, unterschiedliche Nutzerraten durch unterschiedliche Spreizfaktoren (höhere Datenrate durch weniger Chips pro Bit (und umgekehrt))
  - Softe Handover, QPSK, orthogonale Spreizcodes durch **OSVF-Codierung X** in [X,X] und [X, -X]
  - Rahmenstrukturen nicht zur Trennung der Nutzer sondern zur Synchronisation periodischer Funktionen
  - **UTRAN (UTRA Network) (Folie 4.80ff)** zuständig für
    - Zugangssteuerung, Congestion Control, System Information Broadcasting, Verschlüsselung auf dem Funkkanal, Handover, SRNS-Verlagerung, Konfiguration des Funknetzes, Funkkanalmessungen, Makrodiversität, Funkträgersteuerung, Funkbetriebsmittelverwaltung, Datenübertragung auf der Funkschnittstelle, Leistungssteuerung (FDD- und TDD-Modus), Kanalcodierung, Zugriffssteuerung
  - **Kernnetz (Core Network, CN) (Folie 4.83ff)**
    - Circuit Switched Domain (CSD): leitungsvermittelter Dienst, Signalisierung, Ressourcenreservierung beim Verbindungsaufbau
    - Packet Switched Domain (PSD): paketvermittelter Dienst
  - **Mobilitätsunterstützung durch Makrodiversität (Folie 4.87ff)**
    - Multicast von Daten über mehrere physikalische Kanäle, dadurch softe Handover möglich
    - simultaner Empfang von Daten über mehrere Basisstationen
    - simultane Übertragung von Daten über unterschiedliche Zellen mit unterschiedliche Spreizcodes
    - Handover von und zu anderen Systemen möglich (z.B. UMTS nach GSM)
  - **Zellatmung (Folie 4.90)**
    - Zellgröße eng korreliert mit der Kapazität der Zelle, Kapazität bestimmt durch Signal-Rausch-Abstand
    - Beschränkung der Teilnehmeranzahl notwendig, Zellatmung erschwert die Netzwerkplanung erheblich
- **Weiterentwicklungen (Folie 4.98)**
  - **Multimedia Messaging Service (MMS)**
    - Übertragung auch von Bildern, Video-Clips, Audio als Weiterentwicklung von SMS und EMS
  - **Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE)**

- GSM mit 8-PSK an Stelle von GMSK, bis zu 384 kbit/s Datenrate, neue Modulations-/Codierschemata für GPRS
- **High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA)**
  - bis 10 Mbit/s in Abwärtsrichtung, später auch 20 Mbit/s mit MIMO-Antennen, nutzt 16-QAM statt QPSK

