



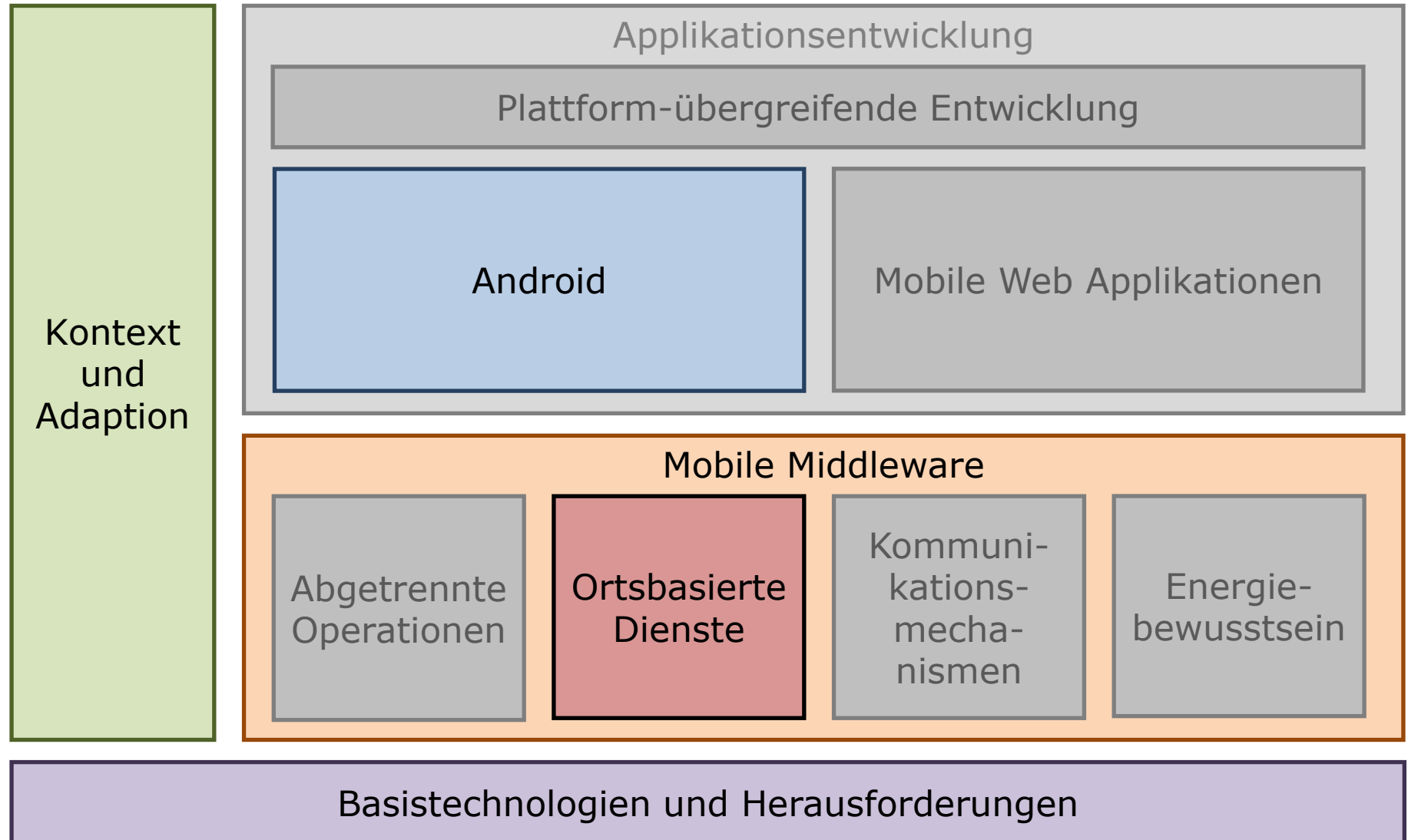
# Web- und App-Programmierung

# Ortsbasierte Dienste

mit Skriptmaterial von Dr.-Ing. T. Springer

**Prof. Dr.-Ing. Tenshi Hara**  
fragen@lern.es

# AUFBAU DER LEHRVERANSTALTUNG







# WAS SIND ORTSBASIERTE DIENSTE UND WOFÜR SIND SIE DA?

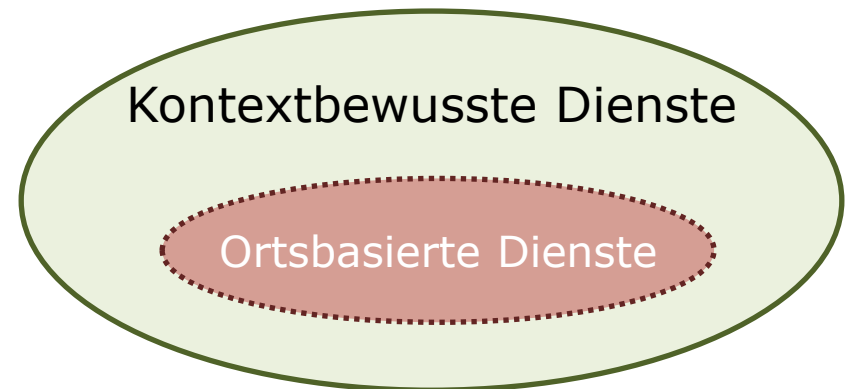
Der Begriff „ortsbasierte Dienste“ [...] beschreibt Anwendungen, die geografische Lokation (d. h. räumliche Koordinaten) mit dem generellen Umfang von Diensten kombinieren.

Beispiele solcher Dienste sind Notfalldienste, Autonavigation, Fremdenführungen oder sogenannte „Yellow Maps“-Informationen.

[J.H. Schiller und A. Voisard, *Location-based services*, Elsevier, 2004]

Ortsbasierte Dienste ermöglichen mobilen Nutzern den Empfang personalisierter und Lifestyle-orientierter Dienste in Abhängigkeit ihrer geografischen Lokation.

[Open Mobile Alliance]



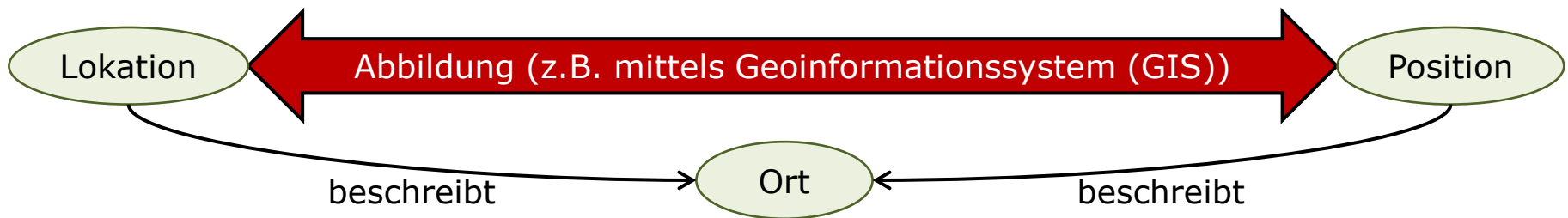
# STRUKTUR DES KAPITELS

- Grundlagen
  - Darstellung des aktuellen Ortes
  - Ermitteln der aktuellen Position
- Positionierungs- und Verfolgungssysteme
  - Außenraumpositionierung
  - Innenraumpositionierung
- Darstellung semantischer Lokation
  - geometrische und semantische Lokationsmodelle
  - Abfragetypen

