

Vorlesung Mobilkommunikation Wintersemester 2016/17

**Prof Dr. Oliver Waldhorst (Hochschule Karlsruhe)
Markus Jung**

INSTITUT FÜR TELEMATIK



Kapitel 1 – Einführung

Vorlesung Mobilkommunikation Wintersemester 2016/17
Prof. Dr. Oliver Waldhorst (HS Karlsruhe), Markus Jung

INSTITUT FÜR TELEMATIK



Vor einiger Zeit in der Presse...

■ Milliardenpoker ums mobile Internet

„App-Wahn, iPad, blitzschnelles Surfen ohne Kabel: Alles, was dieses Jahrzehnt in Deutschlands mobilem Internet passiert, hängt von der Versteigerung der neuen **Mobilfunkfrequenzen** ab...“

„Aktuell sind für das **mobile Internet** gut 250 Megahertz Frequenzen reserviert. Durch die Versteigerung kommen jetzt noch einmal **360 Megahertz** hinzu...“

„Die neuen Frequenzen bilden auch die Grundlage für den neuen Übertragungsstandard **Long Term Evolution (LTE)**“

„... soll LTE Raten von bis zu **hundert Megabit** schaffen, genug, um Videos und Online-Spiele ruckel- und unterbrechungsfrei zu übertragen.“



Mobilkommunikation verändert unser Leben!

■ Siegeszug des Handys

- Inzwischen mehr Handys als Einwohner
 - Beispiel Deutschland: 132 Mio. Mobilfunk-Teilnehmer 2009



■ Wachsende Verbreitung von WLANs

- Inzwischen in fast jedem Laptop integriert
- ... auch in anderen Geräten auf dem Vormarsch



■ ... und das war noch lange nicht alles!

- WiMax – Drahtlose Alternative zu DSL
- RFID – Internet der Dinge
- Sensornetze – Erfassung verteilter Phänomene in der Umgebung
- ...

Turbo-Funk-Internet in Karlsruhe und Pforzheim

Acht Städte im Südwesten werden mit LTE versorgt

Von unserem Redaktionsmitglied
Bernd Kamleitner

Karlsruhe/Pforzheim. Der Ausbau des schnellen Mobilfunknetzes LTE ist in Karlsruhe und Pforzheim angekommen. Ab sofort ist die vierte Mobilfunkgeneration mit Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 100 Megabit pro Sekunde in acht Städten im Südwesten verfügbar. Zuletzt war Baden-Württemberg im Vergleich der Bundesländer beim LTE-Datenturbo Schlusslicht.

Neben Karlsruhe und Pforzheim versorgt die Deutsche Telekom auch Stuttgart, Mannheim, Heidelberg, Freiburg, Friedrichshafen und Heilbronn mit dem neuesten Mobilfunknetz. Bundesweit sind es derzeit 50 Städte. Mit LTE – die Abkürzung steht für Long Term Evolution – kann der Nutzer zuhause oder unterwegs Daten deutlich schneller herunterladen und beim mobilen Surfen wesentlich schneller unterwegs sein. Voraussetzung ist ein LTE Speedstick, der mit der USB-Schnittstelle des Compu-

ters oder Laptops verbunden wird. LTE-Tarife kosten zwischen 20 und 80 Euro im Monat. Ist der Nutzer außerhalb des LTE-Netzes unterwegs, wählt sich das System automatisch und ohne Unterbrechung in das UMTS-Netz ein – mit geringerer Übertragungsgeschwindigkeit. In Städten wie Karlsruhe erreicht das LTE-Angebot mindestens 60 bis 70 Prozent der Bevölkerung, sagte ein Telekom-Sprecher auf Anfrage. Am Ausbau werde kontinuierlich gearbeitet.

Für Mobiltelefone ist LTE noch nicht verfügbar. Die Hersteller haben zwar bereits Prototypen vorgestellt, doch es gibt noch technische Probleme bei der automatischen Umschaltung ohne Unterbrechung von LTE auf UMTS, heißt es. Auch andere Anbieter wie Vodafone bauen die neueste Technologie zum drahtlosen Breitbandinternetzugang aus. „Wir wachsen vom Land in die Städte“, sagte ein Unternehmenssprecher. Das gelte auch für die Region zwischen Karlsruhe und Achern. Dort sei LTE zum Teil bereits verfügbar.



88%

n=341

Feb 2011)

+Oct 2011)

and Proprietary 6

Ziele und Inhalt der Vorlesung

■ Inhalt

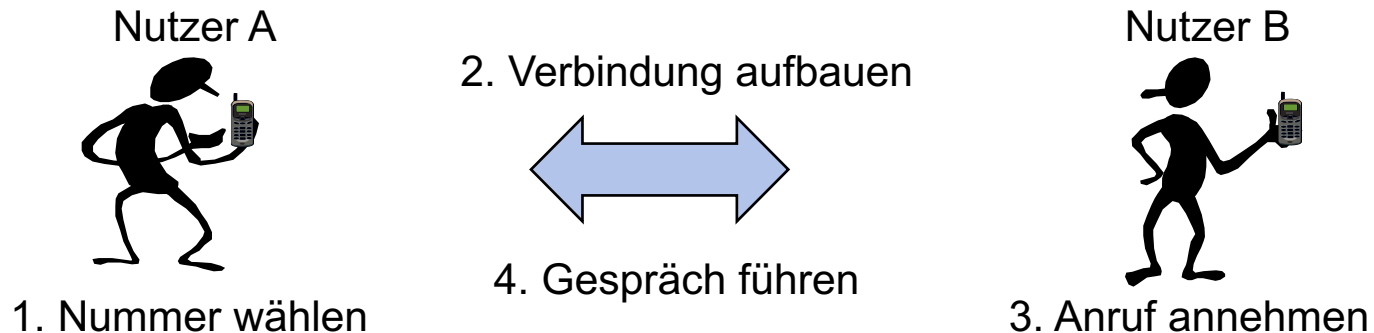
- Wichtige Fragestellungen der Mobilkommunikation
- „Festnetz-Gegenstücke“ bekannt aus Telematik und Einführung in Rechnernetze
- Beispiele
 - GSM – ISDN
 - WLAN – Ethernet
 - Mobile IP – IP

■ Was ist anders?

- Welche neuen Probleme/Aufgabenstellungen treten auf?
 - Wie werden diese gelöst?
- Grundprinzipien mobiler Kommunikationssysteme
 - Am Beispiel von Protokollen und Architekturen

Beispiel: GSM – ISDN

- ISDN: Standard für digitales Festnetz
- GSM: Digitaler Mobilfunkstandard
- ... für **Nutzer** ändert sich in der Bedienung eigentlich nichts
 - Vorteil: überall erreichbar
 - Nachteil: Schlechtere Sprachqualität



- Was ändert sich für **das Netz**?