### Satellitensysteme

- siehe Kapitel 5 im Skript

### Broadcast-Systeme

- siehe Kapitel 6 im Skript

### Drahtlose LANs

- **Mobile Kommunikationstechnologien nach IEEE (Folie 7.2)**
  - Lokale Funknetze nach **802.11 (WLAN)**: WiFi
  - Persönliche Funknetze nach **802.15 (WPAN)**: ZigBee, Bluetooth
  - Funkverteilnetze nach **802.16 (WMAN, Broadband Wireless Access)**: WiMAX
- **Vergleich Infrarot (IrDA) vs. Funk (Folie 7.5)**
  - sehr billig und einfach, keine Lizenzen nötig, einfache Abschirmung
  - Interferenzen durch Sonnenlicht, Wärmequellen etc., wird leicht abgeschattet, niedrige Bandbreite
- **IEEE 802.11 (Folie 7.7ff)**
  - **Architektur**
    - **Station (STA)**: Rechner mit Zugriffsfunktion auf drahtloses Medium und Funkkontakt zum Access Point
    - **Basic Service Set (BSS)**: Gruppe von Stationen, die dieselbe Funkfrequenz nutzen
    - **Access Point (AP)**: Stationen, die sowohl in Funk-LAN als auch in das verbindende Festnetz integriert
    - **Portal**: Übergang in ein anderes Festnetz
    - **Distribution System**: Verbindung verschiedener Zellen um ein Netz zu bilden
    - **Independent Basic Service Set (IBSS)**: Gruppe von Stationen, die dieselbe Funkfrequenz nutzen (z.B. ad-hoc Netze)
  - **Physikalische Schicht: FHSS, DSSS oder IR**
  - **MAC-Schicht:**
    - **Verkehrsarten**
      - Asynchroner Datendienst auf „best-effort“-Basis
      - optional zeitbegrenzte Dienste über Point Coordination Function (PCF)
    - **Zugriffsarten**
      - **DFWMAC-DCF CSMA/CA (standard)**
        - Kollisionsvermeidung durch zufälligen „backoff“-Mechanismus
        - Mindestabstand zwischen aufeinanderfolgenden Paketen
        - Empfangsbestätigung durch ACK (nicht bei Broadcast)
      - **DFWMAC-DCF mit RTS/CTS (optional)**
        - DFWMAC mit MACA (RTS und CTS Pakete)
      - **DFWMAC-PCF (optional)**
        - Polling-Verfahren mit einer Liste im Access Point
    - **Prioritäten**
      - durch unterschiedliche Wartezeiten nach Medienbelegung geregelt, keine garantierten Prioritäten
      - Short Inter Frame Spacing (SIFS): 10µs, höchste Priorität, für ACK, CTS, Antwort auf Polling
      - PCF Inter Frame Spacing (PIFS): 30µs, mittlere Priorität, für zeitbegrenzte Dienste mittels PCF
      - DCF Inter Frame Spacing (DIFS): 50µs, niedrigste Priorität, für asynchrone Datendienste
      - Danach Wettbewerbsphase im Wettbewerbsfenster mittels zufälligem Backoff-Mechanismus (wird das Medium während der Backoff-Zeit von einer anderen Station belegt, bleibt der Backoff-Timer so lange stehen)
- **Bluetooth (Folie 7.83ff)**
  - Universelles Funksystem für drahtlose Ad-hoc-Verbindungen im personellen Umfeld
  - 2,4 GHz ISM Band, FHSS, TDD, synchrone Sprachverbindung (SCO), asynchrone Datenverbindung (ACL)
  - **Pikonetze**
    - Ansammlung von Geräten welche spontan (ad-hoc) vernetzt werden
    - ein Gerät wird zum Master, die anderen als Slaves während der Lebensdauer des Pikonetzes
    - Master bestimmt die Sprungfolge, die Slaves müssen sich darauf synchronisieren
    - Pikonetz hat eindeutige Sprungfolge, Teilnahme an Pikonetz erfordert Synchronisation auf Sprungfolge
    - Adressierung mittels Active Member Address (AMA, 3 bit) oder Parked Member Address (PMA, 8 bit)
  - **Verbindung**
    - Polling-basiert mittels TDD, paketorientierte Übertragung mit ACK bzw. NACK
  - **Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)**
    - Einfaches Sicherungsschichtprotokoll oberhalb des Basisbandsystems (Schicht 2 für Bluetooth)
    - Verbindungsorientiert, verbindungslos und Signalisierungskanäle
- **RFID (Folie 7.119ff)**
  - Übertragung einer RFID-Kennung als Antwort auf ein Funksignal an ein Lesegerät
  - Passive RFID (Energie kommt vom Lesegerät), aktive RFID (batteriespeist)

