

# Mobilkommunikation

## Teil VI: Positionsbestimmung



### Kapitel 10 Positionsbestimmung



## Kapitelübersicht

- I. **Einleitung**
  - 1. Einführung und Grundlagen
- II. **Drahtlose Telekommunikationssysteme**
  - 2. GSM
  - 3. UMTS
- III. **Drahtlose lokale Netze**
  - 4. IEEE 802.11 / WiFi
  - 5. Mobile Ad Hoc Netze
- IV. **Drahtlose innerstädtische Netze**
  - 6. IEEE 802.11s
  - 7. IEEE 802.16 / WiMax
- V. **Drahtlose persönliche Netze**
  - 8. Bluetooth
  - 9. IEEE 802.15.4 / ZigBee
- VI. **Positionsbestimmung**
  - 10. **Positionsbestimmung**
- VII. **Mobiles Internet**
  - 11. Mobile Vermittlungsschicht
  - 12. Mobile Transportschicht

- 10.1 Verfahren zur Positionsbestimmung
- 10.2 Satellitennavigation
  - 10.2.1 Prinzip
  - 10.2.2 GPS
  - 10.2.3 Andere Systeme
- 10.3 Positionsbestimmung in Gebäuden
- 10.4 Netzwerk-gestützte Positionsbestimmung
- 10.5 Geographische Adressierung

Übungen  
Referenzen

2



## Positionsbestimmung – Einsatzgebiete und Anwendungen

- Navigation
  - Position verwenden, um den Benutzer zu einem bestimmten Zielort zu führen
- Informationen über die Umgebung
  - Bereitstellung von Informationen über den aktuellen Ort oder die Umgebung
    - ▶ Beispiel: elektronischer Touristenführer, Sonderangebote in einem bestimmten Regal
- Verknüpfung mit dem Internet
  - Hyperlinks könnten die aktuelle Position berücksichtigen
    - ▶ Beispiel: Ein italienisches Restaurant in der Nähe
  - Versenden von Emails an Personen die sich an einer bestimmten Position befinden
- Notrufsysteme
  - Automatische Hilferuf-Systeme lotsen im Notfall den Arzt zur Position des Patienten
  - Eltern können die Position ihres vermissten Kindes bestimmen
- Optimierung von Kommunikationsstrukturen
  - Routing in Ad hoc Netzen
  - Weiterleitung eines eingehenden Telefonanrufs an den nächsten Telefonapparat
- Militärische Anwendungen
  - Navigation von Flugzeugen, Fahrzeugen, Schiffen und Flugkörpern
  - Einsatzplanung und Logistik

3



## Ausprägungen von Positionsdaten

- Unterschiedliche Anforderungen an Positionsdaten
  - Weltweit **eindeutige** Position
    - ▶ Z.B. Angabe von Längen- und Breitengrad und ggf. Höhe
  - **Relative** Position zu einem gegebenen Punkt
    - ▶ Beispiel: Für die Navigation in einem Gebäude reicht die relative Position zu einer Gebäudeecke
  - **Orientierung** im Raum
    - ▶ Spezifizierung der Raumrichtung durch drei Winkel (Roll-Pitch-Yaw)
    - ▶ Himmelsrichtung
  - **Geschwindigkeit**
    - ▶ Bestimmung durch zwei zeitlich versetzte Positionsmessungen
  - **Messfehler**
    - ▶ Abhängig vom eingesetzten Verfahren und den jeweiligen Umgebungsbedingungen
  - **Semantische Position**
    - ▶ Benutzer ist oft nicht an der Koordinaten sondern an der Bedeutung der aktuellen Position interessiert
      - ▶ Beispiel in Gebäuden: Angabe von Stockwerk, Flügel oder Raum statt x-y-z-Koordinaten

4

## 10.1 Verfahren zur Positionsbestimmung

### • Kategorien

#### • Tracking

- ▶ Position einer Person oder eines Objektes werden von einem Sensornetzwerk bestimmt
  - ▶ Benutzer bekommt eine **Marke** (Tag)
  - ▶ Ermittelte Position liegt nur im Positionierungssystem vor und muss ggf. über ein drahtloses Netzwerk zum Benutzer übertragen werden

#### • Positioning

- ▶ Mobiler Benutzer ermittelt die Position selbst
  - ▶ System von Sendern oder **Baken** (Beacons)
  - ▶ Positionsangabe fällt direkt beim Benutzer an
    - ▶ Keine aufwändigen Sicherungsverfahren nötig

5

## Basistechniken zur Positionsbestimmung

### • Cell of Origin (COO)

- Positionierungssystem weist eine Zellenstruktur auf
- Aus der Identifikation der Zelle lassen sich Rückschlüsse auf die Position ziehen

### • Time of Arrival (TOA), Time Difference of Arrival (TDOA)

- Elektromagnetische Signale bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit, Laufzeit kann mittlerweile präzise bestimmt werden
- Aus Zeitunterschied zwischen Aussenden und Empfangen eines Signals kann die Entfernung zwischen Sender und Empfänger bestimmt werden
- In GSM-Netzwerken wird statt dem Begriff TDOA oft der Begriff Enhanced Observed Time Difference (E-OTD) verwendet

### • Angle of Arrival (AOA)

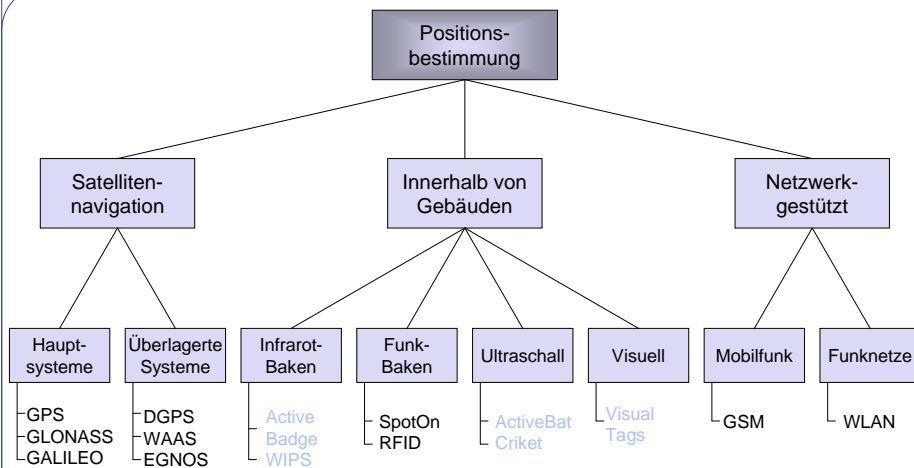
- Durch Antennen mit Richtungscharakteristik kann ermittelt werden aus welcher Richtung ein bestimmtes Signal eintrifft
- Empfänger ist mit Satz von Antennen ausgestattet