Beispiel: GSM – ISDN

■ Neues Problem: **Positionsmanagement**

■ ISDN

- Aufenthaltsort von Nutzer A und B sind bekannt
 - Telefonnummer spezifiziert Aufenthaltsort

■ GSM

- Nutzer A und B können mobil sein
 - Telefonnummer erlaubt keine Rückschlüsse auf Aufenthaltsort
- Fragestellungen
 - Wie wird ein mobiles Gerät weltweit gefunden?
 - Wohin soll das Netz die Verbindung aufbauen?
- GSM benötigt einen **Lokationsdienst**
 - Zuordnung von Telefonnummer zu aktuellem Aufenthaltsort

Beispiel: GSM – ISDN

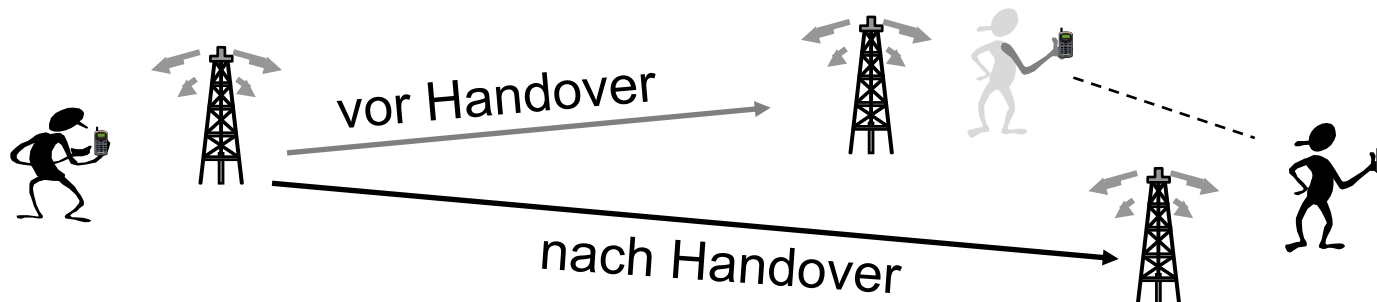
■ Neues Problem: Handover

■ ISDN

- Aufenthaltsort eines Nutzer ändert sich während einer Verbindung nicht
 - Zugangspunkt zum Netz (NTBA) bleibt gleich

■ GSM

- Nutzer können während einer Verbindung mobil sein
 - Nutzer muss ggf. Zugangspunkt (Basisstation) wechseln
- Was passiert mit der bereits etablierten Verbindung?
- GSM muss Handover unterstützen
 - „Umbiegen“ der Verbindung bei Wechsel des Zugangspunkts



Beispiel: WLAN – Ethernet

■ Ethernet (IEEE 802.3)

- Standard für drahtgebundene lokale Netze

■ WLAN (IEEE 802.11)

- Standard für drahtlose lokale Netze



- Prinzipielle Unterschiede zwischen beiden, oder ...
einfach nur Austausch des Übertragungsmediums ?

Beispiel: WLAN – Ethernet

■ Neues Problem: Überlappung von LANs

■ 802.3 (Ethernet)

- Keine Überlappung von LANs möglich
 - Netzkarte ist über **ein** Kabel mit **einem** LAN verbunden
 - Station empfängt nur Dateneinheiten eines LANs
 - Kopplung mehrerer LANs über Brücken oder Router

■ 802.11 (WLAN)

- Überlappung von LANs möglich
 - Station empfängt Dateneinheiten **aller Stationen in Reichweite**
 - Stationen in Reichweite können zu anderen LANs gehören?
- Zuordnung von Dateneinheiten zu einem bestimmten LAN?
 - Zu welchem LAN gehört eine Broadcast-Dateneinheit?
- Angabe der LAN-Zugehörigkeit in jeder Dateneinheit

Beispiel: WLAN – Ethernet

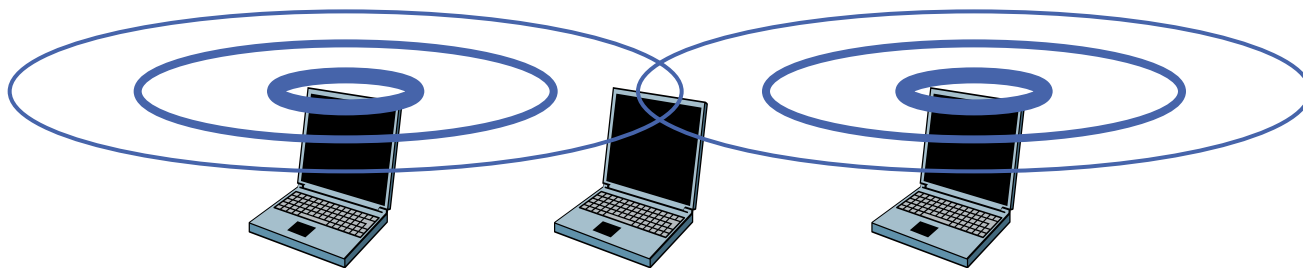
■ Neues Problem: Semi-Broadcast-Medium

■ 802.3 (Ethernet)

- Stationen sind über **Broadcast-Medium** miteinander verbunden
 - Stationen hören gesendete Dateneinheiten **aller** Stationen im Netz
 - Kollisionserkennung durch Sender möglich

■ 802.11 (WLAN)

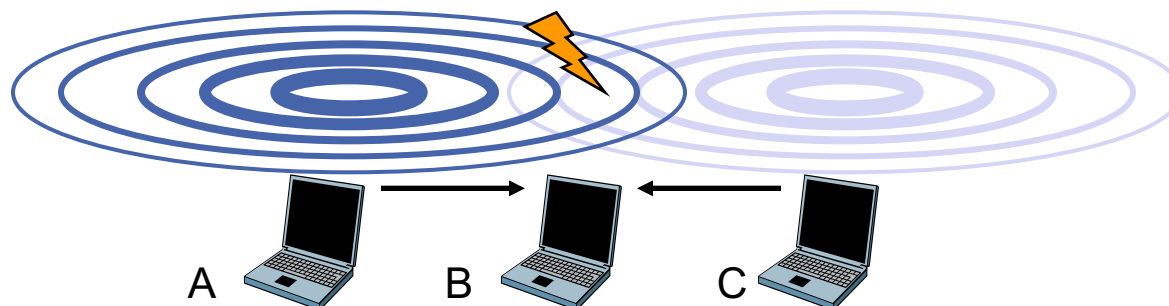
- Stationen sind über **Semi-Broadcast-Medium** miteinander verbunden
 - Stationen hören nur Dateneinheiten von Stationen **in Reichweite**
 - **Sender kann Kollision nicht erkennen**
 - Problem der **versteckten Endgeräte**
- Medienzugriff muss angepasst werden



Versteckte Endgeräte

■ Beispielsituation

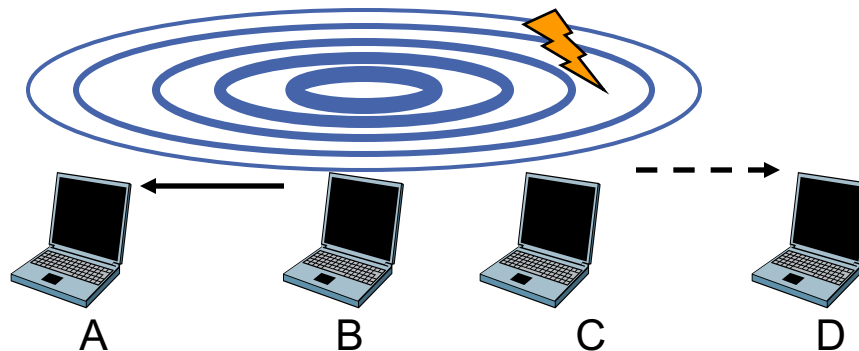
- Station A sendet zu Station B
- Station C kann Signale von Station A nicht mehr empfangen
- Station C will zu Station B senden
 - Medium ist für Station C frei (Carrier Sense versagt)
- Kollision bei Station B
 - Station A kann dies nicht erkennen (Collision Detection versagt)
- Station A ist „versteckt“ für Station C



