

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

- 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

- 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

• 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

• 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)

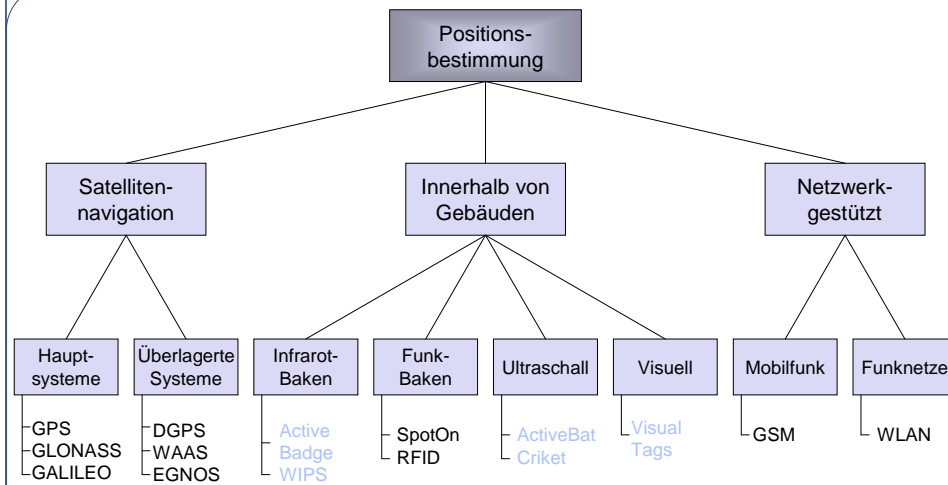
- Elektromagnetische Signale bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit, Laufzeit kann mittlerweile präzise bestimmt werden
- Aus Zeitunterschied zwischen Aussenden und Empfangen eines Signals kann die Entfernung zwischen Sender und Empfänger bestimmt werden
- In GSM-Netzwerken wird statt dem Begriff TDOA 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



Quelle: J. Roth

7

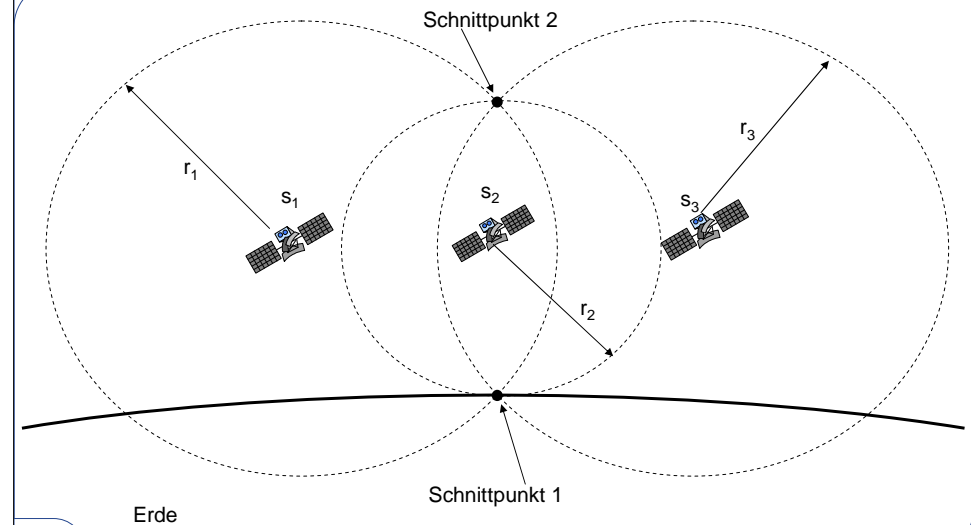
- Die Idee, Satelliten zur Positionsbestimmung einzusetzen, geht bis in die 60er Jahre zurück
- Vorteile
 - Positionsbestimmung kann überall auf der Erde erfolgen
 - Umweltbedingungen wie z.B. das Wetter haben nur geringen Einfluss auf die Positionsbestimmung
 - Hohe Genauigkeit
- Nachteile
 - Erhebliche 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