- Viele Anwendungsgebiete und Produkte

## Netzwerkprotokolle

- **Mobile IP**
  - **Anforderungen (Folie 8.3)**
    - Transparenz: mobile Endgeräte behalten ihre IP-Adresse
    - Kompatibilität: Unterstützung der gleichen Schicht 2-Protokolle wie IP
    - Sicherheit: alle Registrierungsanfragen müssen authentifiziert werden
    - Effizienz und Skalierbarkeit: möglichst wenige zusätzliche Daten zum mobilen Endgerät
  - **Komponenten (Folie 8.4)**
    - **Mobile Node (MN):** Knoten, kann Ort des Netzanschlusses wechseln, ohne IP-Adresse zu wechseln
    - **Home Agent (HA):** Einheit im „Heimnetz“ des MN (z.B. Router), verwaltet Aufenthaltsort des MN, tunnelt IP-Datagramme zur COA
    - **Foreign Agent (FA):** Einheit im momentanen „Fremdnetz“ des MN (z.B. Router), weiterleiten der getunnelten Datagramme zum MN, stellt meist auch default-Router für den MN dar, stellt COA zur Verfügung
    - **Care-of Address (COA):** Adresse des für den MN aktuell gültigen Tunnelendpunkt, stellt aus Sicht von IP aktuelle Lokation des MN dar, kann z.B. via DHCP gewählt werden
    - **Correspondent Node (CN):** Kommunikationspartner
  - **Funktionsweise (Folie 8.5f)**
    - Sender sendet an IP-Adresse von MN
    - HA fängt Paket ab (proxyARP)
    - HA tunnelt Paket an COA
    - FA fängt Paket ab
    - FA leitet das Paket an MN weiter
    - MN antwortet ganz normal an IP-Adresse des Senders
  - **Netzintegration (Folie 8.9)**
    - **Agent Advertisement:** HA und FA senden periodisch spezielle Nachrichten über ihr Vorhandensein in die jeweiligen physikalischen Subnetze, MN hört diese Nachrichten und erkennt, ob er sich im Heimat- oder einem Fremdnetz befindet, MN kann eine COA aus den Nachrichten des FA ablesen
    - **Registrierung:** für begrenzte Lebensdauer, MN meldet via FA seinem HA die COA, dieser bestätigt via FA an MN, diese Aktionen sollen durch Authentifizierung abgesichert werden
    - **Bekanntmachung:** HA macht die IP-Adresse des MN bekannt, d.h. benachrichtigt andere Router, dass MN über ihn erreichbar ist, Router setzen entsprechend ihre Einträge, Pakete an MN werden nun an HA gesendet, Änderungen an COA und FA haben darauf keine Einfluss
  - **Triangular Routing (Folie 8.18)**
    - HA kann einen Sender über den Ort von MN benachrichtigen, direktes Tunneln zu diesem Ort
    - große Sicherheitsprobleme
  - **Wechsel des FA (Folie 8.19)**
    - Pakete „im Flug“ während des Wechsels gehen verloren
    - neue FA benachrichtigt alten FA ankommenden Pakete temporär weiterzuleiten bis HA aktualisiert
  - **Reverse Tunneling (Folie 8.20)**
    - MN sendet nicht direkt zurück, sondern wieder über FA getunnelt an HA
    - Problematik der Firewalls
  - **Probleme (Folie 8.23)**
    - **Sicherheit**
      - Authentifizierung mit FA problematisch, da u.U. nicht unter eigener Kontrolle (fremde Organisation)
      - kein Protokoll für die Schlüsselverwaltung und -verteilung im Internet standardisiert
      - Patent- und Exportproblematik
    - **Firewalls**
      - verhindern typischerweise den Einsatz von Mobile IP, spezielle Konfigurationen nötig
    - **QoS**
      - häufige erneute Reservierungen im Fall von RSVP
      - Tunneln verhindert das Erkennen eines gesondert zu behandelten Datenstroms
- **Ad-hoc Netzwerke (Folie 8.41ff)**
  - Mobile IP braucht eine Infrastruktur, die oft nicht vorhanden ist + Hauptproblem: Wegewahl
  - Drahtlose Ad-hoc-Netze wie MANETs (Mobile Ad-hoc Networking)
  - **Wegewahl**
    - Außerordentlich dynamische Netztopologie, Gerätemobilität plus Änderung des Kanals, Auseinanderbrechen und Verschmelzen von Netzen möglich, asymmetrische Verbindungen
    - Klassische Verfahren aus Festnetzbereich versagen: zu langsame Konvergenz, zu großer Overhead
    - **Dynamic Source Routing (DSR) (Folie 8.49ff)**
      - **Auffinden eines Weges:** Nur wenn wirklich ein Weg zum Senden von Daten zu einem bestimmten Ziel benötigt wird und noch keiner vorhanden ist
      - Aussenden eines Broadcast-Pakets mit Zieladresse und Kennung, Fluten mit Anhang der eigenen Adresse, Sender erhält Paket mit aktuellem Weg (Adressliste) zurück
      - **Aufrechterhaltung eines Weges:** nur während ein Weg aktuell benutzt wird, muss dafür gesorgt werden, dass er weiterhin funktioniert
      - falls Quittung ausbleibt, kann der Sender informiert oder lokal ein neuer Weg gesucht werden