Ausgelieferte Endgeräte

■ Beispielsituation

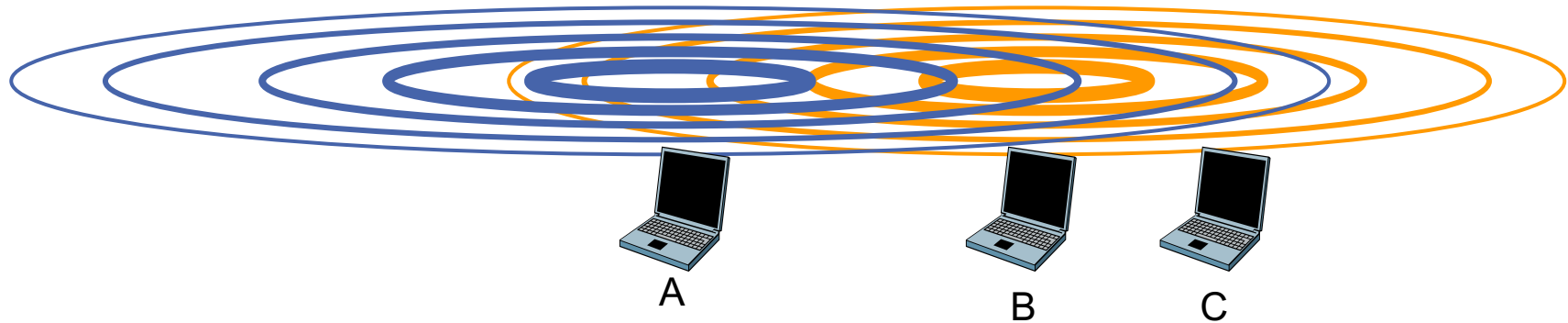
- Station B sendet zu Station A
- Station C will zu Station D senden
- Station C muss warten
 - Carrier Sense signalisiert ein „besetztes“ Medium
- da Station A aber außerhalb der Reichweite von Station C ist, ist dies unnötig
- Station C ist Station B „ausgeliefert“



Nahe und ferne Endgeräte

■ Beispielsituation

- Station A und B senden, Station C soll empfangen
 - Signalstärke nimmt quadratisch mit der Entfernung ab
 - Signal von Station B „übertönt“ das von Station A
 - Station C kann Station A nicht hören



- Problem muss bei der Konzipierung eines drahtlosen Netzes beachtet werden
 - Je nach Art der verwendeten Mechanismen ist exakte Leistungskontrolle erforderlich, um „übertönen“ zu vermeiden.



Beispiel: WLAN – Ethernet

■ Neues Problem: **Abhörbarkeit des Funkmediums**

■ 802.3 (Ethernet)

- Stationen sind über drahtgebundenes Medium miteinander verbunden
 - Physischer Zugang zum Netz für Abhören notwendig

■ 802.11 (WLAN)

- Stationen sind über drahtloses Medium (Funk) miteinander verbunden
 - Netz kann über gewisse Entfernung noch abgehört werden
- Wie kann das Abhören erschwert bzw. verhindert werden?
- Einsatz von **Sicherheitsmechanismen** auf MAC-Schicht

Zusammenfassung

■ Fragestellungen aus den Bereichen

- Bitübertragungsschicht, z.B.
 - Signalausbreitung
 - Modulationstechniken
 - Raum-, Frequenz, Zeit- und Code-Multiplexing
- Sicherungsschicht, z.B.
 - (Slotted) Aloha
 - Carrier Sense Multiple Access
- Vermittlungsschicht und Netzarchitektur
 - Anrufvermittlung im GSM System
 - Mobiles Internet Protokoll (MobileIP)
- Transportschicht und darüber
 - Z.B. Mobiles TCP
- Sicherheit in Mobilkommunikationssystemen
 - Z.B. Teilnehmer-Authentifikation in GSM





Mobiles TCP



Mobile Ad Hoc Netze



Mobile IP



WLAN, Bluetooth



GSM, UMTS, LTE



Mobilitätsmanagement



Medienzugriff



Drahtlose Übertragung

■ Weitere Symbole

■ Zusatzinformationen



■ Aktualisierte Folien



■ Übersicht der Inhalte s. **MobilKom-MindMap™**

■ <http://telematics.tm.kit.edu/teaching.php>

(im VAB, über Link zu erreichen)

■ Tool: <http://freemind.sourceforge.net/>

Literaturempfehlungen



■ Grundlegendes Buch

**Jochen Schiller:
Mobilkommunikation;
Addison-Wesley, 2003**



- Auf Weiterführende Literatur wird an den entsprechenden Stellen hingewiesen!
 - Literaturliste jeweils am Ende der Kapitel

Hilfreiche Literaturquellen

■ Internet-Standards

- Die Standard-Dokumente zu den Internet-Protokollen sind online frei zugänglich (<http://www.ietf.org>).
- RFC-Suche (<http://rfc-editor.org/rfcsearch.html>)

■ Allgemeines zum Internet

- Informationen über das Internet finden Sie auch unter der folgenden Web-Adresse: <http://www.isoc.org/internet/>

■ Artikel in Fachzeitschriften über

- IEEE Bib (<http://ieeexplore.ieee.org>)
- ACM BIB (<http://portal.acm.org>)
- Frei zugänglich aus dem KIT-Netz!



... die einzelnen Kapitel enthalten dedizierte Literaturangaben

Organisatorisches zur VL Mobilkommunikation

■ Dozenten

- Prof. Dr. Oliver Waldhorst (Hochschule Karlsruhe)
- Markus Jung

■ Vorlesungstermine

- Montags um 09:45 - 11:15 Uhr, 50.34 Raum -102

■ Folienkopien in ILIAS

- Verlinkt unter <http://telematics.tm.kit.edu/>

Organisatorisches

- Sprechstunden Prof. Zitterbart
 - Mittwochs von 13:00 – 14:00

- Öffnungszeiten des Sekretariats
 - Montag – Donnerstag von 08:00 Uhr bis 11:45 Uhr
 - Mittwochs auch von 13:00 bis 14:00 Uhr
 - Freitags ist geschlossen

- Informationen im Web
 - <http://telematics.tm.kit.edu>

- Anmeldungen zu Praktika/Seminaren
 - Per Web unter <http://telematics.tm.kit.edu>
 - ... oder bei Fragen und Problemen
 - im Sekretariat von Prof. Zitterbart bei Frau Natzberg oder
 - per E-Mail/Telefon an Frau Natzberg