# DARSTELLUNG DES AKTUELLEN ORTES

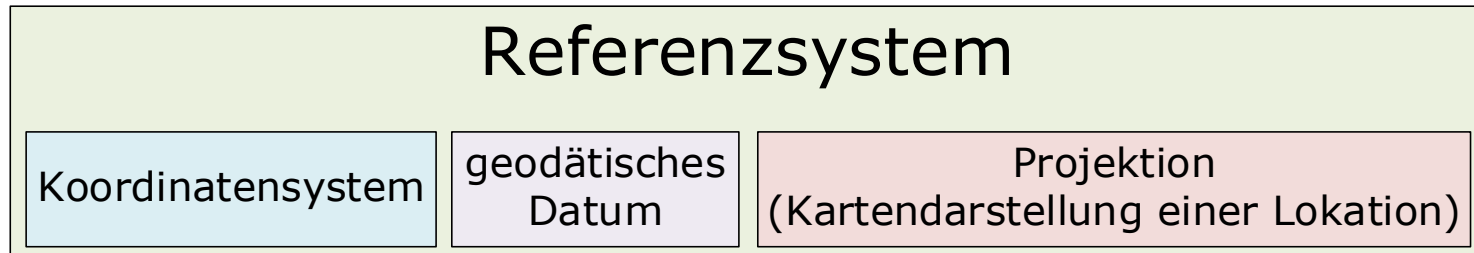
Ort, Lokation und Position werden oft synonym verwendet

- **Ort** beschreibt einen geografischen Platz in der realen Welt
- **Lokation** (oft auch logische/semantische Lokation)
  - semantische Beschreibung eines räumlichen Gebiets (z. B. „zu Hause“, „Arbeit“, „Pirnaischer Platz“)
  - eminent wichtig zur Organisierung unseres täglichen Lebens „in der echten Welt“
- **Position** (oft auch räumliche/geografische Lokation)
  - basiert auf arbiträrem Koordinatensystem (zwei-/dreidimensionale Koordinate im euklidischen Raum, Kugelkoordinate, ...)
  - unverzichtbar für Anwendungen mit hohen Präzisionsanforderungen



# RÄUMLICHE POSITION

- räumliche Positionen basieren auf Referenzsystemen



- Koordinatensysteme
    - als Ortsreferenz gegenüber definierter Fixpunkte verwendet (z. B. als Zahlenvektor; allgemein als Koordinaten)
    - Koordinaten sind relativ zum Koordinatenursprung
- ⇒ Referenzellipsoid für Erdorte  
(in Kombination mit einem Geoid (EGM96) im WGS84)

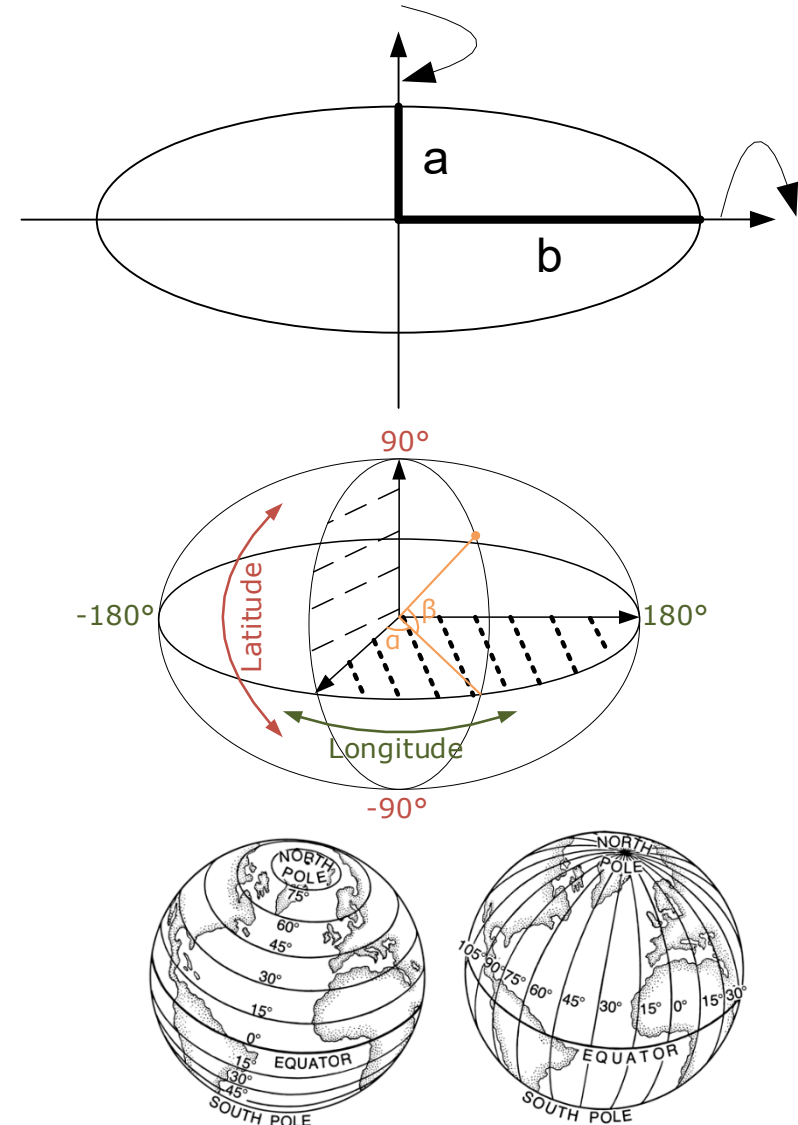
# ELLIPSOID-BASIERTE ERDREFERENZ

- Erdmodell basierend auf Rotationsellipsoid und zwei Halbachsen
  - a – Polar
  - b – Äquator
- zwei Referenzebenen
  - Vertikalebene aufgespannt durch a
  - Horizontalebene aufgespannt durch b
- Position definiert über Winkel zu Referenzebenen
  - Polarwinkel  $\alpha$  – Längengrad (Lon)
  - Äquatorialwinkel  $\beta$  – Breitengrad (Lat)
  - Angabe in Grad, Minuten, Sekunden; auf Erdoberfläche entsprechen
    - 1" Breite etwa 31m
    - 1" Länge zwischen 0m bis etwa 31 m

Beispiel: Staatliche Studienakademie Dresden

Grad: 51.052815N, 13.761523E

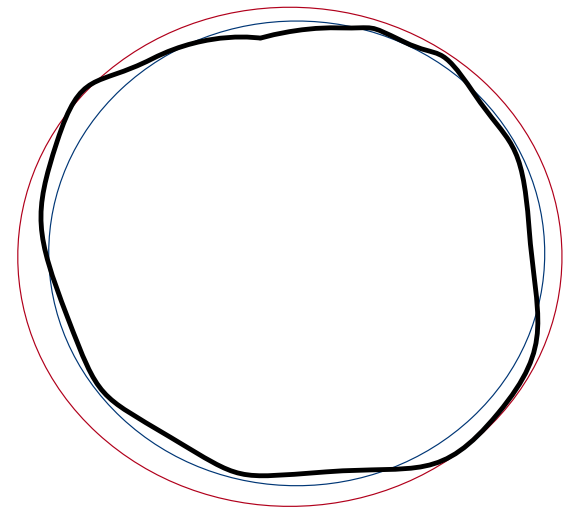
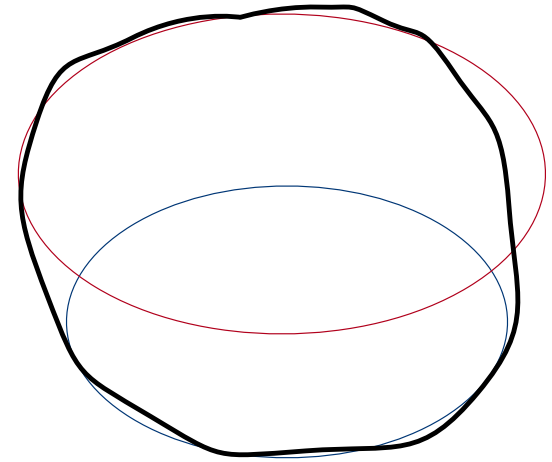
Grad, Minuten, Sekunden: 51°3'10.1"N 13°45'41.5"E