## Transportprotokolle

- **Mobile TCP (Folie 9.2ff)**
  - Klassisches TCP für den zuverlässiger Datentransport zwischen Client und Server, netzwerkfreundlich bei time-out → Drosselung der Übertragungsrates
  - TCP verschätzt sich sehr oft in drahtlosen/mobile Umgebungen und führt zu drastischen Leistungseinbrüche
  - Lösung durch Tuning von TCP an gegebene Umgebung
    - Asymmetrische Datenraten: 64 kbit/s Aufwärtsrichtung, 115-384 kbit/s Abwärtsrichtung
    - Hohe Verzögerung, hohe Verzögerungsschwankung, Paketverlust
    - Große (initiale) Sendefenster, große maximale Datentransfereinheiten, selektive Bestätigungen, explizite Staubenachrichtigungen, Zeitstempel, keine Kompression des Protokollkopfes

## Mobilitätsunterstützung

- **HTTP und WWW (Folie 10.12ff)**
  - HTTP 1.0 erfordert verbindungsorientiertes Protokoll (meist TCP eingesetzt)
  - eine Verbindung pro Anfrage, Verbesserungen in HTTP 1.1
  - entworfen für große Bandbreiten und geringe Verzögerungen, Probleme mit Caching, POST-Anfragen
  - HTML-Seiten nicht für mobile Endgeräte ausgelegt, Heterogenität der Endgeräte wird weitgehend ignoriert
- **Wireless Application Protocol (WAP) (Folie 10.22ff)**
  - Internet-Inhalte und erweiterte Dienste sollen zu mobilen Endgeräten geliefert werden, unabhängig von Standards drahtloser Netze
  - Definiert Browser, Script-Sprache (WML, WML Script), WTA/WTAI, Inhaltsformate, Protokollstapel
  - **Wireless Markup Language (WML) (Folie 10.52ff)**
    - folgt einer Stapel / Karten Metapher (deck / card), XML-basiert
  - **WMLScript (Folie 10.55ff)**
    - Ergänzung zu WML, ähnlich JavaScript
  - **WAP Push-Architektur (Folie 10.63ff)**
    - **Service Indication (SI)**: kurze Mitteilung über einen Dienst durch einen Push (z.B. unsichtbare SMS)
    - **Service Loading (SL)**: kurze Push-Nachricht an den Client mit URI
  - **i-mode (Folie 10.67ff)**
    - Geschäftsmodell, wo Inhabeanbieter >80% der Gebühren erhalten, technologieunabhängig
  - **WAP 2.0 (Folie 10.74ff)**
    - XHTML, TCP mit „Wireless Profile“, HTTP, Farbgrafik, Animation, ortsabhängige Dienste, MMS, etc.
- **Java 2 Platform Micro Edition (J2ME) (Folie 10.77ff)**
  - Bereitstellung einer einheitlichen Plattform auf Java-Basis zur Erstellung mobile Anwendungen
  - Eingeschränkter Funktionsumfang der Standard-Java-Plattform