Prüfungstermine

■ Prüfung

- Derzeit mündliche Prüfungen

■ Prüfungstermine

- Es werden mehrere Blöcke von Terminen bekannt gegeben
- Konkrete Termine
 - Auf den Webseiten (<http://tm.kit.edu/lehre/termine>)
 - Im Sekretariat erfragen

■ Anmeldung zu Prüfungen

- Im Sekretariat von Prof. Zitterbart bei Frau Natzberg, Informatikgebäude am Schloss
(Geb. 20.20), Raum 360, Tel.: 608-46411,
Email: telematics@tm.kit.edu
- Für die Prüfungen bitte die jeweils für Ihren Studiengang gültigen Prüfungsregelungen beachten

■ Future Internet: Algorithmen, Protokolle, Architekturen

Virtualization,
Management,
SDN

Decentralization
& Privacy
Protection

Network
Security

Internet of
Things

■ Methoden & Werkzeuge: Evaluation, Design-Prozess

Analysis &
Simulations

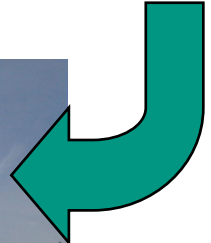
Prototypes,
Testbed
Experiments

Systematic
Design
Process

Selbst aktiv werden?

■ Interesse? Wie wäre es beispielsweise als

- Hiwi
- Bachelor-/Masterarbeiter
- ... oder als aktiver Teilnehmer an einer/mehreren der Arbeitsgemeinschaften?



■ Schauen Sie doch einfach mal am Institut vorbei!

- Informatikgebäude am Schloss (Geb. 20.20), 3. Stock

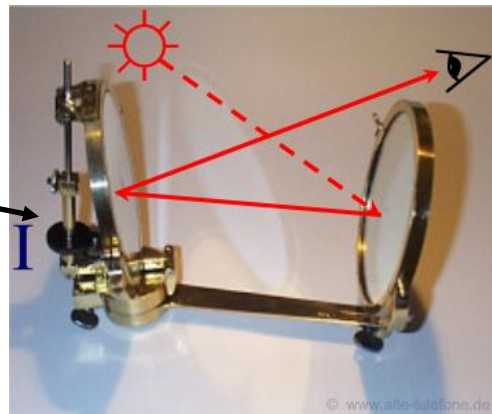


Viel Spaß bei der Mobilkommunikation im Wintersemester 2016/17

Zur Historie

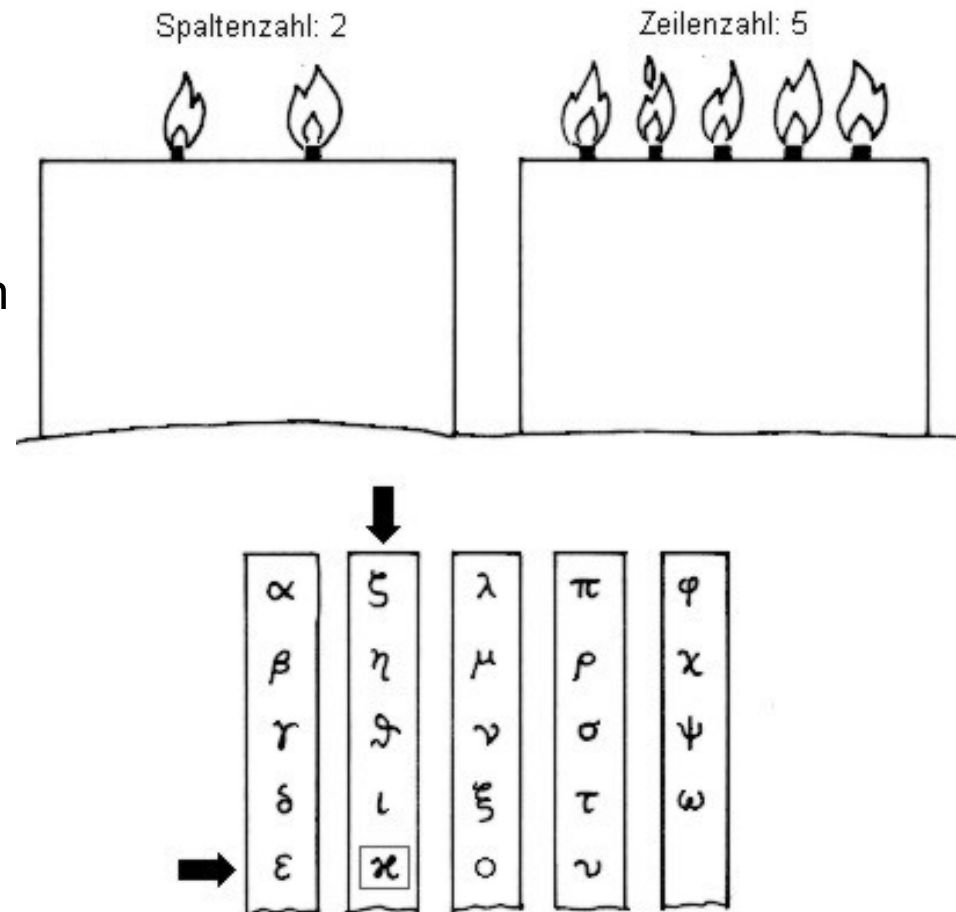
- Drahtlose Kommunikation ist „uralt“
 - ... nun ja, die Technik hat entscheidende Fortschritte gemacht
- Heliograph (405 v. Chr., Griechenland)
 - Muster von Lichtimpulsen mithilfe von Spiegeln
 - ab 1875 für militärische Zwecke verwendet
 - Wegen hoher Wetterabhängigkeit durch elektrischen Telegraph abgelöst
 - Schematische Darstellung

Taste zum Kippen des Spiegels



Fackeltelegraph

- Von Polybius in der Antike vorgeschlagen
 - 150 v.Chr., Griechenland
- Funktionsweise
 - Jedem Buchstaben des Alphabets (**Nutzdaten**) wird ein Fackelcode (**Symbol**) zugeordnet
 - 5 Fackeln – jeweils Bestimmung der Zeile und der Spalte
- Probleme
 - Geringe Reichweite
 - **Personal muss lesen und schreiben können**
- Keine Hinweise für historischen Einsatz



[1.10, 1.3]

Fackeltelegraph

„Seit dem Altertum zählt das Feuer zu den klassischen Medien der Signalgebung. Gewöhnlich wurde das Zeichen mit Hilfe brennender Fackeln übermittelt, die etwa zwischen die Zinnen eines Signalturms gelegt waren.“

 [1.3]



*Römischer Limes-Wachturm
mit Fackelsignal.
Kupferstich, 1785*



Aquarell von A. Roloff

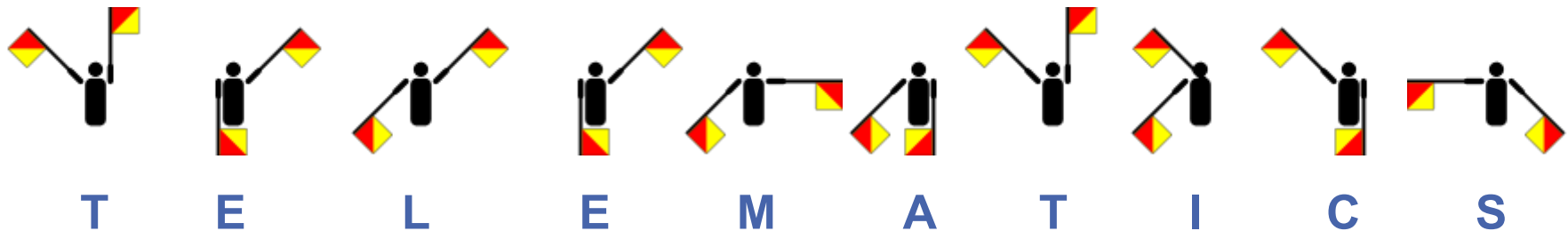
Fackeltelegraph

- Es können etwa 8 Zeichen pro Minute übertragen werden.
- Welche Datenrate kann damit realisiert werden?