Pearson Scott Foresman: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Latitude\\_PSF.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Latitude_PSF.png), [File:Longitude\\_\(PSF\).png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Longitude_(PSF).png)

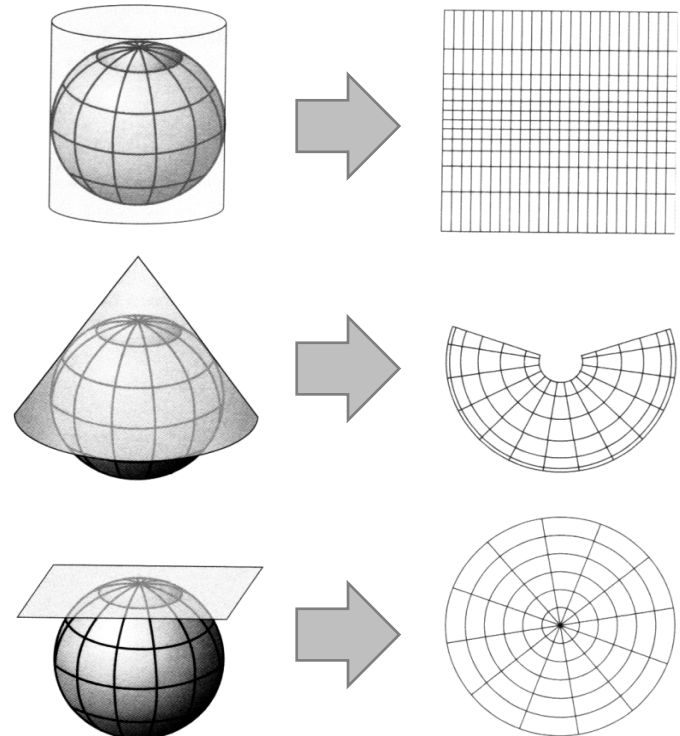
# GEODÄTISCHES BEZUGSSYSTEM

- Horizontalbezug
  - nähert Erdform als Referenzellipsoid an
  - regional unterschiedliche Ellipsoiden
  - i. d. R. als trigonometrische Oberfläche mit Bezugspunkt
  - in Deutschland
    - historisch als Deutsches Hauptdreiecksnetz (DHDN) mit Bezugspunkt in Berlin-Tempelhof (TP Rauenberg; basierend auf Bessel-Ellipsoid)
    - aktuell als Europäisches Terrestrisches Referenzsystem (ETRS89)
  - **World Geodetic System 1984 (WGS 84)**
    - globales geodätisches Bezugssystem
    - GPS basiert darauf
    - Abweichung zum ETRS89: weniger als 1m
- Vertikalbezug
  - bildet mittlere Meereshöhe ( $\neq$  NHN) als Geoid ab
  - zur Bestimmung der Höhe im Referenzsystem verwendet



# PROJEKTION

- zweidimensionale Abbildung dreidimensionaler Koordinaten
  - unvermeidbare Verzerrungen (Längen, Winkel, Flächen)
- Projektionstypen
  - zylindrisch
    - oft bei Seekarten
    - winkeltreu, aber zunehmende Verzerrung mit Abstand zur Schnittlinie (i. d. R. Äquator)
  - konisch
    - oft bei Luftfahrtkarten
    - längentreu in Eckpunkten
  - planar
    - oft bei ortszentrischen Karten
    - winkeltreu zur Hauptachse und längentreu zum Mittelpunkt



[A. Küpper, Location-based services, John Wiley, 2005]

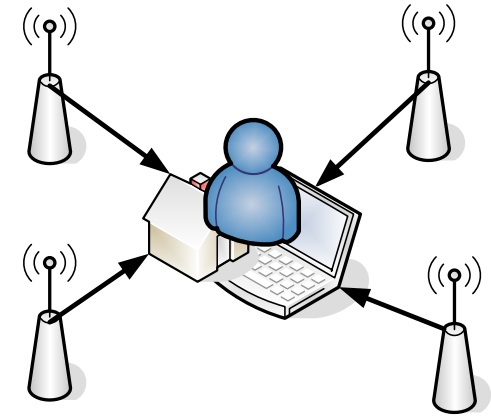


# ERMITTELN DER AKTUELLEN POSITION

## • Positionierung

### (Client-seitige Positionierung)

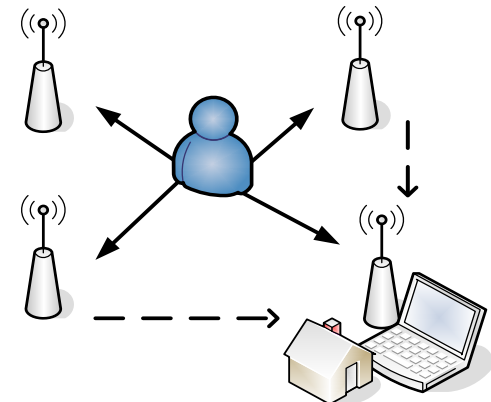
- Gerät bestimmt/berechnet Position auf Basis von Signalen (**Location Beacon**) aktiv selbst
- Hardware und Rechenleistung notwendig auf dem Gerät
- Lokationsinformation unter Kontrolle des Geräts



## • Verfolgung (**Tracking**)

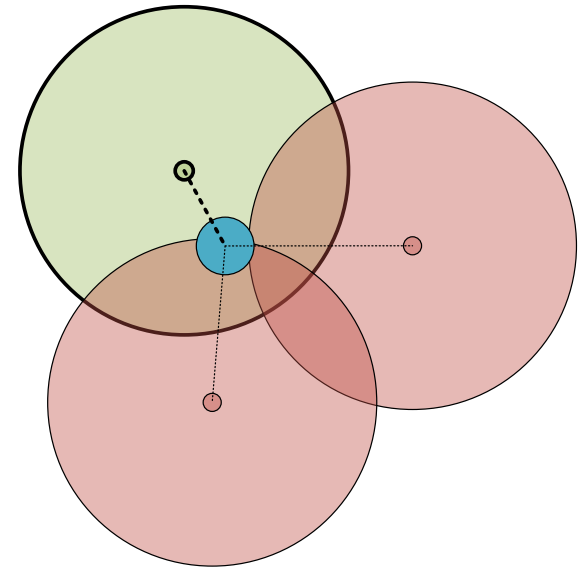
### (Infrastruktur-basierte Positionierung)

- Gerät sendet nur ein Signal (**Client Beacon**) aus
- Position wird durch Infrastruktur bestimmt und dem Gerät mitgeteilt
- erlaubt Positionsbestimmung ohne Ressourcen auf dem Gerät
- Lokationsinformation außer Kontrolle des Geräts