## Ausblick

- Vision: always best connected, eventuell Konvergenz der Systeme auf ein Internet-basiertes System (4G)
- **Overlay Networks (Folie 11.4)**
  - Horizontaler Handover funktioniert bereits ganz gut
  - Vertikaler Handover ist das große Problem
- Einheitliche Zugangstechnik nicht machbar, stets Kombination erforderlich zur Abdeckung verschiedener Bewegungsgeschwindigkeiten und maximaler Bandbreite
- **Merkmale zukünftiger Mobilfunknetze (Folie 11.6)**
  - Einsatz verbesserter Funktechniken und Antennen (z.B. MIMO Antennen), Konvergenz der Kernnetze, Ad-hoc Techniken, einfach und offene Dienstplattformen
- **Mögliche Probleme (Folie 11.8)**
  - Dienstgüteunterstützung, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wartung und fehlende Gebührenmodelle

## Gängige Frequenzen

- GSM 900: 876-915 MHz, 921-960 MHz
- GSM 1800: 1710-1785 MHz, 1805-1880 MHz
- GSM 850 (Amerika): 824-849 MHz, 869-894 MHz
- GSM 1900 (Amerika): 1850-1910 MHz, 1930-1990 MHz
- GSM-R: 876-915 MHz, 921-960 MHz
- GSM 450: 450-458 MHz, 460-468 MHz, GSM 480: 479-486 MHz, 489-496 MHz
- DECT: 1880-1990 MHz
- TETRA: unterschiedlich von 380-400 MHz, 870-876 MHz, 915-921 MHz
- UTRA-FDD / UMTS: 1920-1980 MHz, 2110-2170 MHz
- UTRA-TDD: 1900-1920 MHz, 2010-2025 MHz
- WLAN 802.11b: 2,4 GHz und 5 GHz
- Bluetooth: 2,45 GHz
- RFID: 125 kHz, 13 MHz, 433 MHz, 2,4 GHz, 5,8 GHz

**Abkürzungen**

VLF = Very Low Frequency  
 LF = Low Frequency (Langwelle)  
 MF = Medium Frequency (Mittelwelle)  
 HF = High Frequency (Kurzwellen)  
 VHF = Very High Frequency (UKW)  
 UHF = Ultra High Frequency  
 SHF = Super High Frequency  
 EHF = Extra High Frequency  
 UV = Ultraviolettes Licht  
 ITU-R = International Telecommunication Union  
 Radiocommunication Bureau  
 ISM Band = Industrial, Scientific, and Medical Band  
 PSK = Phase Shift Keying  
 MSK = Minimum Shift Keying  
 BPSK = Binary Phase Shift Keying  
 QPSK = Quaternary Phase Shift Keying  
 DSSS = Direct Sequence Spread Spectrum  
 FHSS = Frequency Hopping Spread Spectrum  
 SDMA = Space Division Multiple Access  
 FDMA = Frequency Division Multiple Access  
 TDMA = Time Division Multiple Access  
 FDD = Frequency Division Duplex  
 TDD = Time Division Duplex  
 DAMA = Demand Assigned Multiple Access  
 PRMA = Packet Reservation Multiple Access  
 MACA = Multiple Access with Collision Avoidance  
 ISMA = Inhibit Sense Multiple Access  
 CDMA = Code Division Multiple Access  
 SAMA = Spread Aloha Multiple Access  
  
 GSM = Global System for Mobile Communication  
 RSS = Radio Subsystem  
 BSS (1) = Base Station Subsystem  
 BTS = Base Transceiver Station  
 BSC = Base Station Controller  
 MS = Mobile Station  
 NSS = Network Subsystem  
 MSC = Mobile Switching Center  
 IWF = Interworking Functions  
 HLR = Home Location Register  
 VLR = Visitor Location Register  
 OSS = Operation Subsystem  
 AUC = Authentication Center  
 EIR = Equipment Identity Register  
 OMC = Operation and Maintenance Center  
 SIM = Subscriber Identity Module  
 HSCSD = High Speed Circuit Switched Data  
 ISDN = Integrated Services Digital Network  
 PSTN = Public Switched Telephone Network  
 PSPDN = Packet Switched Public Data Network  
 CSPDN = Circuit Switched Public Data Network  
  