Flaggentelegraph

■ 1794: Claude Chappe (1763 – 1805)

- Flaggen („Semaphore“), Zeiger
 - Positionen von Flaggen kodiert Zeichen
- Beispiel

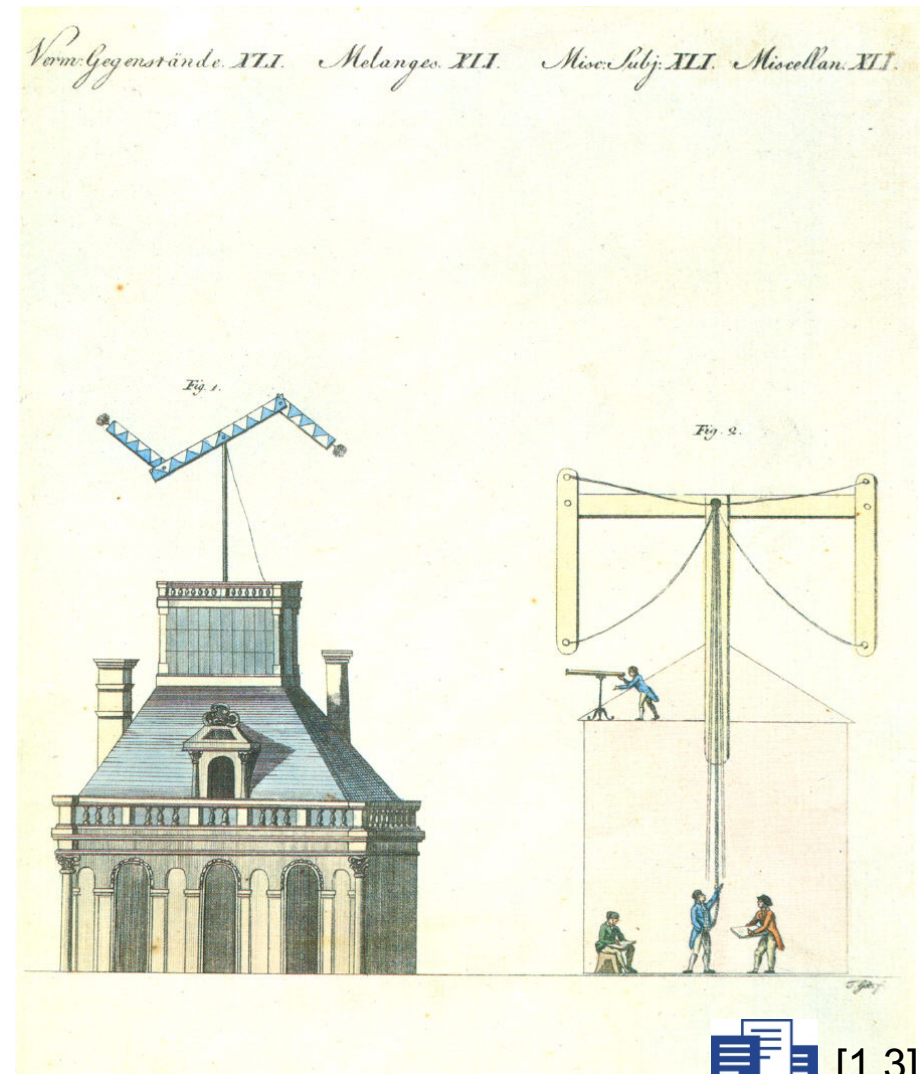


■ Erste Telegraphenlinie (1794) von Paris nach Lille

- Ca. 210 km mit 23 Zwischenstationen  [1.11]
- Übertragung einer längeren Nachricht innerhalb einer Stunde von Lille nach Paris
- Überbringung durch berittenen Boten hätte 24 Stunden gedauert
- ... strategischer Vorteil bei einem befürchteten Angriff auf England
 - Lille liegt an der schmalsten Stelle des Ärmelkanals

Flaggentelegraph

- Funktionsweise eines Flaggentelegraphen
 - Je Zeiger 7 Positionen
 - Je Querbalken 2 Positionen
 - $\rightarrow 7 \times 2 \times 2 \times 7 = 196$ Figuren
 - 92 gut erkennbare Symbole über Code-Verzeichnis mit Bedeutung verknüpft
 - 2 Symbole pro Nachrichteneinheit
 - Seite (1...92)
 - Zeile (1...92)
 - Damit $92 \times 92 = 8464$ verschiedene Nachrichteneinheiten



[1.3]

Flaggentelegraph

- Jedes Symbol wird ca. 20 Sekunden angezeigt
 - Dient auch der Vermeidung von Übertragungsfehlern
- Welche Datenrate kann damit erzielt werden?
 - Informationsgehalt von 13 bit pro Symbolpaar