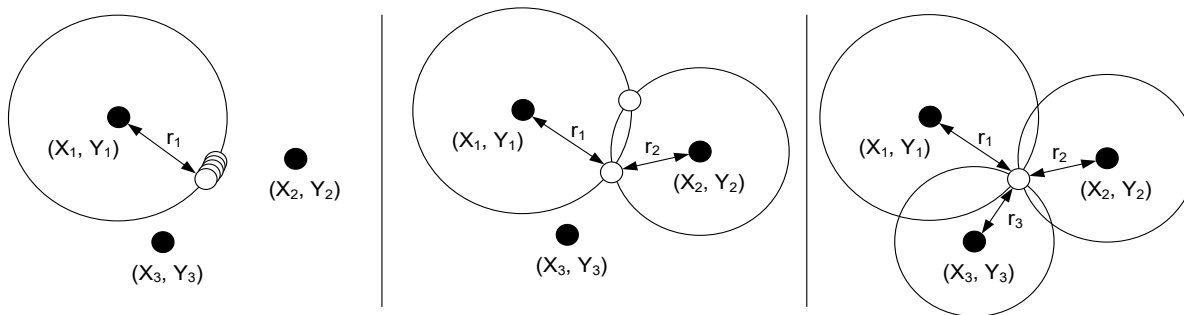
# POSITIONIERUNGSANSÄTZE – CELL ID

- simpelste Form der Positionierung
- basiert auf Signalen und Identifikation von Infrastrukturkomponenten
  - MAC-Adresse von WLAN-AP
  - Zell-ID eines GSM BTS (**Cell ID**)
  - RFID-Beacon
- Position wird anhand des stärksten Infrastrukturkomponenten-Signals bestimmt
- Genauigkeit hängt stark von Zellgröße und/oder Anzahl von Location Beacons ab



# POSITIONIERUNGSANSÄTZE – LATERATION, TRI-/MULTILATERATION

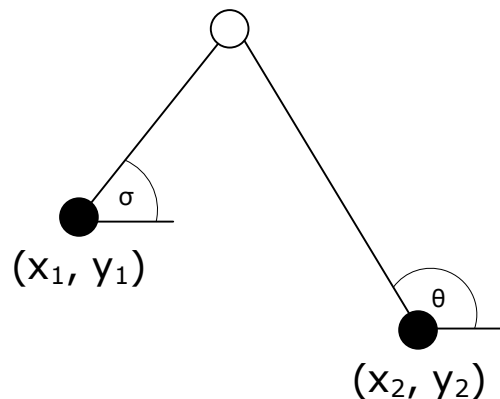
- basiert auf Abständen zwischen Gerät und Referenzpunkten
- berechnet auf Basis der Ankunftszeit (**Time of Arrival (ToA)**) oder anhand der Signalstärke
- Positionen der Referenzpunkte müssen bekannt sein
- Positionierung benötigt drei Referenzpunkte im 2D-Raum (Trilateration), vier im 3D-Raum (Multilateration)
- Multilateration mit Redundanz um Signalfehler etc. auszugleichen



[A. Küpper, *Location-based services*, John Wiley, 2005]

# POSITIONIERUNGSANSÄTZE – ANGULATION, TRI-/MULTIANGULATION

- basiert auf Winkel zwischen Direktverbindungen (Herkunftsrichtung der Beacons)
  - berechnet über Eingangswinkel (**Angle of Arrival (AoA)**)
  - Winkel zum Beacon wird mittels spezieller Antennen bestimmt
- Positionen der Referenzpunkte müssen bekannt sein
- Positionierung zwei Winkel im 2D-Raum, drei Winkel im 3D-Raum (Triangulation)
- Multiangulation mit Redundanz um Signalfehler etc. auszugleichen



# POSITIONIERUNGS- UND VERFOLGUNGSSYSTEME

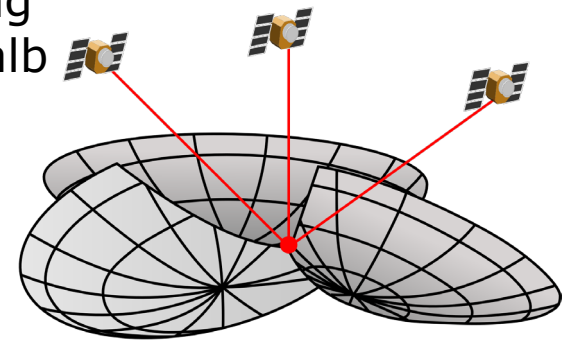
Außen- und Innenraumpositionierungssysteme werden klassifiziert in

- eigenständige Infrastruktur (**Stand-alone**)
  - dedizierte Infrastruktur für Positionierung/Verfolgung
  - Beispiele: Satellitensysteme, Infrarotsysteme, Apple iBeacon
- integrierte Infrastruktur (**Integrated**)
  - existierende (Kommunikations)Infrastruktur wird für Positionierung/Verfolgung (zweckentfremdend) verwendet
  - Beispiele: Zellfunksysteme, WLAN-Systeme

# Satellitensysteme

# AUßENRAUMSYSTEME: SATELLITENSYSTEME

- Vorteile
  - geringe Wirkung Umwelteinflüssen (z. B. Wetter)
  - hohe Genauigkeit (GPS/Glonass: einige Meter, Galileo/Baidou: 1cm)
  - global verfügbar (theoretisch)
- Nachteile
  - hohe Kosten durch viele Satelliten und Raketenstarts, insbesondere für echte globale Verfügbarkeit
  - hinreichende Signalanzahl notwendig zur korrekten Berechnung
    - 3 Satelliten für die eigentliche Positionierung (zweiter Schnittpunkt ca. 40.400km oberhalb der Erdoberfläche; wird ignoriert)
    - 1 Satellit zur Zeitsynchronisierung
  - i. d. R. nicht im Innenraum empfangbar



[Wikimedia Foundation]

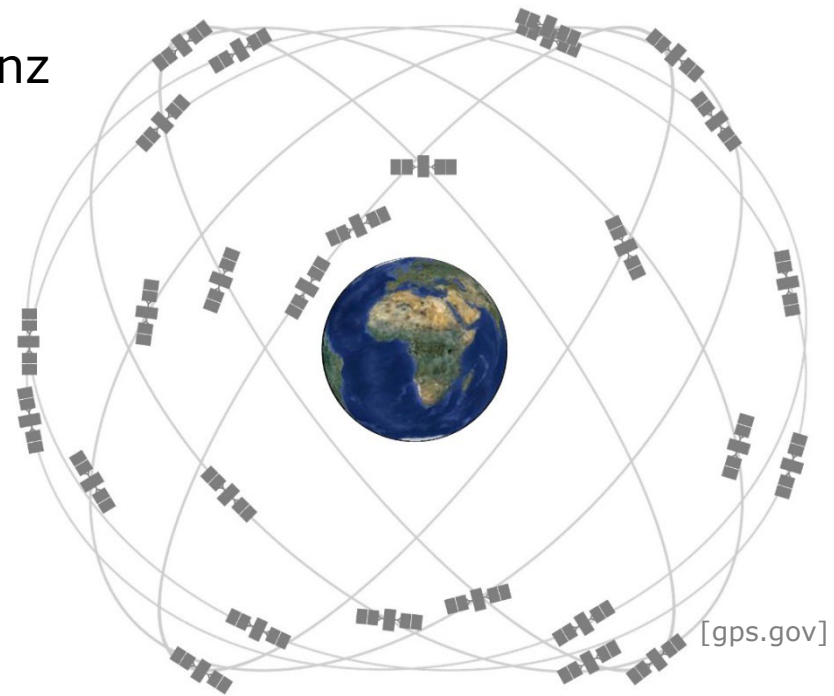
# GLOBAL POSITIONING SYSTEM (NAVSTAR GPS; GPS)

- Weltraumkomponente

- min. 24 Satelliten auf 6 Orbitalen
- Februar 2024: 32 Satelliten; 38 im Orbit
- zusätzliche Satelliten zur Redundanz
- mittlerer Erdorbit (20.200km)
- Umlaufzeit von 11h:58min
- allenorts (außen) min. 5 und max. 11 Satelliten sichtbar