### • Messung der Signalstärke

- Aus der Signalstärke am Empfangsort kann auf den Abstand zum Sender geschlossen werden

6

## Überblick über Positionsbestimmungssysteme



Quelle: J. Roth

7

## 10.2 Satellitennavigation

- Die Idee, Satelliten zur Positionsbestimmung einzusetzen, geht bis in die 60er Jahre zurück

### • Vorteile

- Positionsbestimmung kann überall auf der Erde erfolgen
- Umweltbedingungen wie z.B. das Wetter haben nur geringen Einfluss auf die Positionsbestimmung
- Hohe Genauigkeit

### • Nachteile

- Erhebliche Kosten zur Installation und Überwachung der Satelliten
- Positionsbestimmung funktioniert nur, wenn die Signale von hinreichend vielen Satelliten empfangen werden
  - ▶ Im Inneren von Gebäuden ist keine Positionsbestimmung möglich

### • Beispiel

- Global Positioning System (GPS), GLONASS, GALILEO

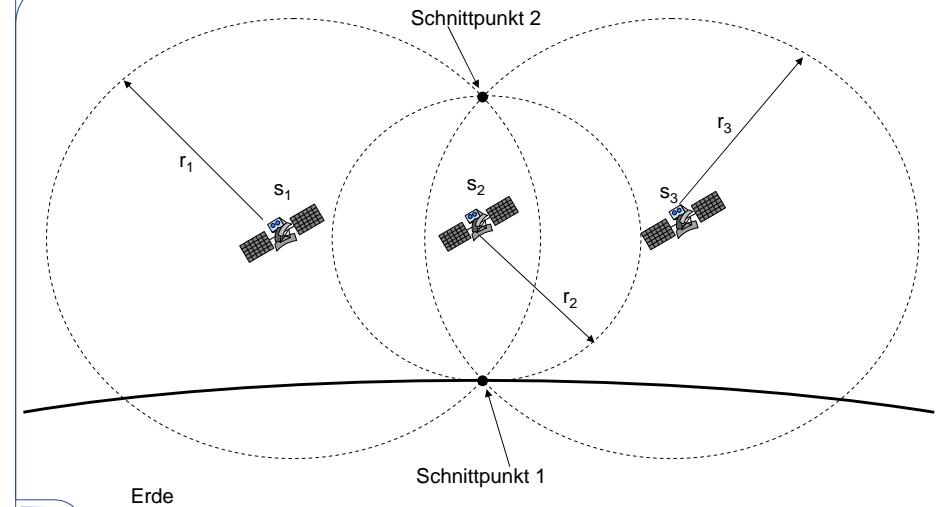
8

## 10.2.1 Prinzip der Positionsbestimmung mit Satelliten

- Benutzer benötigt zu Satelliten i...
  - ... exakte **Position** des Satelliten  $s_i$
  - ... exakte **Entfernung** zu den Satelliten  $r_i$
- Zur Positionsbestimmung werden drei Satelliten benötigt
  - 1 Satellit: Kugeloberfläche
  - 2 Satelliten: Schnitt zwischen zwei Kugeloberflächen (Kreis)
  - 3 Satelliten: Schnitt zwischen drei Kugeloberflächen (2 Punkte)
    - ▶ Einer der beiden Schnittpunkte befindet sich im allgemeinen weit im Weltraum, und kommt somit als Position für einen Benutzer innerhalb der Erdatmosphäre nicht in Frage
- Bestimmung der Position der Satelliten
  - Satelliten kreisen auf festen Bahnen um die Erde
  - Navigationssysteme besitzen Verzeichnisse aller Satelliten, die ständig aktualisiert werden

9

## Prinzip der Positionsbestimmung mit Satelliten



10

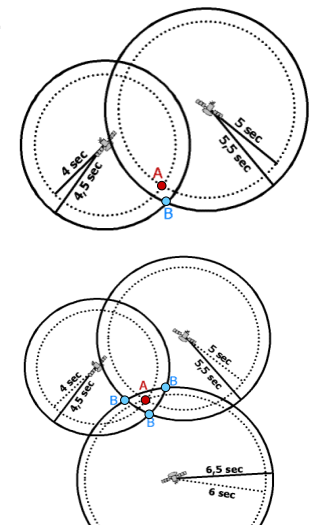
## Entfernungsbestimmung I

- Verfahren
  - Jeder Satellit sendet ein Signal mit Zeitpunkt des Aussendens
  - Empfänger vergleicht Zeitpunkt mit interner Uhr.
  - Bestimmung der Entfernung aus **Zeitunterschied**  $\Delta t$  anhand  $r = c \cdot \Delta t$  ( $c$  ist Lichtgeschwindigkeit, rund 300000 km/s)
- Zeitmessung ist der kritische Punkt
  - Messung muss sehr exakt sein
    - ▶ Fehler von 1  $\mu s$  führt zu einem Unterschied von 300 m in der Positionsbestimmung
  - **Systemzeit** = exakte Uhrzeit des ganzen Navigationssystems
    - ▶ Satelliten sind mit Atomuhren ausgerüstet
- Problem
  - **Synchronisation der Uhren in den mobilen Geräten mit der Systemzeit**
    - ▶ Mobile Geräte können aus Kostengründen nicht mit Atomuhren ausgestattet werden
- Lösung
  - Verwendung eines vierten Satelliten, um Zeitdifferenz auszugleichen

11

## Entfernungsbestimmung II

- Beispiel für den 2-dimensionalen Fall  
(Hier werden 2 statt 3 Satelliten benötigt)
- Ungenaue Uhr im mobilen Gerät
  - Im Beispiel geht die Uhr vor
  - Kreise schneiden sich in B statt in A
  - Auch als „Pseudo-Range“ bezeichnet
- Korrektur der Uhr im mobilen Gerät
  - Ermöglicht durch zusätzlichen Satelliten
  - Ergibt zusätzliche B-Schnittpunkte
  - Eigene Uhr wird so verstellt, dass sich alle B-Punkte zu A überlagern



12

### • Geschichte

- 1970: Konzeption von NAVSTAR GPS (Navigation System with Timing and Ranging – Global Positioning System) durch das Department of Defense (DoD)
- 1974: Erste Systemtests
- 1984: Start der ersten GPS-Satelliten
- 1990: 12 Satelliten im Betrieb
- 8.12.1993: Erste Betriebsbereitschaft (Initial Operation Capability, IOC) mit 21 Systemsatelliten und 3 Reservesatelliten
- 17.7.1995: Volle Betriebsbereitschaft (Full Operation Capability, FOC)