Flaggentelegraph – Netz in Frankreich



Pleumeur-Bodou



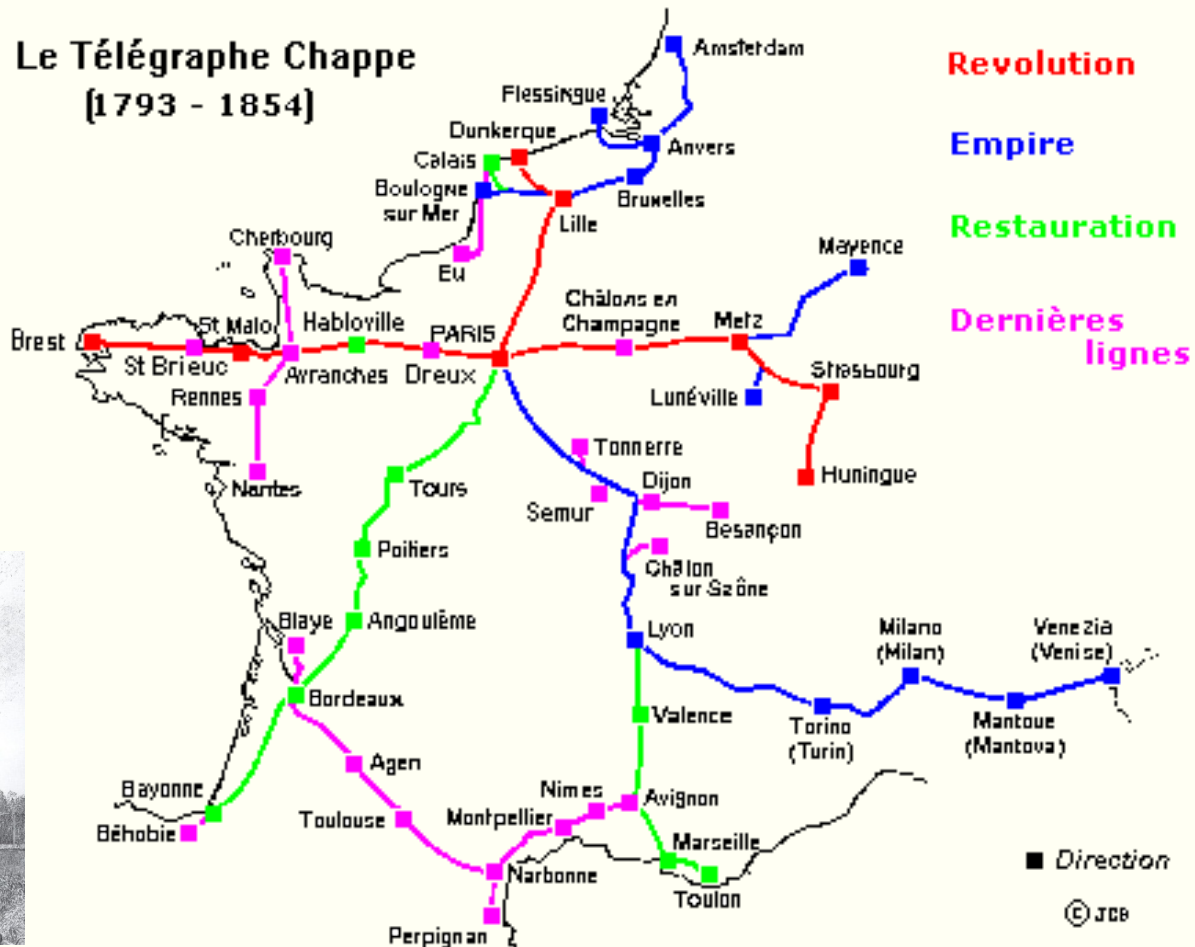
Sainte Foy-lès-Lyon



Marcy sur Anse



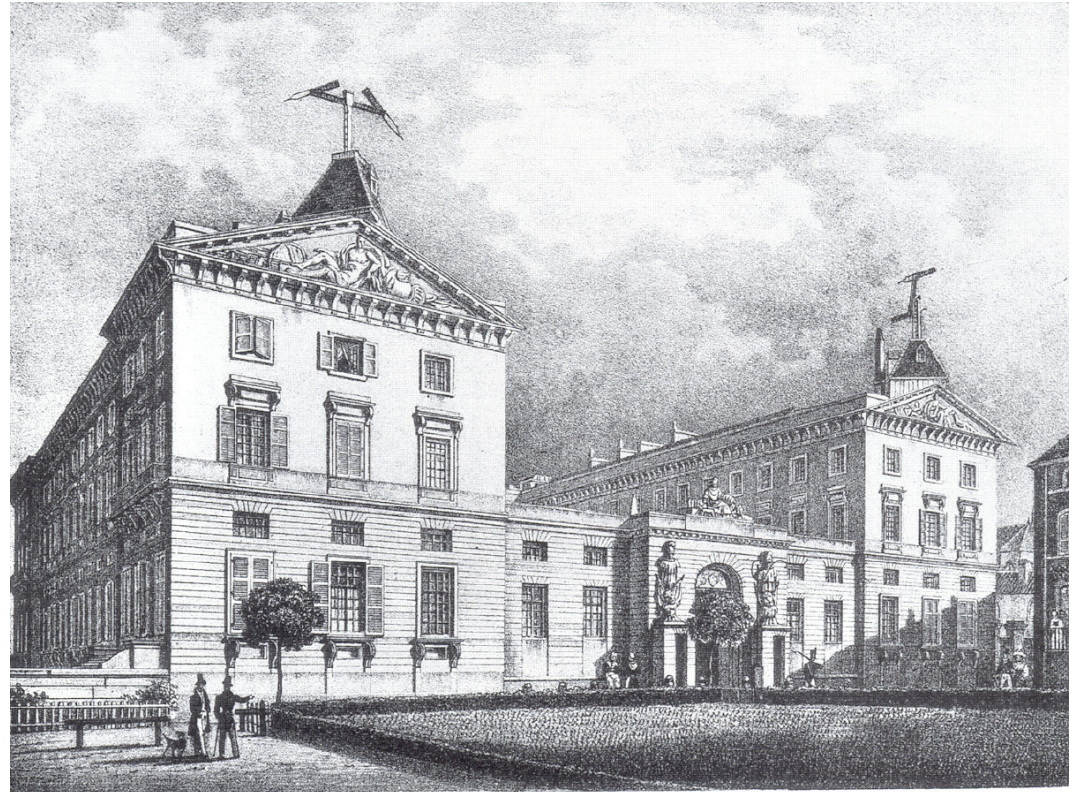
*Kirche St. Pierre auf dem
Hügel Montmartre in Paris*



[1.3,1.12]

Flaggentelegraph

„Anfangs war Metz eine Station der Linie Paris-Strassburg; in den Jahren 1813/1814 kam eine Abzweigung hinzu, so dass der Justizpalast gleich zwei Telegrafenstationen beherbergte.“



Ein Telegraph für Karlsruhe [1.3]

- „Carlsruher Zeitung“ vom 20. Oktober 1794
 - Erstmaliger Bericht über Telegraphen in Frankreich
 - Großes Interesse
 - Bisher: maximale Benachrichtigungsgeschwindigkeit: Galopp eines Pferdes
 - Information wird vom Material gelöst!
 - Claude Chappe: „Ich schreibe im Raum“
 - Böckmann aus Karlsruhe macht neue Erfindungen im Bereich der Telegraphen
 - Professor für Mathematik und Physik in Karlsruhe
 - ... es muss etwas geschehen
 - ... „nicht nur wegen der schier unglaublichen Übertragungsgeschwindigkeiten“ [1.3]
 - ... Kriegszustand – also wollte keiner die Erkenntnisse Frankreichs übernehmen

Französische Zustände

■ Zitat aus den zuerst 1832 erschienenen „Französischen Zustände“ Heinrich Heines

■ Siehst Du ihn, den Willen Gottes?

Er zieht durch die Luft, wie das stumme Geheimnis eines Telegraphen, der hoch über unseren Häuptionen seine Verkündigungen den Wissenden mittheilt, während die Uneingeweihten unten im lauten Markgetümmel leben und Nichts davon merken, dass ihre wichtigsten Interessen, Krieg und Frieden, unsichtbar über sie hin in den Lüften verhandelt werden.

Wichtige Persönlichkeiten und Entw.