- Kontrollkomponente

- 1 Master Control Station (MCS)
- 1 alternative MCS
- 4 dedizierte Bodenantennen
- 6 dedizierte Beobachtungsstationen

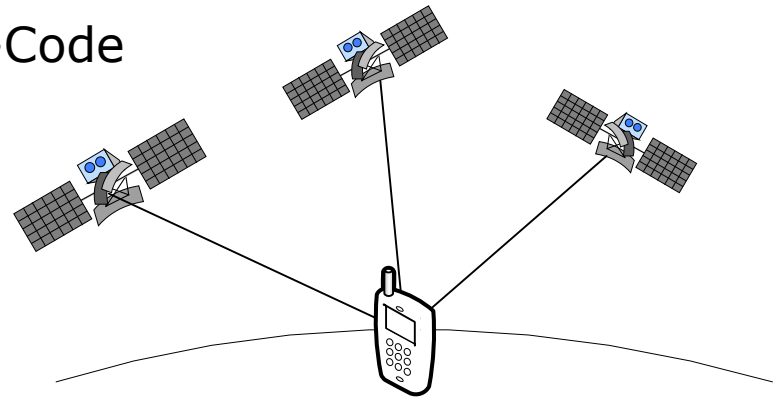




# GPS – SATELLITENSIGNALE (1/2)

jeder Satellit sendet kontinuierlich mehrere Signale

- L1: 1575,42 MHz – C/A-Kode und P(Y)-Code
- L2: 1227,6 MHz – nur P(Y)-Kode  
oder (als L2C) nur C-Kode  
oder nur M-Kode
- L5: 1176,45 MHz – nur C-Kode
- Sichtverbindung zwischen Satellit und Empfänger notwendig



## GPS – SATELLITENSIGNALE (2/2)

- C/A-Kode (Coarse/Acquisition): grobes Bezugssignal  
→ zur freien zivilen Nutzung (jederzeit durch USA abschaltbar)
  - Position, Orbit, Sendezeit, Korrekturinformationen und PRN
  - jeder Satellit hat eindeutigen Identifikator (Pseudo Random Noise (PRN))
- C-Kode: wie C/A, aber mit optimierter Datenstruktur
- P(Y)-Kode (Precision/Encrypted): verschlüsseltes Präzisionssignal  
→ nur für militärische Nutzung (in vollständiger US-Kontrolle)
- M-Kode (Military Enhanced Jam Resistance): gehärtetes Militärsignal  
→ Robustheit gegen Störsender

# GPS-POSITION: LATERATION

- Nutzerkomponente: GPS-Empfänger für zivilen und militärischen Einsatz
- Position mittels Lateration berechnet
  - Empfänger berechnet anhand Differenz zwischen aktueller Zeit und Sendezeit die Übertragungszeit (**Time of Flight (ToF)**)
  - Entfernung zum Satelliten als Produkt der Multiplikation mit der Lichtgeschwindigkeit
  - anschließend Berechnung der dreidimensionalen Position und Zeitdrift



# GPS-POSITION: GENAUIGKEIT

- Genauigkeit (Standard Positioning Service) mit 95%iger Wahrscheinlichkeit im Bereich  $\leq 7,8\text{m}$  (Average User Range Error (URE))
- Gründe für Ungenauigkeiten
  - falsche/unvollständige Zeitsynchronisierung
  - atmosphärische Effekte
  - Mehrwegeausbreitung
- NDS (Nuclear Detection System)
  - jeder Satellit hat optischen Sensor
  - Atombombenexplosionen, EMPs und Starts von Interkontinentalraketen auf  $\sim 100\text{m}$  lokalisierbar



# GPS-POSITION: BERECHNUNG

Lösen des 4/[4,11]-LGS mit den Informationen der Satelliten:

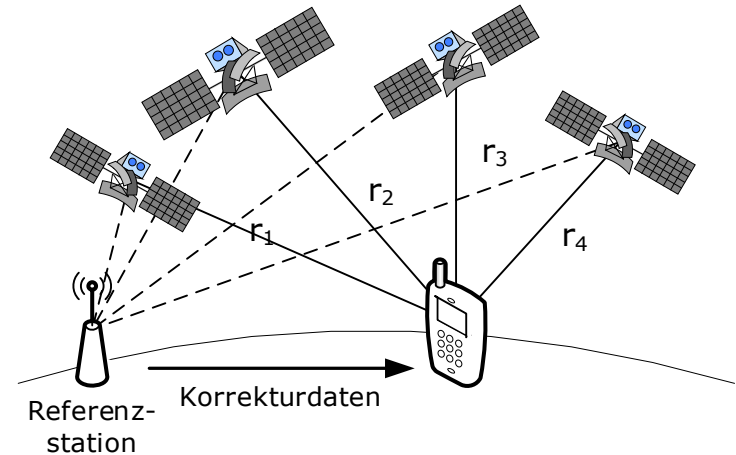
$$\forall i \in [4,11]: d_i = c \cdot \underbrace{(t_{r,i} - t_{s,i} + t_c)}_{\text{ToF}} = \sqrt{(x_i - x_r)^2 + (y_i - y_r)^2 + (z_i - z_r)^2}$$

mit

- bekannte/empfangene Werte
  - $c$  Lichtgeschwindigkeit ( $299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )
  - $t_{r,i}$  Empfangszeit des Signals von Satellit  $i$
  - $t_{s,i}$  Sendezeit des Signals von Satellit  $i$
  - $x_i, y_i, z_i$  Koordinaten von Satellit  $i$
- Unbekannte
  - $t_c$  Zeitkorrektur des Empfängers
  - $x_r, y_r, z_r$  Koordinaten des Empfängers
  - $d_i$  Abstand Empfänger↔Satellit  $i$  (abgeleiteter Wert)

# DIFFERENTIAL GPS (dGPS)

- Kernidee: GPS-Genauigkeit mit Korrekturdaten verbessern
- erhöht Genauigkeit auf 1m bis 3m
- Grundannahme: Fehler korrelieren mit lokaler Region
- Prinzip
  - zusätzliche Referenzstationen auf Erdoberfläche
  - Positionen der Referenzstationen sind wohl bekannt
  - Referenzstationen beobachten alle sichtbaren Satelliten
  - Ungenauigkeiten wegen variabler Satellitenorbits oder atmosphärischer Einflüsse werden mit der bekannten Position der Referenzstation berechnet
  - auf Basis der Ungenauigkeitsdaten werden Korrekturen berechnet
  - Endgeräte können Korrekturen von den Referenzstationen beziehen



# GPS-KOORDINATEN IN ANDROID

```
<service
    android:name="MyNavigationService,,
    android:foregroundServiceType="location,,
    ... >
    <!-- usw -->
</service>

<manifest ... >
    <!-- immer notwendig -->
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION" />

    <!-- für präzise Lokation -->
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION" />

    <!-- für Lokationsbezug im Hintergrund -->
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_BACKGROUND_LOCATION"
/>
</manifest>
```