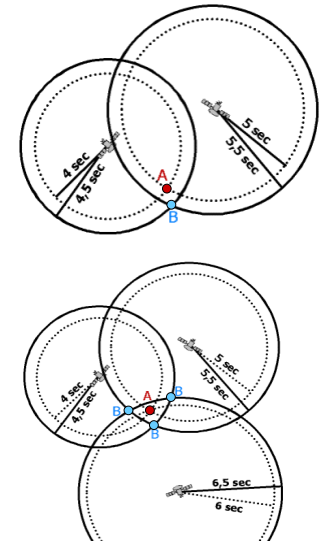
Prinzip der Positionsbestimmung mit Satelliten



- Verfahren
 - Jeder Satellit sendet ein Signal mit Zeitpunkt des Aussendens
 - Empfänger vergleicht Zeitpunkt mit interner Uhr.
 - Bestimmung der Entfernung aus **Zeitunterschied** Δt 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 μs 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

- 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

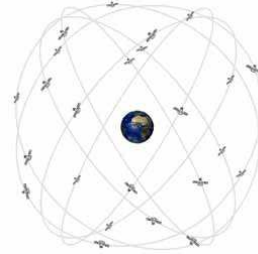
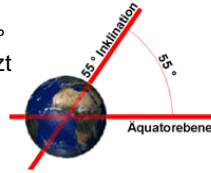
- Globale Abdeckung
- 24 Satelliten auf 6 Bahnen mit jeweils 4 Satelliten pro Bahn
- Abstand der Satelliten zur Erde beträgt ca. 20200 km
 - ▶ 12 Stunden Umlaufzeit
- Von jedem Punkt der Erde sind min. 5 und max. 11 Satelliten sichtbar
- Lebensdauer eines Satelliten beträgt 7,5 Jahre
 - ▶ Reservesatelliten

14

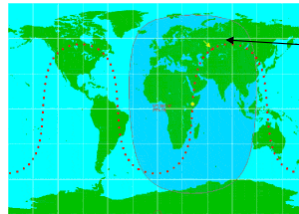
- Satelliten umkreisen Erde mit 3,3 km/s; Umlaufzeit: 12 Stunden

- GPS-Satellitenbahnen

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



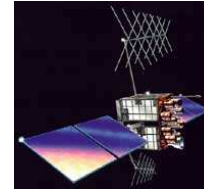
- „Groundtrack“ eines Satelliten



00:00 Uhr

15

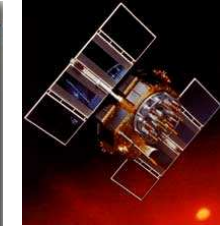
- Block I
 - zwischen 1978 und 1985 11 Satelliten gestartet – heute keiner mehr im Betrieb
- Block II
 - bis September 1996 9 gestartet
 - ▶ 5,1 m Spannweite, Betriebsdauer von 7,5 Jahren