13

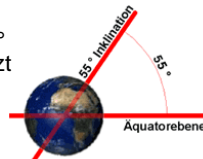
### • Beschreibung

- Globale Abdeckung
- 24 Satelliten auf 6 Bahnen mit jeweils 4 Satelliten pro Bahn
- Abstand der Satelliten zur Erde beträgt ca. 20200 km
  - ▶ 12 Stunden Umlaufzeit
- Von jedem Punkt der Erde sind min. 5 und max. 11 Satelliten sichtbar
- Lebensdauer eines Satelliten beträgt 7,5 Jahre
  - ▶ Reservesatelliten

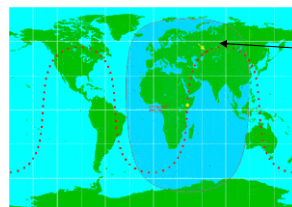
14

- Satelliten umkreisen Erde mit 3,3 km/s; Umlaufzeit: 12 Stunden
- GPS-Satellitenbahnen

- 6 Ebenen mit je 4 Satelliten in gleichen Abständen
- **Inklination:** 55°
- Ebenen jeweils um 60° gegeneinander versetzt



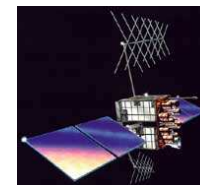
- „Groundtrack“ eines Satelliten



00:00 Uhr

15

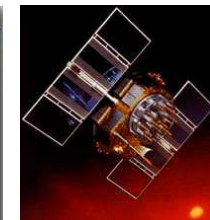
- Block I
  - zwischen 1978 und 1985 11 Satelliten gestartet – heute keiner mehr im Betrieb
- Block II
  - bis September 1996 9 gestartet
    - ▶ 5,1 m Spannweite, Betriebsdauer von 7,5 Jahren



Block IIA



Block IIF



Block IIR



- → Start eines Satelliten kostet ca. \$ 50 Mio.

16

- Ausgesendete Signale können kostenlos genutzt werden
- Dienste
  - **Precise Positioning Service (PPS)**
    - ▶ Verschlüsselt
      - ▶ Streitkräfte der USA und der NATO
    - ▶ Genauigkeit von 22 m in der Horizontalen und 27,7 m in der Vertikalen
  - **Standard Positioning Service (SPS)**
    - ▶ Zivile Nutzung
    - ▶ Genauigkeit
      - ▶ Bis 30.04.2000: 100 m in der Horizontalen und 156 m in der Vertikalen
        - ▶ Signal wurde mit dem System *Selective Availability* (SA) künstlich verfälscht
      - ▶ Seit 01.05.2000: 25 m in der Horizontalen und 43 m in der Vertikalen

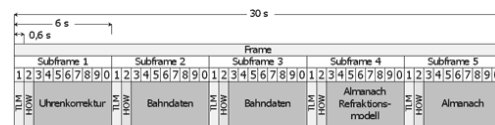
Dienst	Genauigkeit horizontal	Genauigkeit vertikal
PPS	22 m	27,5 m
SPS mit SA	100 m	156 m
SPS ohne SA	25 m	43 m

17

- Jeder Satellit sendet stetig mit ca. 20 W ein Signal auf 2 Frequenzen aus
  - L1: 1575,42 MHz für PPS und SPS
  - L2: 1227,6 MHz ausschließlich für PPS
- Alle Satelliten senden auf denselben Frequenzen
  - Jeder Satellit sendet einen eigenen, eindeutigen Code
    - ▶ **Pseudo Random Noise (PRN)**
  - Einsatz eines CDMA-Verfahrens
    - ▶ PRNs stören sich nicht gegenseitig
  - Empfänger kennt alle Codes
- Das PRN dient als Trägersignal eines Satelliten
  - Enthält selbst keine tatsächliche Information
  - Ist für jeden Satelliten 1023 „Chips“ lang
    - ▶ 1023000 Chips/Sekunde
  - Wird zur Synchronisation zwischen Satellit und Empfänger benötigt

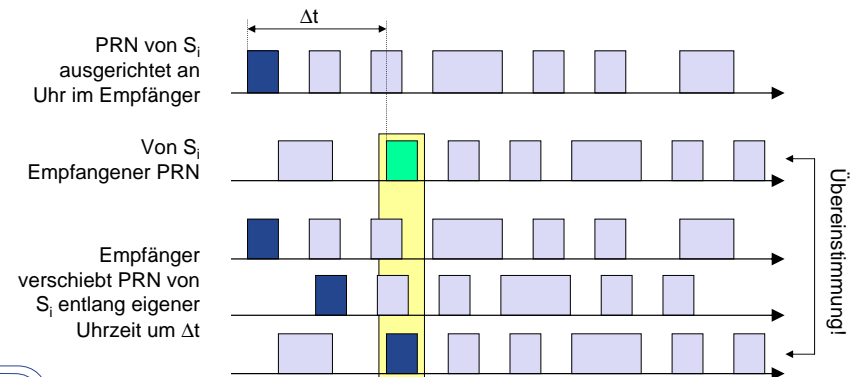
18

- Auf das Trägersignal wird das eigentliche Datensignal aufmoduliert
  - Datenrate von 50 Bit/s
    - ▶ Es werden 20 PRN/Bit übertragen
  - Signal wird kontinuierlich wiederholt
    - ▶ Einbettung jeweils aktueller Information über das Navigationssystem
- Aufbau des ausgesendeten Datensignals
  - Vollständiges Signal ist insgesamt 37.500 Bit lang
    - ▶ Braucht 12,5 Minuten für vollständige Übertragung!
  - Signal besteht aus 25 einzelnen **Frames** à 1500 Bit (30s Übertragungsdauer)
  - Ein Frame ist in 5 **Subframes** à 300 Bit (6s zur Übertragungsd.) unterteilbar
  - Jedes Subframe enthält 10 Datenworte à 30 Bit (0.6s zur Übertragungsd.)
- Subframes enthalten Information über
  - Bahndaten anderer Satelliten (**Almanach**)
  - Zustand des Satelliten
    - ▶ Genauigkeit, Fehlfunktion, ...
  - Ungefähre Uhrzeit
    - ▶ in jedem Subframe
  - Uhrenkorrektur
  - Eigene Bahndaten