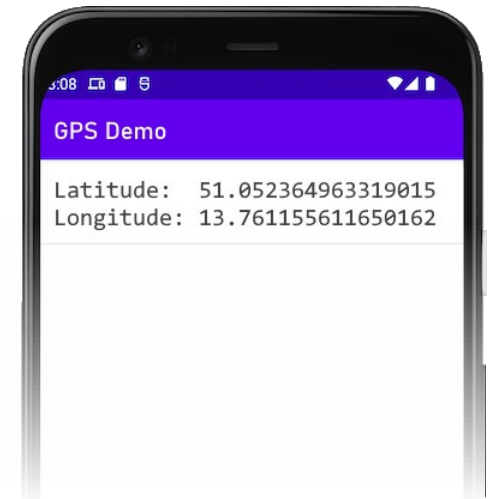
# GPS-KOORDINATEN IN ANDROID

```

public class GpsActivity extends Activity {
    private FusedLocationProviderClient fusedLocationClient;
    // ...

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        // ...
        fusedLocationClient = LocationServices
            .getFusedLocationProviderClient(this);
        fusedLocationClient.getLastLocation()
            .addOnSuccessListener(this, new OnSuccessListener<Location>() {
                @Override
                public void onSuccess(Location location) {
                    // Lokationsbezug kann NULL zurückgeben...
                    if (location != null) {
                        // Applikationslogik für Verarbeitung der Position
                        TextView tv = new TextView(GpsActivity.this);
                        tv.setText("Latitude: " + location.getLatitude() + "\n"
                            + "Longitude: " + location.getLongitude());
                        setContentView(tv);
                    }
                }
            });
    }
}

```





# EUROPEAN GEOSTATIONARY NAVIGATION OVERLAY SERVICE (EGNOS)

- Satellite-based Augmentation Systems (SBAS)
  - Satelliten- und bodengestütztes Ergänzungssystem für existierende Satelliten-Navigationssysteme
  - diverse länderspezifische aber kompatible SBAS-Implementierungen (gemeinsamer Standard)

# EUROPEAN GEOSTATIONARY NAVIGATION OVERLAY SERVICE (EGNOS)

- Überlagerungsnetz mit Korrekturinformationen (EGNO)
  - Netzwerk aus 40 Stationen zur Entfernungsmessung und Integritätsprüfung (**Ranging and Integrity Monitoring Station (RIMS)**) empfangen alle Signale sichtbarer Satelliten (insb. GPS, GLONASS, Galileo)
  - 2 Kontrollzentren (Mission Control Centre (MCC)) berechnen Korrekturdaten für Satellitenbahn und Ausbreitungszeiten
  - 6 Sendestationen (Navigation Land Earth Stations (NLES)) senden Korrekturen an (derzeit 2) geostationäre Satelliten (Sirius/Astra und Eutelsat), welche die Korrekturdaten über L1-Frequenz senden
  - Korrekturdaten werden via EGNOS Data Access Service (EDAS) auch direkt ins Internet propagiert

## ANDERE SATELLITENSYSTEME (1/3)

- **Глобальная навигационная спутниковая система (GLONASS)**
  - russisches Satellitensystem
  - Februar 2024: 24 von 24 Satelliten; 26 im Orbit (davon aber 3 ohne L2-Signal, 1 Reserve, 2 Test für K2 ab 2023)
  - Bahnhöhe von 19.100km mit Umlaufzeit von 11h:15min
  - keine Verschlüsselung, aber obfuskiertes militärisches Hochpräzisionssignal (Security through Obscurity)
- Galileo
  - europäisches Satellitensystem mit dem Ziel der GPS-Unabhängigkeit
  - kompatibel zu GLONASS und GPS
  - Februar 2024: 23 von 24 Satelliten; 28 im Orbit
  - Kontrollstationen in München und Fucino (Italien)
  - verschlüsseltes militärisches Hochpräzisionssignal

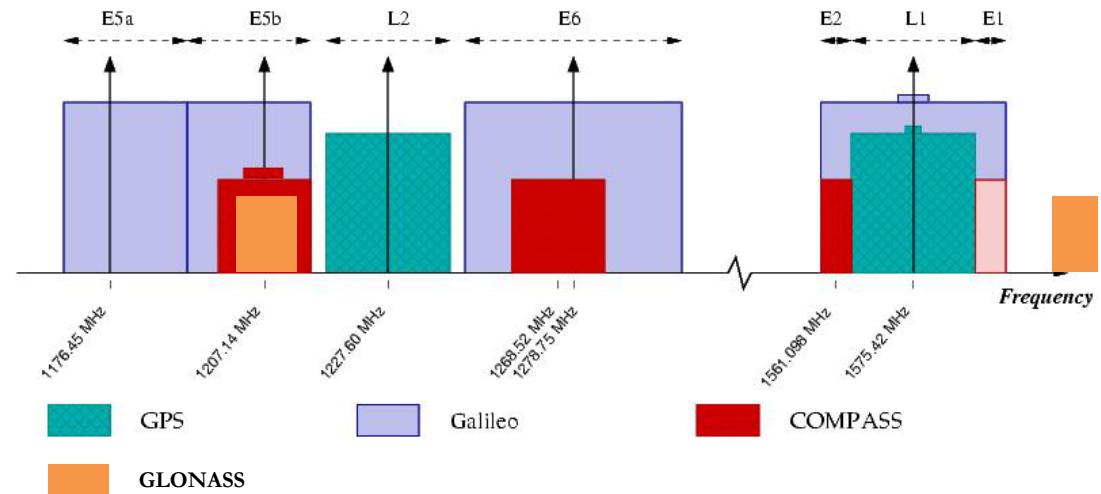
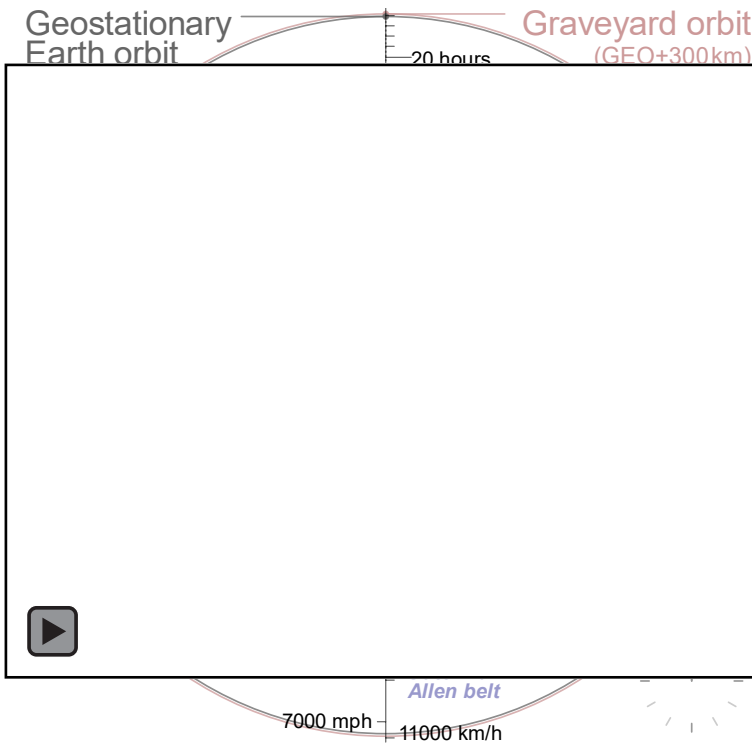
## ANDERE SATELLITENSYSTEME (2/3)

- 北斗 (BeiDou; COMPASS)
  - chinesisches Satellitensystem für
    - China (BeiDou 1),
    - den Asien-Pazifik-Raum (ASEAN) (BeiDou 2) und
    - Teile Ostafrikas (BeiDou 3)
  - Februar 2024: 35 von 30 Satelliten; 42 im Orbit
  - sendet auf Frequenzen von GPS und Galileo ohne Kompatibilität
  - Genauigkeit: 10m
  - verschlüsseltes militärisches Hochpräzisionssignal (1cm Genauigkeit)