Block IIA



Block IIF



Block IIR



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

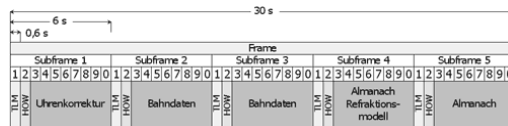
16

- 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

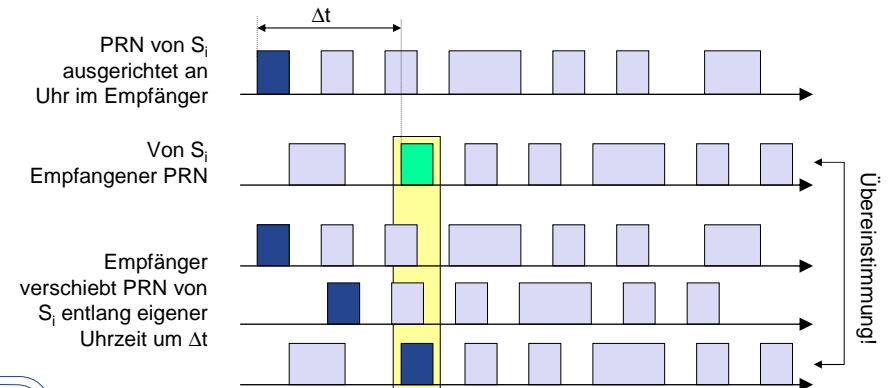
- Jeder Satellit sendet stetig mit ca. 20 W ein Signal auf 2 Frequenzen aus
 - L1: 1575,42 MHz für PPS und SPS
 - L2: 1227,6 MHz ausschließlich für PPS
- Alle Satelliten senden auf denselben Frequenzen
 - Jeder Satellit sendet einen eigenen, eindeutigen Code
 - ▶ **Pseudo Random Noise (PRN)**
 - Einsatz 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
 - PRN wird innerhalb von einer Millisekunde übertragen
 - ▶ 1023000 Chips/Sekunde
 - Wird zur Synchronisation zwischen Satellit und Empfänger benötigt

- 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



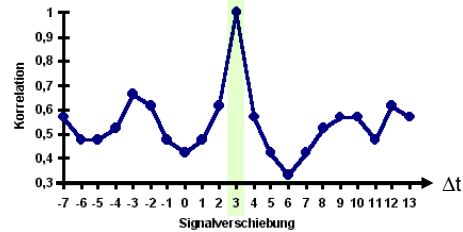
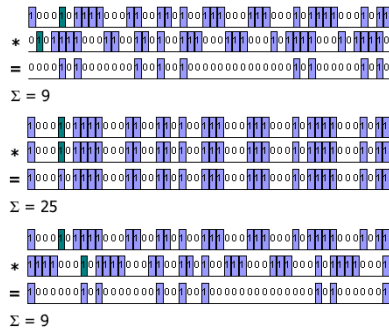
19

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



- 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

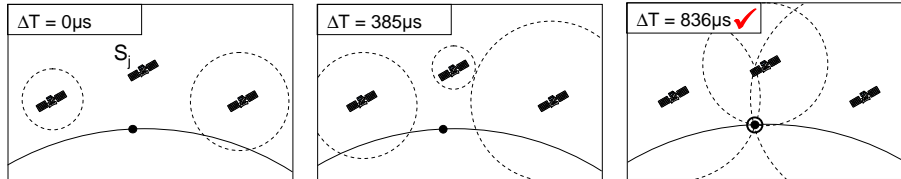
- Empfänger kennt daraufhin
 - Die genaue Position P_i des Satelliten S_i (aus 2. und 3. Subframe ermittelt)
 - Die genaue Uhrzeit $T_i = \text{HOW}_i + \text{Korrektur}_i$, zu der Satellit S_i an Position P_i war
 - Die Laufzeitdifferenz der einzelnen Satelliten *zueinander* ($Q_i - Q_j$)
- Bei genauer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

- Problem: Q_i aus Uhr des Empfängers zu ungenau
 - Korrektur durch zusätzlichen Satelliten möglich
 - Pseudo-Ranges
 - Beispielverfahren:
 1. Bestimme j so, dass $(Q_j - T_j) = \min_i (Q_i - T_i)$
 2. Bestimme ΔT so, dass für alle i Kugeln mit
 - ▶ Mittelpunkt P_i
 - ▶ Ist in Abhängigkeit von $(Q_i - T_i)$ und ΔT 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