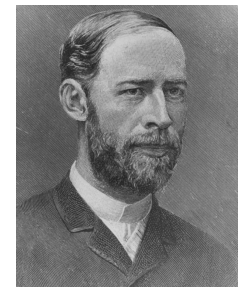
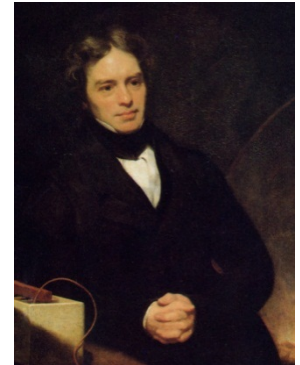
- Für die Vorlesung ist vor allem der Einsatz von **Funk** zur Kommunikation von Interesse.

Besondere Beiträge hierzu leisteten u.a. die folgenden Forscher

- **Michael Faraday** (1791 – 1867)
 - 1831: Demonstration der elektromagnetischen Induktion

- **James Clerk Maxwell** (1831 – 1879)
 - 1864: Theorie der elektromagnetischen Felder
 - Wellengleichungen

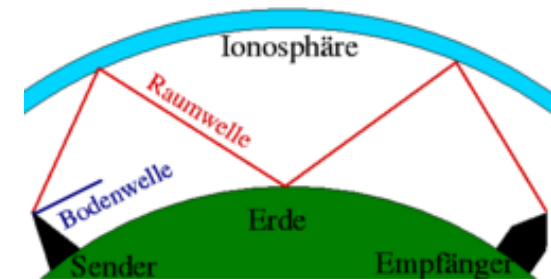
- **Heinrich Rudolf Hertz** (1857 – 1894)
 - 1886: Demonstriert experimentell den Wellencharakter der elektrischen Übertragung durch den Raum
 - In Karlsruhe, an der Stelle des heutigen Hertz-Hörsaals



Wichtige Persönlichkeiten und Entw.

- 1896: **Guglielmo Marchese Marconi** (1874 – 1937)
 - Erste Demonstration der drahtlosen Telegraphie (digital!)
 - Langwellenübertragung, hohe Sendeleistungen ($> 200\text{kW}$)
 - Drahtlose Übertragung über 1,5 Meilen
 - 1897: Gründung von *Marconi's Wireless Telegraph Company Ltd.*
 - 1899: Erste drahtlose Verbindung über den Ärmelkanal
 - 1901: Erste transatlantische Funkübertragung

- 1906: Erste Konferenz der International Telecommunication Union (ITU)
- 1907: Kommerzielle Transatlantik-Verbindungen
 - Sehr große Basisstationen (30 x 100m hohe Antennenmasten)
- 1915: Drahtlose Sprachübertragung New York - San Francisco
- 1920: Entdeckung der Kurzwelle durch Marconi
 - 3 MHz – 30 MHz, Wellenlänge von 100m bis 10m
 - Reflexion an der Ionosphäre (Raumwelle)
 - Erfindung der Vakuumröhre (1906, Lee DeForest und Robert von Lieben) ermöglicht kleinere Sender und Empfänger



Wichtige Persönlichkeiten und Entw.

- 1926: Erstes Zugtelefon
 - Strecke Hamburg - Berlin
 - Drähte parallel zur Bahntrasse
- 1928: Viele Feldversuche mit TV
 - Farb TV, Nachrichten, Atlantik
- 1933 **E. H. Armstrong** (1890 – 1954)
 - Erfindung der Frequenzmodulation



Historische Mobilfunknetze

■ 1958 A-Netz in Deutschland

■ Erste Testläufe 1953

- Mobiltelefonat von einem VW-Käfer aus
- Mobilfunkgerät: Gewicht 16 kg, Preis: 8000 DM
 - Zum Vergleich: damaliger Preis VW-Käfer: 5000 DM

■ analog, 160 MHz, Verbindungsaufbau nur von der Mobilstation, kein Handover, 80% Flächendeckung, 11.000 Teilnehmer (1971)

- Handvermittlung durch „Dame vom Amt“
- 137 Zonen à 30 km Durchmesser

■ 1977 abgeschaltet

Historische Mobilfunknetze

- 1972: **B-Netz** in Deutschland
 - Einführung zu den Olympischen Spielen 1972 in München
 - analog, 160 MHz, Verbindungsaufbau auch aus dem Festnetz heraus (aber Aufenthaltsort der Mobilstation muss bekannt sein), kein Handover
 - Keine „Dame vom Amt“ mehr erforderlich
 - Geräte vornehmlich in PKWs im Einsatz
 - ebenso in A, NL und LUX, 27000 Teilnehmer in D (1979)
 - 1994 abgeschaltet
- 1979: **NMT** (Nordic Mobile Telephone System), 450 MHz (Skandinavien)
 - Automatische Vermittlungsstellen
- 1982: Start der **GSM**-Spezifikation
 - Durch „Group Special Mobile“
 - Sollte für CEPT Standard entwickeln
 - Ziel: paneuropäisches digitales Mobilfunknetz mit Roaming
- 1983: **AMPS** in Amerika (Advanced Mobile Phone System)
 - analog
- 1984: **CT-1** Standard (Europa) für schnurlose Telefone

Historische Mobilfunknetze

■ 1986: C-Netz in Deutschland

- analoge Sprachübertragung, 450 MHz, Handover möglich, digitale Signalisierung, automatische Lokalisierung der Mobilstation
- Dienste: FAX, Modem, Datex-P, EMail, 98% Flächendeckung
- 12/2000 abgeschaltet