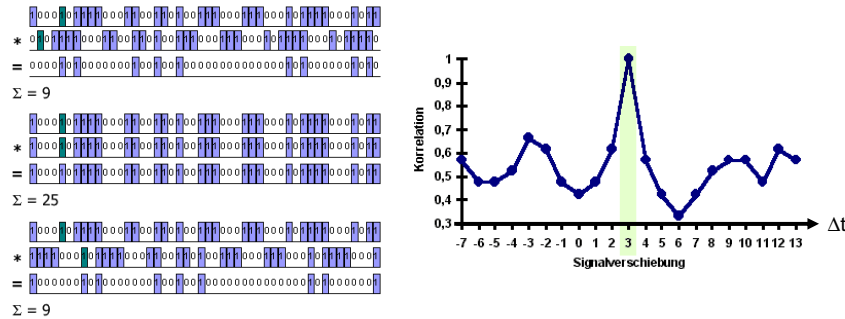
19

- Zum Datenempfang muss Empfänger mit Satelliten synchronisiert werden
  - Notwendig, da interne Uhr des Empfängers anfangs zu ungenau
  - Nutzung der von Satelliten übertragenen PRN



20

- Bestimmung des richtigen  $\Delta t$  anhand einer Kreuzkorrelation
  - Empfangene PRN-Signale werden als Bit-Muster miteinander multipliziert
    - Anschließend Addition der im Ergebnis vorhandenen 1en
  - Verschiedene Werte von  $\Delta t$  ergeben verschiedene Korrelationswerte
  - Direkter Zusammenhang zwischen *Korrelation* und *Signalstärke im Empfänger*
    - Bei maximaler Korrelation ist Signal erkannt und Datenempfang möglich



21

- In jedem Subframe wird „ungefähre Uhrzeit“ übertragen
  - „Hour Of Week“-Wort (HOW)
  - Gibt die Uhrzeit des Satelliten in Schritten von 6 Sekunden an
    - Uhrzeit wird im Satelliten aus 4 Atomuhren ermittelt
  - Kodiert die Uhrzeit *nach* der Übertragung des jeweils *letzten Subframe-Bits*
- Korrekturdaten der Uhr
  - Werden im 1. Subframe eines Frames übertragen (alle 30s)
  - HOW + Korrektur = Hochgenauer Zeitpunkt des letzten Bits vom 1. Subframe
- Letztes Subframe-Bit von Satellit  $S_i$  trifft beim Empfänger zum Zeitpunkt  $Q_i$  ein
  - $Q_i$  wird anhand der lokalen Uhr im Empfänger bestimmt

22

- Empfänger kennt daraufhin
  - Die genaue Position  $P_i$  des Satelliten  $S_i$  (aus 2. und 3. Subframe ermittelt)
  - Die genaue Uhrzeit  $T_i = \text{HOW}_i + \text{Korrektur}_i$ , zu der Satellit  $S_i$  an Position  $P_i$  war
  - Die Laufzeitdifferenz der einzelnen Satelliten *zueinander* ( $Q_i - Q_j$ )
- Bei genauer Uhr des Empfängers würde gelten
  - $Q_i = T_i + \Delta T_i$
  - $\Delta T_i$  = Laufzeit zwischen  $S_i$  und Empfänger
  - Position wäre mit Hilfe von Kugelschnitten berechenbar

23

- Problem:  $Q_i$  aus Uhr des Empfängers zu ungenau
    - Korrektur durch zusätzlichen Satelliten möglich
    - Pseudo-Ranges
  - Beispielverfahren:
    - Bestimme  $j$  so, dass  $(Q_j - T_j) = \min_i (Q_i - T_i)$
    - Bestimme  $\Delta T$  so, dass für alle  $i$  Kugeln mit
      - Mittelpunkt  $P_i$ 
        - Ist in Abhängigkeit von  $(Q_i - T_i)$  und  $\Delta T$  aus den Bahndaten zu berechnen!
      - Radius  $R_i = c \cdot ((Q_i - Q_j) - (T_i - T_j) + \Delta T)$ 
        - $c$  = Lichtgeschwindigkeit
        - $(Q_i - Q_j)$  = Laufzeitdifferenz zwischen Satelliten
        - $(T_i - T_j)$  = Differenz der Übertragungszeitpunkte
- sich in einem Punkt schneiden

24

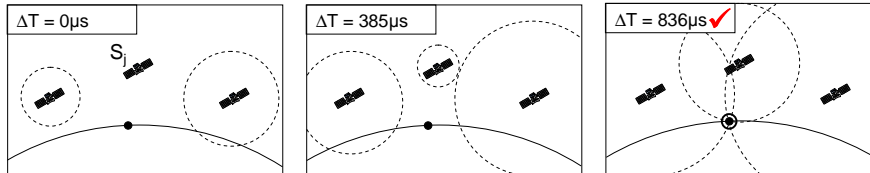


3. Es gilt dann:  $Z_i = T_i + \Delta T$

▶  $Z_i$  = korrigiertes  $Q_i$

▶  $Z_i - Q_i$  = Fehler der Uhr im Empfänger

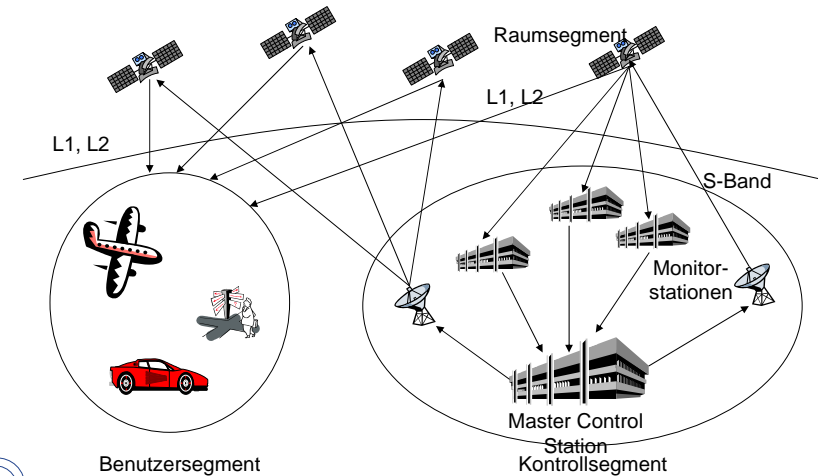
Eigene Position (durch Kugelschnittpunkt) und genaue Uhrzeit (durch  $\Delta T$ ) sind bestimmt!