3. Es gilt dann: $Z_j = T_j + \Delta T$

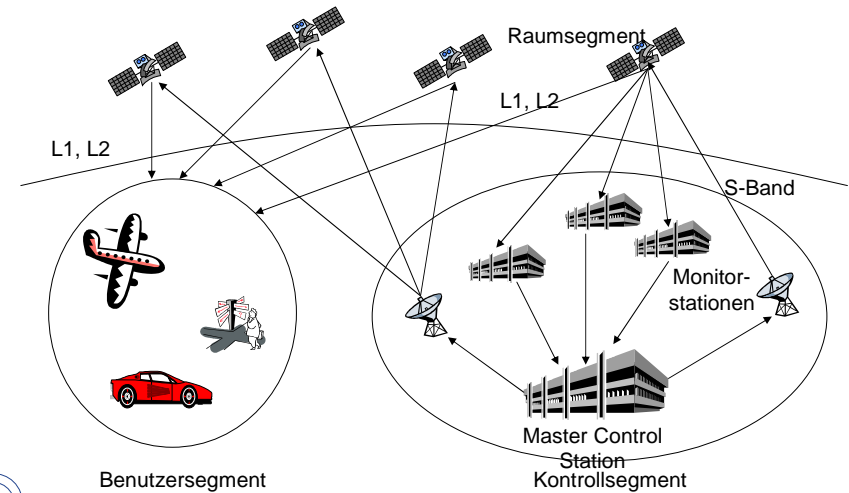
- ▶ Z_j = korrigiertes Q_j
- ▶ $Z_j - Q_j$ = Fehler der Uhr im Empfänger

Eigene Position (durch Kugelschnittpunkt) und genaue Uhrzeit (durch ΔT) sind bestimmt!



Positionsbestimmung sehr komplex! [VI.3]

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



- 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

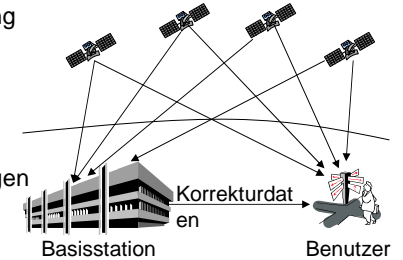
- Raumsegment
 - Besteht aus den Satelliten
- Kontrollsegment
 - Verwaltung der Satelliten
 - ▶ Korrektur der Satelliten-internen Daten (Systemzeit, Position, Bahndaten)
 - Monitorstationen
 - ▶ Ständiges passives Abhören der Satellitensignale
 - ▶ Präzise, bekannte, feste Position
 - ▶ Atomuhren, die 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)

- Master-Controll Station
- 4 weitere Monitorstationen



29

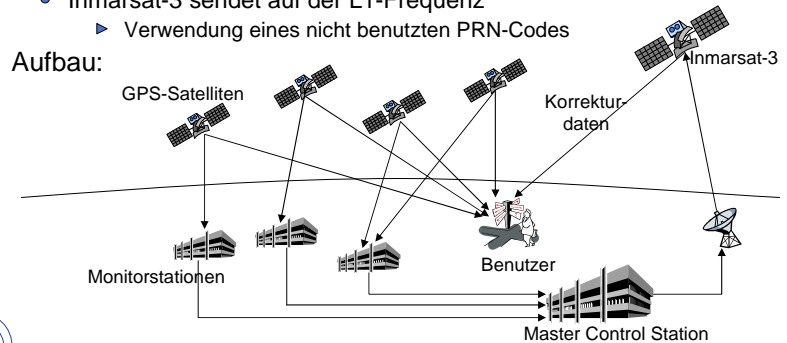
- Häufig kann die gewünschte Genauigkeit der Positionsbestimmung nicht mit GPS erreicht werden
- **Differential GPS (DGPS)** kann die Genauigkeit entscheidend verbessern
- Prinzip:
 - Basisstationen/Korrektursender mit fester, präzise, bekannter Position führt eine Positionsbestimmung mit GPS durch
 - 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!