 DECT = Digital Enhanced Cordless Telecommunication  
 TETRA = Terrestrial Trunked Radio  
 BS = Base Station  
 NMS = Network Management System  
 DMO = Direct Mode Operation  
 AI = Air Interface  
 ISI = Inter System Interface  
 PEI = Peripheral Equipment Interface  
  
 UMTS = Universal Mobile Telecommunications System  
 OSVF = Orthogonal Variable Spreading Factor  
 UTRA = Universal Terrestrial Radio Access  
 UTRAN = Universal Terrestrial Radio Access Network  
 RNS = Radio Network Subsystem  
 RNC = Radio Network Controller  
 CN = Core Network  
 CSD = Circuit Switched Domain  
 SMS = Short Message Service  
 EMS = Enhanced Message Service  
 MMS = Multimedia Messaging Service  
 EDGE = Enhanced Data Rates for Global Evolution  
 GPRS = General Packet Radio Service  
 HSDPA = High-Speed Downlink Packet Access  
 MIMO = Multiple Input Multiple Output

GPS = Global Positioning System  
 GEO = Geosynchronous Orbit  
 LEO = Low Earth Orbit  
 MEO = Medium Earth Orbit  
 IEO = Intermediate Circular Orbit  
 HEO = Highly Elliptical Orbit  
 SUMR = Satellite User Mapping Register  
  
 DAB = Digital Audio Broadcasting  
 MSC = Main Service Channel  
 FIC = Fast Information Channel  
 MOT = Multimedia Object Transfer Protocol  
 DVB = Digital Video Broadcasting  
 DVB-S = DVB Satellite  
 DVB-C = DVB Cable  
 DVB-T = DVB Terrestrial  
 DVB-H = DVB Handheld  
  
 WLAN = Wireless Local Area Network  
 WPAN = Wireless Personal Area Network  
 WMAN = Wireless Metropolitan Area Network  
 IrDA = Infrared Data Association  
 STA = Station  
 BSS (2) = Basic Service Set  
 ESS = Extended Service Set  
 AP = Access Point  
 IBSS = Independent Basic Service Set  
 DCF = Distributed Coordination Function  
 PCF = Point Coordination Function  
 DFW = Distributed Foundation Wireless  
 DFWMAC = Distributed Foundation Wireless MAC  
 SIFS = Short Inter Frame Spacing  
 PIFS = PCF Inter Frame Spacing  
 DIFS = DFW Inter Frame Spacing  
 SCO = Synchronous Connection Oriented  
 ACL = Asynchronous Connection Less  
 AMA = Active Member Address  
 PMA = Parked Member Address  
 RFID = Radio Frequency Identification  
  
 MN = Mobile Node  
 HA = Home Agent  
 FA = Foreign Agent  
 COA = Care-of Address  
 CN = Correspondent Node  
  
 MANET = Mobile Ad-hoc Networking  
 WSN = Wireless Sensor Networks  
 DSR = Dynamic Source Routing  
 LIR = Least Interference Routing  
 MMRCR = Max-Min Residual Capacity Routing  
 LRR = Least Resistance Routing  
 AODV = Ad hoc On demand Distance Vector  
  
 I-TCP = Indirect TCP  
 S-TCP = Snooping TCP  
 M-TCP = Mobile TCP  
 T-TCP = Transactional TCP  
  
 WAP = Wireless Application Protocol  
 WTA = Wireless Telephony Application  
 WTAI = Wireless Telephony Application Interface  
 WML = Wireless Markup Language  
 WDP = Wireless Datagram Protocol  
 WTLS = Wireless Transport Layer Security  
 WTP = Wireless Transaction Protocol  
 WSP = Wireless Session Protocol  
 WAE = Wireless Application Environment  
 SI = Service Indication  
 SL = Service Loading  
 J2ME = Java 2 Platform Micro Edition