Positionsbestimmung sehr komplex! [VI.3]

25

- Das gesamte System wird in drei sogenannte *Segmente* aufgeteilt



26

- Benutzersegment umfasst die GPS-Empfänger
  - Ständige Miniaturisierung und Preisverfall
- Möglichkeiten
  - Positionsbestimmung
  - Messung der Geschwindigkeit
    - Möglichkeiten
      - Zwei Positionsbestimmungen kurz hintereinander
      - Nutzung des *Doppler-Effekt*
        - Frequenzverschiebung bewegter Objekte als Maß für die eigene Geschwindigkeit
  - Messung der Uhrzeit
    - Uhrzeit kann weltweit exakt empfangen werden
  - Es ist *nicht* möglich, über das GPS-System den aktuellen Winkel eines Gerätes zu ermitteln

27

- Raumsegment
  - Besteht aus den Satelliten
- Kontrollsegment
  - Verwaltung der Satelliten
    - Korrektur der Satelliten-internen Daten (Systemzeit, Position, Bahndaten)
  - Monitorstationen
    - Ständiges passives Abhören der Satellitensignale
    - Präzise, bekannte, feste Position
    - Atomuhren, die mit der Systemzeit synchronisiert sind
    - Berechnung von Korrekturdaten
  - Master Control Station (MCS) in Colorado Springs (USA)
    - Aufgaben
      - Sammeln der Korrekturdaten von den Monitorstationen
      - Berechnung von Korrekturinformationen für die Satelliten
      - Übertragung von Bahn- und Positionsinformationen an die Satelliten
      - Korrektur der Atomuhren in den Satelliten
      - Einrichten neuer Satelliten
    - Kommunikation zwischen MCS und Satelliten über spezielles Frequenzband (S-Band)

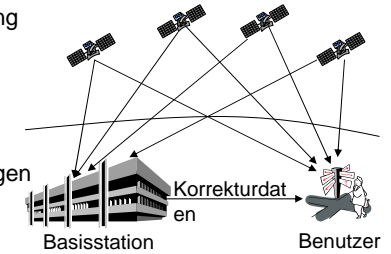
28

- Master-Controll Station
- 4 weitere Monitorstationen



29

- Häufig kann die gewünschte Genauigkeit der Positionsbestimmung nicht mit GPS erreicht werden
- **Differential GPS (DGPS)** kann die Genauigkeit entscheidend verbessern
- Prinzip:
  - Basisstationen/Korrektursender mit fester, präzise, bekannter Position führt eine Positionsbestimmung mit GPS durch
  - Aus der Differenz von tatsächlicher und gemessener Position werden Korrekturdaten bestimmt
  - Übermittlung der Korrekturdaten an Benutzer in der Umgebung
  - Korrekturdaten fließen in die Berechnung der Position beim Benutzer ein
- Anforderungen
  - Entfernung zwischen Basisstation und Benutzer ist nicht zu groß
  - Korrekturdaten werden zeitnah übertragen
- Genauigkeit wird durch DGPS auf ca. 1-3 m verbessert

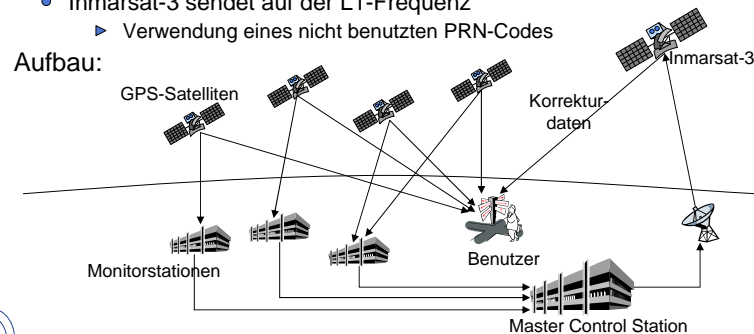


30

- Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung
  - Uhrenfehler
    - ▶ Ungenauigkeiten der Uhren
    - ▶ Fehler: ca. 1,5 m
  - Schwankungen der Umlaufbahn
    - ▶ Störungen durch die Gravitationskräfte der Sonne und des Mondes
    - ▶ Fehler: ca. 2,5 m
  - Störungen der Atmosphäre
    - ▶ Druck- und Wetterverhältnisse
    - ▶ Fehler: ca. 0,5 m
  - Störungen der Ionosphäre
    - ▶ Geladene Teilchen
    - ▶ Fehler: ca. 5,0 m
  - Multipath-Fehler
    - ▶ Reflektierte Signale in der Umgebung des Empfängers
    - ▶ Fehler: ca. 0,6 m
- Die genannten Abweichungen sind nicht konstant, sondern können variieren!

31

- Funktionsweise ähnelt DGPS
  - Monitorstationen mit fester Position berechnen Korrekturdaten
  - Korrekturdaten werden an Benutzer versendet
- Das **Wide Area Augmentation System (WAAS)** verwendet einen geostationären Satelliten (Inmarsat-3) für die Übertragung der Korrekturdaten
  - Inmarsat-3 sendet auf der L1-Frequenz
    - ▶ Verwendung eines nicht benutzten PRN-Codes
- Aufbau:



32



- Russisches Satellitennavigationssystem
  - GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)
  - Ging 1996 mit 24 Satelliten in Betrieb
  - 2 Frequenzen
    - ▶ Keine Verschlüsselung
  - Finanzierungsprobleme
    - ▶ 2000 waren nur noch 10 Satelliten aktiv → keine globale Abdeckung mehr
- Europäische Satellitennavigationssysteme
  - Bis 2002: Stufe 1
    - ▶ European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS)
    - ▶ WAAS ähnliches System
      - ▶ Sendet Korrekturdaten für GPS und GLONASS Satelliten
      - ▶ Soll bis 2002 fertiggestellt sein
  - Bis 2008: Stufe 2
    - ▶ Galileo



33

- Grundsätzlich:
  - Europas **eigene** Entwicklung für satelliten-gestützte Positionsbestimmung (Gemeinschafts-initiative von Europäischer Kommission und ESA)
  - Unter **zivil**er Kontrolle
  - **Interoperabel** mit GPS und GLONASS
- Ziele:
  - **Unabhängigkeit** von GPS
    - ▶ GPS Signal unterliegt US-Behörden
    - ▶ Künstliche Verfälschung (Ungenauigkeit) derzeit abgeschaltet, aber wie lange?
  - Kommerzialisierung
  - Höhere Genauigkeit als GPS
  - Empfänger soll Auswahl zwischen Systemen treffen können
- System
  - Bodenstationen für Kontroll- und Korrekturdaten (GCC – Galileo Control Center)
  - 30 Satelliten, 27 aktiv + 3 Reserve
  - 23222 km über Erdoberfläche