- 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:



- 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



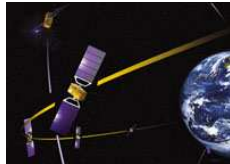
33

- Grundsätzlich:
 - Europas **eigene** Entwicklung für satelliten-gestützte Positionsbestimmung (Gemeinschafts-initiative von Europäischer Kommission und ESA)
 - Unter **ziviler** 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

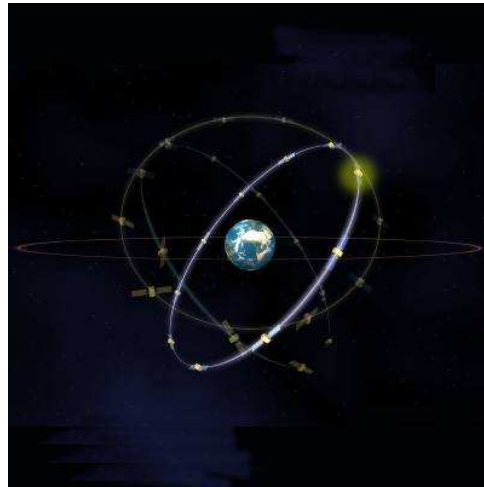


- Satelliten senden auf 3 Frequenzbändern
 - 1164 – 1215 MHz
 - ▶ Wird für offenen, kommerziellen und SOL-Dienst verwendet
 - 1250 – 1300 MHz
 - ▶ Wird für kommerziellen und staatlichen Dienst verwendet (beide verschlüsselt)
 - 1559 – 1593 MHz
 - ▶ Wird für offenen, kommerziellen, staatlichen und SOL-Dienst 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“



- 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%)

- 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-Segmentes
- 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

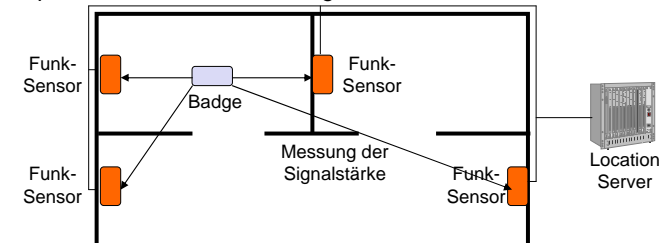
- Unabhängigkeit von militärisch motivierten Systemen (GPS, GLONASS)
- Genaue Positionsbestimmung auch in bislang schwierigen Gebieten
 - Bessere Nutzung in Häuserschluchten aufgrund höherer Anzahl verfügbarer Satelliten
 - Höhere Inklination im Orbit erlaubt Nutzung auch in höheren Breitengraden
 - ▶ 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

- 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

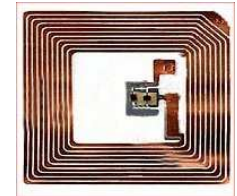


42



- **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

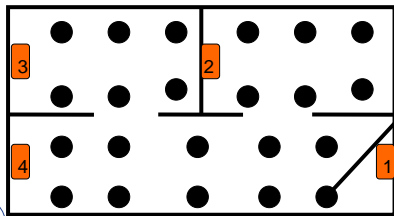
- Kein einheitlicher RFID-Standard, Unterschiede von Land zu Land
 - **30 bis 500 kHz (LF)**
Kostengünstige Systeme z.B. für Zugangskontrollen und Wegfahrsperrern. Lesegeschwindigkeit relativ gering.
 - **10 bis 15 MHz (HF)**
Lösungen zur Kennzeichnung im Einzelhandel (Smart Labels, meist bei 13,56 MHz)
 - **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
-  [VI.6]
 - **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)



- 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)

- 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

- 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 ₁ /dBm	SS ₂ /dBm	SS ₃ /dBm	SS ₄ /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

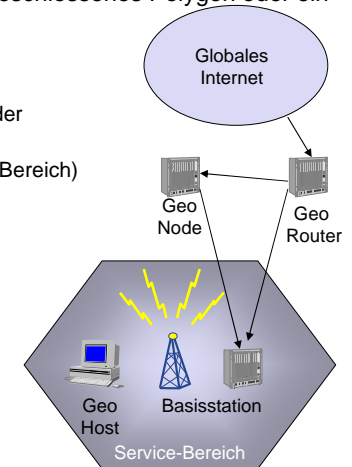
48



- 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
 - ▶ Verwaltert 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 Partitions-grenze 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

- 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

- 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?

- [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
- [VI.4] 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>