## ANDERE SATELLITENSYSTEME (3/3)

- みちびき (Michibiki; Quasi-Zenith Satellite System; QZSS)
  - japanisches Satellitensystem zur Ergänzung von GPS
  - Februar 2024: 4 von 7 Satelliten; 5 im Orbit
    - 1 geostationärer Satellit „über“ Japan
    - 3 Satelliten im Tundra-Orbit  
(inkliniert, elliptisch, geosynchron; 120° zueinander versetzt)
    - 3 weitere Satelliten zur Erhöhung der Präzision geplant  
(jeweils 60° zu den existierenden versetzt)
  - sendet Ergänzungssignal auf L1- und L5-Frequenzen unter Einhaltung der GPS-Kodierung  
(C/A-Signale auf L1C/A, L1C, L2C und L5C)
  - Genauigkeit: 1m  
(experimentell unter Nutzung der E6-Frequenz: 1cm)

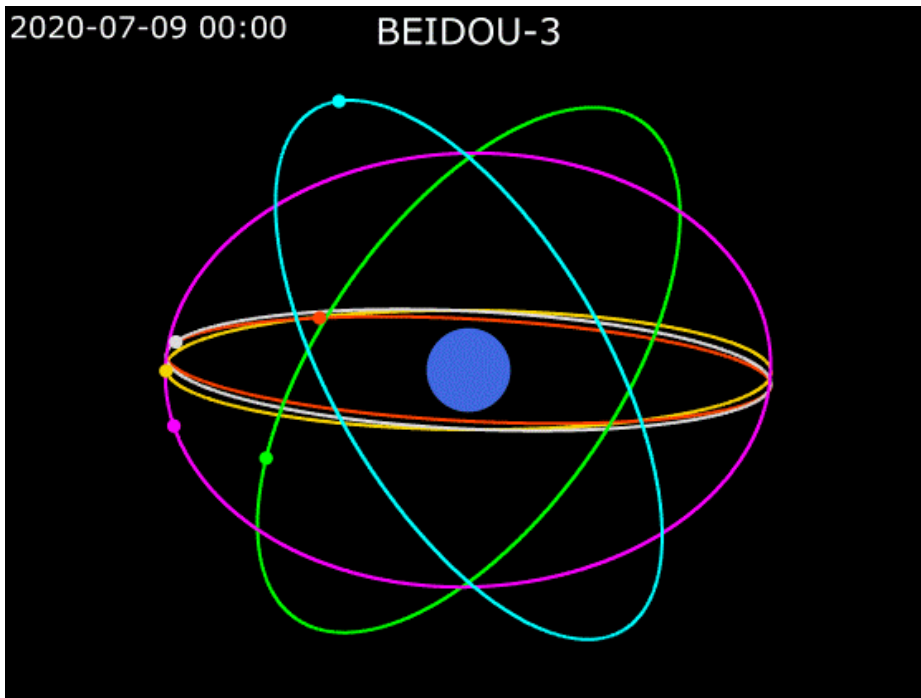
# ÜBERSICHT DER SATELLITENSYSTEME



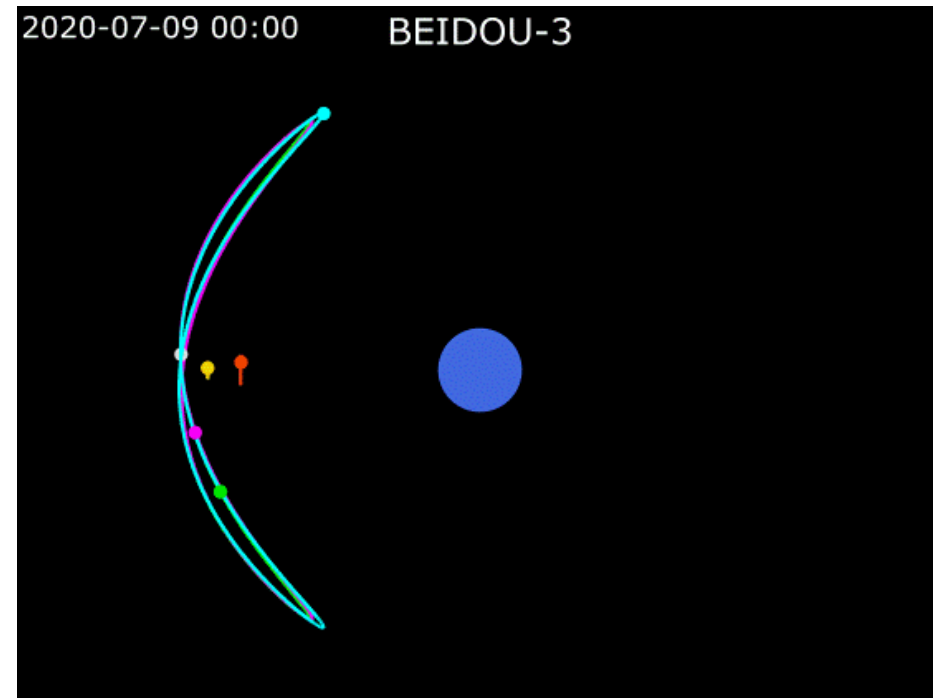
beide Bilder: [Wikimedia Foundation]