34

- Angebotene Dienste
  - **Offener Dienst**
    - ▶ Allen zugänglich
    - ▶ Genauigkeit 4 – 8m, Verfügbarkeit 99.8%
  - **Kommerzieller Dienst**
    - ▶ Kostenpflichtig, verschlüsselt
    - ▶ Garantierte Genauigkeit < 1m, Verfügbarkeit 99.8%
    - ▶ Bei Bedarf (gegen zusätzliche Gebühren) wird Integrität gewährleistet
  - **Dienst für staatliche Behörden**
    - ▶ Verschlüsselt
    - ▶ Garantierte Genauigkeit 6 – 12m, erhöhte Verfügbarkeit und Integrität
  - „**Safety of Life**“ (SOL, wo Menschenleben „im Spiel“ sind, z.B. Flugverkehr)
    - ▶ Im Wesentlichen wie „Offener Dienst“ aber mit zusätzlicher Integrität

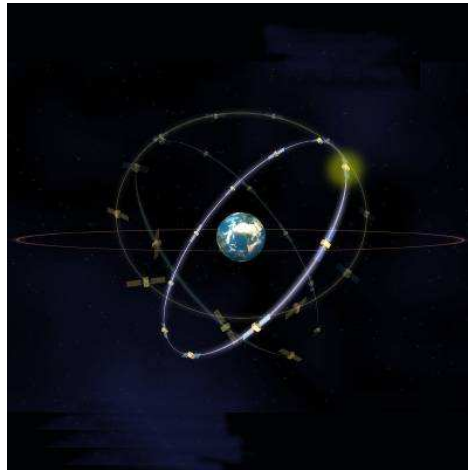


35

- Satelliten senden auf 3 Frequenzbändern
  - 1164 – 1215 MHz
    - ▶ Wird für offenen, kommerziellen und SOL-Dienst verwendet
  - 1250 – 1300 MHz
    - ▶ Wird für kommerziellen und staatlichen Dienst verwendet (beide verschlüsselt)
  - 1559 – 1593 MHz
    - ▶ Wird für offenen, kommerziellen, staatlichen und SOL-Dienst verwendet
    - ▶ Überlappt mit GPS L1-Frequenz (1575,42 MHz)
- Jeder Satellit sendet insgesamt 11 Signale aus
  - 10 Navigationssignale
    - ▶ 6 Datensignale: Datenrate zwischen 25 und 500 Bit/Sekunde
    - ▶ 3 Steuersignale
  - 1 zusätzliches Datensignal
    - ▶ Zur Übertragung von Notfallmeldung an Bergungs- und Rettungsmannschaften

36

- 30 Satelliten
- 10 für jeweils eine Orbital-ebene (siehe Abbildung)
- Jede Ebene 56° Inklination zum Äquator
- Umlaufzeit jedes Satelliten:
  - 14 Stunden
- Pro Ebene ein „Ersatzsatellit“ auf Stand-by
- Verteilung ermöglicht, dass „Überall auf der Welt mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% mind. 4 Satelliten sichtbar sind“



37

- Am 26. Juni 2004 Unterzeichnung eines Vertrags über die Gleichberechtigung von GPS, GLONASS und GALILEO
- Durch die Kombinationsmöglichkeiten von GPS und GALILEO stehen nach Abschluss insgesamt 60 Navigationssatelliten zur Verfügung
- Einigung auf gleiche Kanalcodierung (BOC(1,1) – Binary Offset Carrier)
  - Geringere Frequenzspreizung als ursprünglich mit BOC(1,5) vorgesehen → Geringere Störwahrscheinlichkeit des militärischen GPS-Signals (Spektrale Überdeckung nur rund 8%)

38

- Entwicklungs- und Validierungsphase (2001-2005)
  - Festlegung der Anforderungen
  - Entwicklung von Satelliten und bodenstationären Komponenten
  - Validierung des Systems „im Orbit“
- Aussetzungsphase (2006-2007)
  - Konstruktion und Start der ersten Satelliten
  - Installation des kompletten Boden-Segementes
- Kommerzielle Operationsphase (ab 2008)
- Zuletzt war die Finanzierung nicht geklärt... und jetzt ?
  - Bisher 1,5 Mrd. Euro investiert (2007)
  - Am 24. November 2007 Einigung: Das Geld soll hauptsächlich aus den Einsparungen im EU-Agrarsektor kommen
  - Für Endausbau bis 2013 stellt der EU-Haushalt weitere 3,4 Mrd. bereit

39

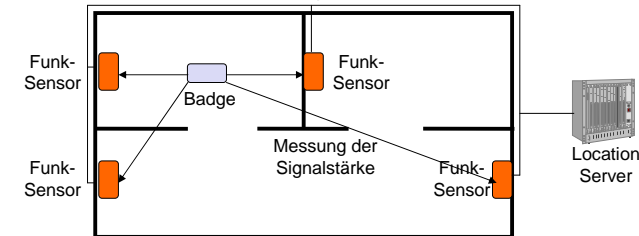
- Unabhängigkeit von militärisch motivierten Systemen (GPS, GLONASS)
- Genaue Positionsbestimmung auch in bislang schwierigen Gebieten
  - Bessere Nutzung in Häuserschluchten aufgrund höherer Anzahl verfügbarer Satelliten
  - Höhere Inklination im Orbit erlaubt Nutzung auch in höheren Breitengraden
    - ▶ Nördliches Europa heute eher nicht gut abgedeckt (GPS)
- Vielfältige Möglichkeiten zur Kommerzialisierung
  - z.B. Verbindung von GSM / UMTS und Galileo
- Studie prophezeit Galileo eine Marktdurchdringung von
  - 1800 Millionen Nutzern in 2010
  - 3600 Millionen Nutzern in 2020

40

- Satellitennavigation stellt eine bequeme, genaue und für den Endbenutzer kostengünstige Positionsbestimmung zur Verfügung
  - Aber: eingesetzte Signale können solides Mauerwerk nur ungenügend durchdringen
    - ▶ Nicht in Gebäuden einsetzbar
- Zur Positionsbestimmung in Gebäuden sind zusätzliche Installationen unumgänglich
- Verfahren
  - Infrarot-Baken
    - ▶ Active Badge
    - ▶ WIPS
  - Funk-Baken
    - ▶ SpotON
    - ▶ RFID
  - Ultraschall-Verfahren
    - ▶ ActiveBat
    - ▶ Cricket
  - Visuelle Positionsbestimmung
    - ▶ Visual Tags

41

- SpotON
  - Verwendung von Funksignalen
    - ▶ Können im Gegensatz zu Infrarot Wände durchdringen
    - ▶ Signalstärke ein Maß für den Abstand zwischen Sender und Empfänger
  - Das Signal geht vom Benutzer aus
  - Sensoren empfangen Signale
    - ▶ Übermittlung der Signalstärken an einen Server
    - ▶ Suchen nach Position, zu der alle gemessenen Signalstärken passen
      - ▶ Signalstärke ist u.a. auch abhängig von Hindernissen
  - Mit SpotON konnte eine Genauigkeit von 3 m erzielt werden