■ 1991: Spezifikation des DECT-Standards

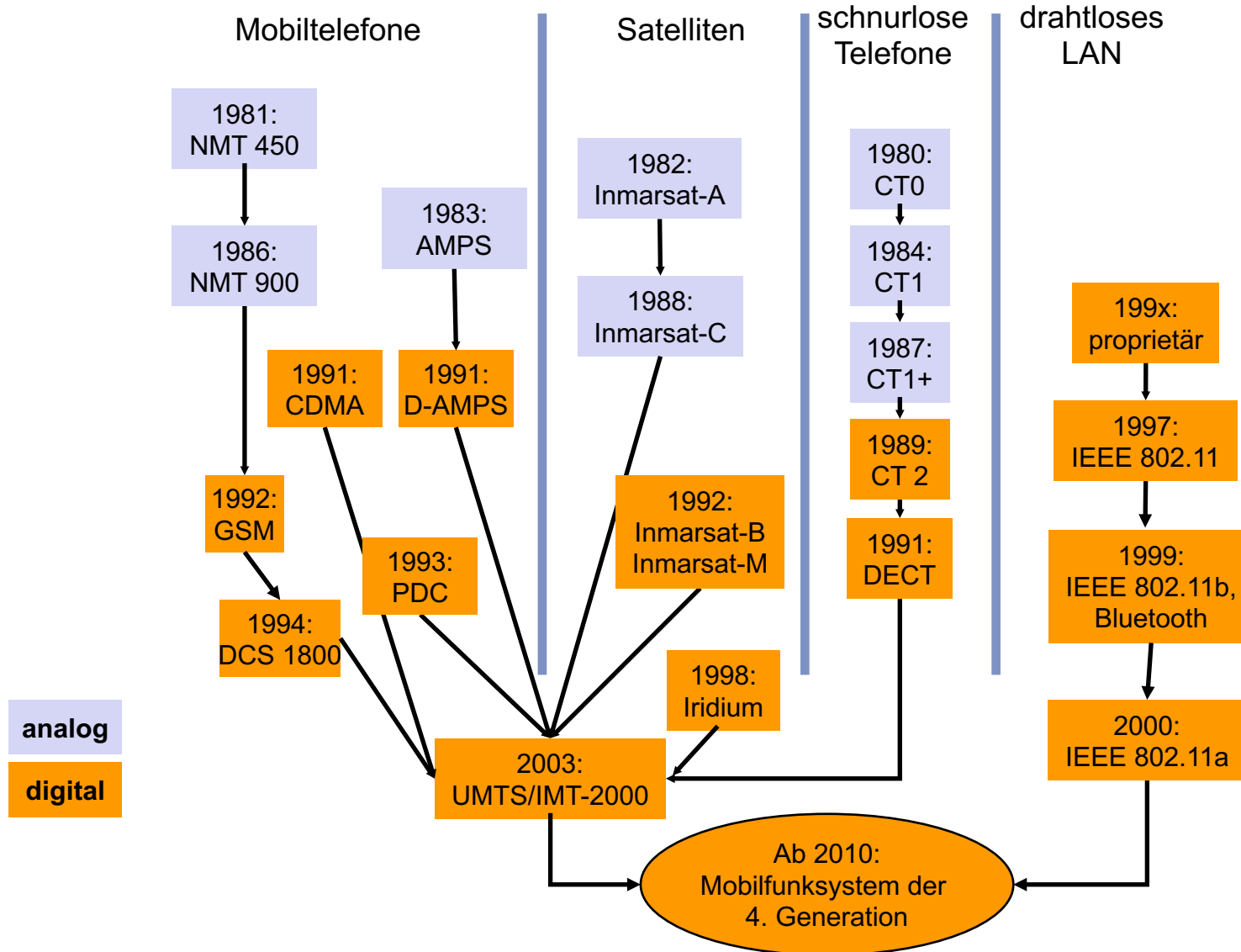
- Digital European Cordless Telephone (heute: Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
- 1880-1900 MHz, ~100-500 m Reichweite, 120 Duplexkanäle, 1,2 Mbit/s Datenübertragung, Sprachverschlüsselung, Authentifizierung, mehrere 10.000 Nutzer/km², Nutzung in 40 Ländern

- 1992: Start von GSM
 - in Deutschland als D1 und D2, voll digital, 900 MHz, 124 Trägerfrequenzen
 - automatische Lokalisierung, Handover, zellular
 - Roaming in Europa - nun auch weltweit in über 150 Ländern
 - Dienste: Daten mit 9,6 kbit/s, FAX, Sprache ... SMS (!)
- 1994 E-Netz in Deutschland
 - GSM mit 1800 MHz, kleinere Zellen, derzeit 11 Länder (DCS-1800)
 - als E-Plus in Deutschland
- 1996 HiperLAN (High Performance Radio Local Area Network)
 - ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
 - Standardisierung von Typ 1: 5,15 - 5,30 GHz, 23,5 Mbit/s
 - Vorschläge für Typen 2 und 3 (beide 5 GHz) und 4 (17 GHz) als drahtlose ATM-Erweiterungen (bis 155 Mbit/s)
 - ... heute ohne praktische Bedeutung, aber Einfluss auf weitere Standardisierung genommen
- 1997 Wireless LAN – IEEE 802.11
 - IEEE-Standard, 2,4 - 2,5 GHz und Infrarot, 2 Mbit/s
 - viele proprietäre Produkte schon früher

- 1998 Spezifikation von GSM-Nachfolgern
 - UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) als europäischer Vorschlag für **IMT-2000** (International Mobile Telecommunications-2000, verabschiedet von der ITU)
- 1999
 - Weitere drahtlose LANs
 - IEEE-Standard **802.11b**, 2,4 - 2,5 GHz, 11 Mbit/s
 - **Bluetooth** für Personal Area Networks, 2,4 GHz, < 1 Mbit/s
 - Entscheidung über **IMT-2000**
 - Mehrere „Familienmitglieder“: UMTS, CDMA2000, UWC-136
 - Start von **WAP** (Wireless Application Protocol)
 - Anfang der Verschmelzung Internet/Mobilkommunikation
 - Zugang zu vielfältigen Informationsdiensten über ein Handy

- 2000: GSM mit höheren Übertragungsraten
 - HSCSD bietet bis zu 57,6 kbit/s
 - Erste GPRS-Installationen mit bis zu 115,2 kbit/s
- 2002: Erste Testinstallationen von UMTS in Deutschland
- 2003: Bildung IEEE 802.11s Arbeitsgruppe
 - Drahtlose, vermaschte Netze
- 2004: Kommerzieller Start von UMTS in Deutschland
- 2005: **WiMax** (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
 - Drahtloser Breitbandzugang
 - Alternative zu DSL
 - Standardisiert als IEEE 802.16 (seit 2001)
 - Unterschiedliche Versionen
 - Datenraten bis zu 100 Mbit/s
 - Reichweite bis zu 50 km
 - August 2005: Start eines kommerziellen WiMax-Netzes in Heidelberg
- 2006: Kommerzieller Start von **HSDPA** in Deutschland
- 2010: Versteigerung neuer Frequenzen (360 Megahertz)
- 2011: Start **LTE**-Ausbau (flächendeckende Verfügbarkeit ca. 2015)

Entwicklung im Überblick



- 1.2 Welche neuen Aufgaben müssen in der Mobilkommunikation im Vergleich zur Festnetzkommunikation gelöst werden?
- 1.3 Was versteht man unter einem Handover?
- 1.4 Erläutern Sie das Problem der versteckten und ausgelieferten Endgeräte.
- 1.5 Welche Konsequenzen hat das Problem der Nahen und Fernen Endgeräte?
- 1.6 Veranschaulichen Sie den Unterschied zwischen Symbolen und Nutzdaten anhand des Fackel- und Flaggentelegraphen.

Referenzen und weiterführende Literatur

- [1.1] J. Schiller; Mobilkommunikation; Addison-Wesley, 2003
Kapitel 1 – Einführung → Geschichte der Mobilkommunikation
- [1.2] R. Read, Nachrichten- und Informationstechnik; Pearson Studium 2004
Einfach lesbare Einführung in die Nachrichten- und Informationstechnik
- [1.3] K. Beyerer, B. Mathis (Hrsg.); So weit das Auge reicht – Die Geschichte der optischen Telegraphie; Karlsruhe, Braun, 1995, ISBN 3-7650-8150-7
Populärwissenschaftliches Buch über die Geschichte der optischen Telegraphie
- [1.4] T. S. Rappaport, Wireless Communications, Prentice Hall, 1999
- [1.5] www.handywellen.de
- [1.6] www.umtslink.at/mobilfunkgeschichte.htm
- [1.7] <http://www.spiegel.de/netzwelt/technologie/0,1518,405336,00.html>
- [1.8] <http://www.tisa.org/technologies/tmc/>
- [1.9] <http://www.alte-telefone.de/seite50.htm>
- [1.10] http://www.mbraetz.de/krypto_1402
- [1.11] www.wikipedia.de (vor allem Bilder)
- [1.13] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>
- [1.14] http://www.t-mobile.de/hotspot/1,9646,13391-_,00.html?svl=100