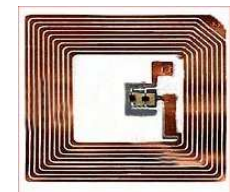
42

- RFID - Radiofrequenz-Identifikation
  - RFID-Transponder (Radiofrequenz-Identifikation)
    - ▶ Kleine Systeme mit Prozessor, Speicher und Antenne
    - ▶ Ohne eigene Stromversorgung
      - ▶ Notwendige Energie zum Arbeiten aus den Funksignalen
    - ▶ Auch aktive Systeme mit eigener Stromversorgung möglich (erheblich erhöhte Reichweite)
  - An Transponder gerichtetes Signal wird als Befehl interpretiert
    - ▶ Neue Daten werden in den Speicher geladen, oder
    - ▶ Daten aus dem Speicher werden zurückgefunkt
  - Abstand von max. 1 m
  - Einsatzgebiet
    - ▶ Verfolgung von Objekten
      - ▶ Transport
      - ▶ Produktion
  - Mit RFID-Transpondern wird keine Positionsbestimmung durchgeführt
    - ▶ Überprüfung, ob ein Objekt bestimmte Wegpunkte passiert hat

43

- Kein einheitlicher RFID-Standard, Unterschiede von Land zu Land
  - **30 bis 500 kHz (LF)**
    - Kostengünstige Systeme z.B. für Zugangskontrollen und Wegfahrsperrern. Lesegeschwindigkeit relativ gering.
  - **10 bis 15 MHz (HF)**
    - Lösungen zur Kennzeichnung im Einzelhandel (Smart Labels, meist bei 13,56 MHz)
  - **850 bis 950 MHz (UHF)**
    - In Europa nur 868 bis 870 MHz für RFID zugelassen. Einige Lösungen im Bereich der Logistik.
  - **2,4 bis 2,5 GHz und 5,8 GHz (Microwave)**
    - Bisher kaum praxistaugliche Lösungen. Überschneidungen mit WLAN
- Aufbau des Transponders
  - Transponder besteht aus Mikrochip und Antenne. Je nach Bauart einige KByte an Daten speicherbar. Antenne wird z.B. aus Kupferfolie gebildet (rechts gut zu erkennen)

[VI.6]



44

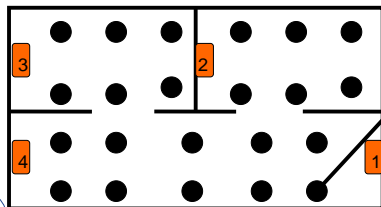
- Aufbau eines Systems zur Positionsbestimmung bedeutet eine nicht unerhebliche Investition
- Nutzung eines bereits vorhandenen drahtlosen Netzwerkes zur Positionsbestimmung
  - Zellulare Netzwerke
    - ▶ Grobe Positionsbestimmung
      - ▶ Bestimmung der Funkzelle, Cell of Origin (COO)
    - ▶ Genauere Eingrenzung
      - ▶ Verfahren zur Laufzeitmessung, Time of Arrival (TOA)
      - ▶ Winkelmessung, Angle of Arrival (AOA)

45

- MPS – Mobile Positioning System
  - Entwickelt von Ericsson
  - Arbeitet mit Standard-GSM-Systemen
    - ▶ Bei Installation nur minimale Änderungen an der Kommunikationsinfrastruktur
  - Keine Modifikation an den Endgeräten
  - Kann durch GPS aufgewertet werden
  - CGI - Cell Global Identity
    - ▶ Identifikation der Zelle des mobilen Teilnehmers
    - ▶ Genauigkeit einige hundert Meter (Stadt) bis zu 35 km (Land)
  - TA - Timing Advance
    - ▶ Signallaufzeit zwischen Endgerät und Basisstation
    - ▶ Bestimmung der Entfernung
    - ▶ Genauigkeit ca. 550 m
  - UL-TOA – Uplink Time of Arrival
    - ▶ Mobiler Teilnehmer in Reichweite von mindestens vier Basisstationen
      - ▶ Berechnung ähnelt Positionsbestimmung bei Satellitennavigation
    - ▶ Genauigkeit ca. 50 – 150 m
  - Optional GPS
    - ▶ Zeitbestimmung der Basisstationen bei UL-TOA
    - ▶ Ggf. im Endgerät des Empfängers

46

- Vorhandene WLAN-Infrastruktur mit Basisstationen
- Trainingsphase
  - Messungen an einigen Wegpunkten
    - ▶ Signalstärke zu mehreren Basisstationen
  - Eintragen der Messergebnisse in einer Tabelle
- Zur Positionsbestimmung wird der ähnlichste Wert der Tabelle gesucht
- Genauigkeit der Positionsbestimmung hängt von der Anzahl der in der Trainingsphase verwendeten Wegpunkte ab
- Nach Änderungen (z.B. Neupositionierung der Basisstationen) muss eine neue Trainingsphase durchgeführt werden



X/m	Y/m	SS <sub>1</sub> /dBm	SS <sub>2</sub> /dBm	SS <sub>3</sub> /dBm	SS <sub>4</sub> /dBm
...	...	...	...	...	...
1.0	2.0	12	3	12	4
2.5	4.0	2	14	25	7
4.0	1.5	7	8	16	25
...	...	...	...	...	...

47

- Idee
  - Verwendung von geographischen Adressen anstelle von Netzwerk-spezifischen Adressen (z.B. IP-Adresse)
- Beispiel
 

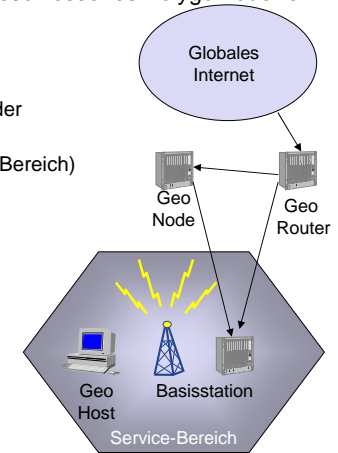
*Alle Rechner, die sich im Umkreis von 2 km um das Rechenzentrum der Uni Karlsruhe befinden.*
- Mögliche Anwendungen
  - Warnung vor bestimmten Naturereignissen an die betroffenen Personen
  - Suche eines Kunden nach einem bestimmten Geschäft im näheren Umkreis seiner Wohnung
  - Supermärkte können Sonderangebote an Kunden in einem bestimmten Umkreis versenden
  - Stauwarnungen können genau an die Autofahrer gesendet werden, die sich auf einen Stau zu bewegen
  - Elektronische Schaufenster können Informationen an alle Benutzer verschicken, die sich z.B. bis auf 3 m nähern
  - Ein Unternehmer zur Ermittlung von Heizkosten in Mietwohnungen könnte alle Messfühler in einem bestimmten Gebäude adressieren

48

- Probleme bei der Realisierung
  - Kodierung der Zielkoordinaten benötigt eine bestimmte Adressgröße
    - ▶ Genauigkeit von 160 m → 8 Byte
    - ▶ Genauigkeit von 1,8 m → 10 Byte
    - ▶ IPv4 Adressen haben nur 4 Byte
    - ▶ Lösung
      - ▶ IPv6-Adressen
  - Rechner, die geographisch adressierbar sein sollen, müssen ihre Position kennen
    - ▶ Lösung
      - ▶ Satellitennavigation außerhalb von Gebäuden
      - ▶ Andere Verfahren (z.B. WIPS) innerhalb von Gebäuden
  - Aktuell eingesetzte Netzwerke benutzen eine Adressierung, die die Topologie des Netzwerkes widerspiegelt, nicht jedoch die geographische Lage
    - ▶ Aktueller Netzwerktopologie muss eine logische Topologie überlagert werden, die Positionsinformationen berücksichtigt
    - ▶ Lösung
      - ▶ Geo-Routing-Ansatz
      - ▶ Multicast-Ansatz
      - ▶ Geographische Adressierung mit Hilfe von Domain Name Server

49

- Geographische Adressierung der Eroberfläche in zwei Dimensionen
  - Zieladresse eines Netzwerkpakets ist ein geschlossenes Polygon oder ein Kreis mit Mittelpunkt und Radius
- Komponenten
  - GeoRouter
    - ▶ Rechner, die Pakete in Netzwerk anhand der geographischen Adressen weiterleiten
    - ▶ Verwaltet eine bestimmte Fläche (Service-Bereich)
    - ▶ Hierarchisch angeordnet
  - GeoNodes
    - ▶ Zwischenspeicherung von Paketen
    - ▶ Periodische Versuche Pakete im Service-Bereich zuzustellen
    - ▶ Pakete besitzen Lebenszeit
  - GeoHosts
    - ▶ Mobile oder stationäre Rechner, die geographisch adressierbar sind



50

- Das Routing-Verfahren
  - Hierarchisches Verfahren
    - ▶ Z.B. Einteilung in die Ebenen Stadt, Region und Land
    - ▶ Skalierbarkeit
    - ▶ Jeder Router verbindet hierzu die Flächen der untergeordneten Router zu einem größeren Service-Bereich
- Ablauf
  - GeoHost versendet Paket
  - GeoRouter schneidet Zielfläche mit seinem Service-Bereich
    - ▶ Schnitt leer
      - ▶ Weiterleiten an nächsthöheren Router
    - ▶ Schnitt nicht leer
      - ▶ Schnitt mit allen Service-Bereichen der tiefer liegenden Routern
        - ▶ Weiterleiten an alle Router mit nicht leerem Schnitt
      - ▶ Zielbereich nicht vollständig in Service-Bereich
        - ▶ Weiterleiten an nächsthöheren Router
    - ▶ Weiterreichen an mehrere Router möglich
  - Basisstation leitet Paket an GeoHosts weiter
  - GeoHost überprüfen, ob sie im Zielbereich liegen, da die Reichweite der Basisstation möglicherweise zu groß ist

51

- IP-Multicast um Ziele geographisch anzusprechen
- Begriffe
  - Atome
    - ▶ Kleinste Flächen die adressierbar sind
  - Partitionen
    - ▶ größere geographische Bereiche wie z.B. Stadtteile, Städte oder Länder
    - ▶ Partitionen bestehen aus Partitionen oder Atomen
- Grundidee
  - Jedes Atom und jede Partition ist durch eine eigene Multicast-Gruppe zu adressieren
  - Atome und Partitionen sind komplett in der nächst größeren Einheit eingebettet
    - ▶ Partition oder Atom kann nicht an einer Partitionsgränze geschnitten werden
  - Eine Basisstation wird Mitglied aller Multicast-Gruppen, die zu Atomen und Partitionen gehören, die in der Reichweite liegen, bzw. die die Reichweite schneiden

52



- Vorgehen auf der Senderseite
  - Sender ermittelt Zielpolygon
  - Ermitteln der kleinsten Partition, in der das Zielpolygon vollständig eingebettet ist
  - Paket wird an die der Partition zugeordneten Multicast-Gruppe gesendet
    - ▶ Jede Basisstation erhält das Paket
    - ▶ Paket enthält die genaue Beschreibung des Zielpolygons
      - ▶ Basisstationen, die nicht betroffen sind, verwerfen das Paket
      - ▶ Empfänger überprüfen, ob sie sich in der Zielfläche befinden
- Skalierbarkeit des Ansatzes
  - Adressgröße
    - ▶ Bei IPv4 sehr große Atome
      - ▶ 10 Bit fester Anteil der Multicast-Adresse
      - ▶ 6 Bit: Adresse des Landes
      - ▶ 6 Bit: Adresse der Region im Land
      - ▶ 10 Bit: Adresse des Atoms in der Region
    - ▶ Bei IPv6 können sehr kleine Atome definiert werden
  - Geringe Akzeptanz von IP-Multicast

53

- Domain Name Server erlauben im Internet eine Zuordnung von symbolischen Namen zu den zugehörigen IP-Adressen
- Zusätzliche Informationen zu einem Rechner können hinterlegt werden
  - Geographische Position
- Verwendung von geographischen Domänen
- Probleme
  - Bisher pro DNS-Anfrage genau eine IP-Adresse
    - ▶ Liste von IP-Adressen nötig
    - ▶ DNS müsste abgeändert werden
      - ▶ Auswirkung auf alle bisherigen Internet-Anwendungen
  - Zuordnung von geographischen Domänen zu den entsprechenden Rechneradressen unklar

54

- 8.1 Erklären Sie die Funktionsweise von GPS!
- 8.2 Durch welche Faktoren wird die Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS beeinflusst? Wie kann die Genauigkeit erhöht werden?
- 8.3 Warum kann GPS nicht in Gebäuden verwendet werden? Welche Möglichkeiten gibt es zur Positionsbestimmung in Gebäuden?
- 8.4 Welche Probleme treten bei der geographischen Adressierung auf?

55

- [VI.1] J. Roth, "Mobile Computing", dpunkt-Verlag, 2002
- [VI.2] <http://www.kowoma.de/gps/>
- [VI.3] [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)
- [VI.4] [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm)
- [VI.5] <http://www.esa.int/esa-mm/mmg.pl?mission=Galileo&type=V>
- [VI.6] <http://rfid-informationen.de/info/rfid-technik.html>

56