# EIGENSCHAFTEN DER ORBITS

am Beispiel BeiDou



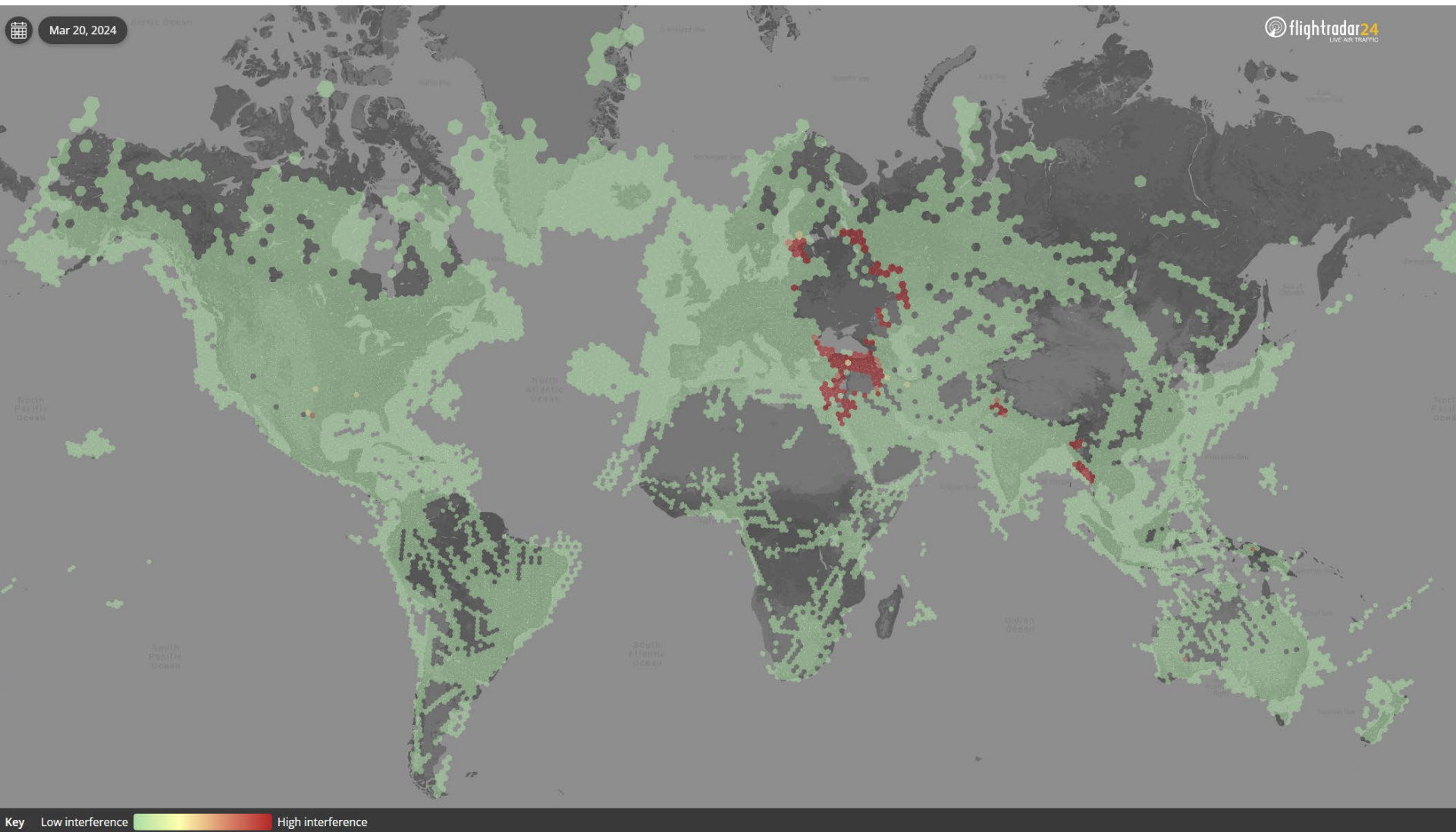
Außensicht



erdfixierte Äquatorialsicht

beide Bilder: [Wikimedia Foundation]

# ANFÄLLIGKEIT VON SATELLITENSYSTEMEN





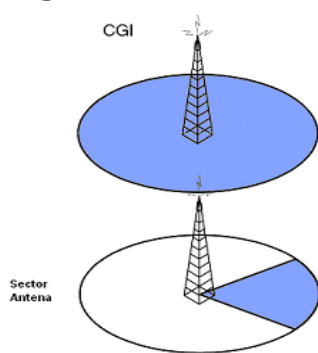
# Zellulare Systeme; Innenraumsysteme

# ZELLULARE SYSTEME

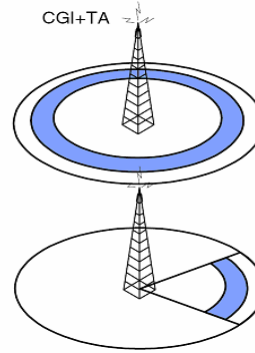
- integrierter Ansatz basierend auf existierender Infrastruktur
- Vorteile
  - geringe Kosten
  - hohe Verfügbarkeit
  - geeignet für Innen- und Außeneinsatz
- Nachteil
  - geringe Genauigkeit
  - lokale Verfügbarkeit

# BEISPIEL: GSM

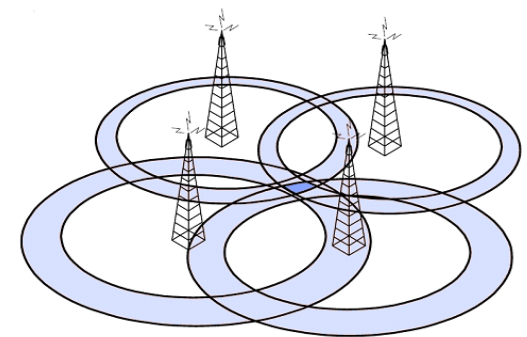
- Positionierung durch Cell ID vom Home Location Register (HLR) im GSM-Mobilfunknetz
- Mobile Positioning System (MPS) zur Verbesserung der Genauigkeit
  - kaum Änderungen an Infrastruktur notwendig
  - Endgeräte bleiben unverändert



- Cell Global Identity (CGI) zur Identifikation jeder Zelle (basierend auf GSM Cell ID)
- mit Richtantennen kann Position auf Sektor eingeschränkt werden



- genaues Timing für Synchronisierung von Up- und Downlink möglich, da GSM auf FDMA und TDMA basiert
  - Timing Advance (TA)
- Gerät berechnet Abstand anhand Signalausbreitungszeit
- kann CGI zur Positionierung verwendet werden



- mit mindestens 4 Basisstationen kann Uplink Time of Arrival (UL-TOA) bestimmt werden
- Positionierung mittels Lateration
- 50m bis 150m Genauigkeit
- Positionsinformationen werden im Mobile Positioning Center (MPC) gespeichert
  - Nutzerverfolgung

# INNENRAUM-POSITIONIERUNG/VERFOLGUNG

Problem: Satelliten- und Zell-Systeme im Innenraum oft nicht/unzureichend verfügbar

diverse Lösungsansätze

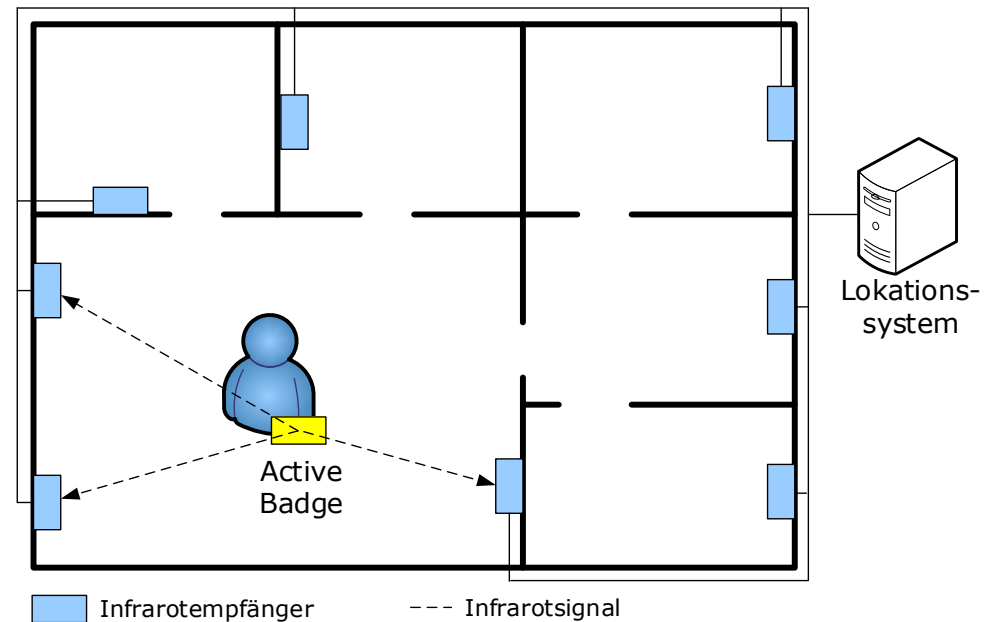
- 1) Innenraum-GPS mit Pseudo-Satelliten (**Pseudolit**) oder Repeatern
- 2) eigenständige Infrastruktur
  - Infrarot oder Flacker-Licht
  - Ultraschall
  - Bluetooth (iBeacon)
  - Radio-/Schallwellen
- 3) integrierte Infrastruktur, hauptsächlich auf Basis von WLAN oder WiFi
- 4) Koppelnavigation (**Dead Reckoning**) mit Spezialgeräten als Zubehör zum Smartphone

# ACTIVE BADGE

- eigenständige Infrastruktur zur Verfolgung basierend auf Infrarot (IR)
- Nutzer tragen sichtbar eine aktive Plakette (**Active Badge**)
- Active Badge sendet eindeutige Nutzerkennung
- IR-Empfänger in den Räumen empfangen die Signale
- Positionsbestimmung anhand Cell ID durch einen zentralen Server

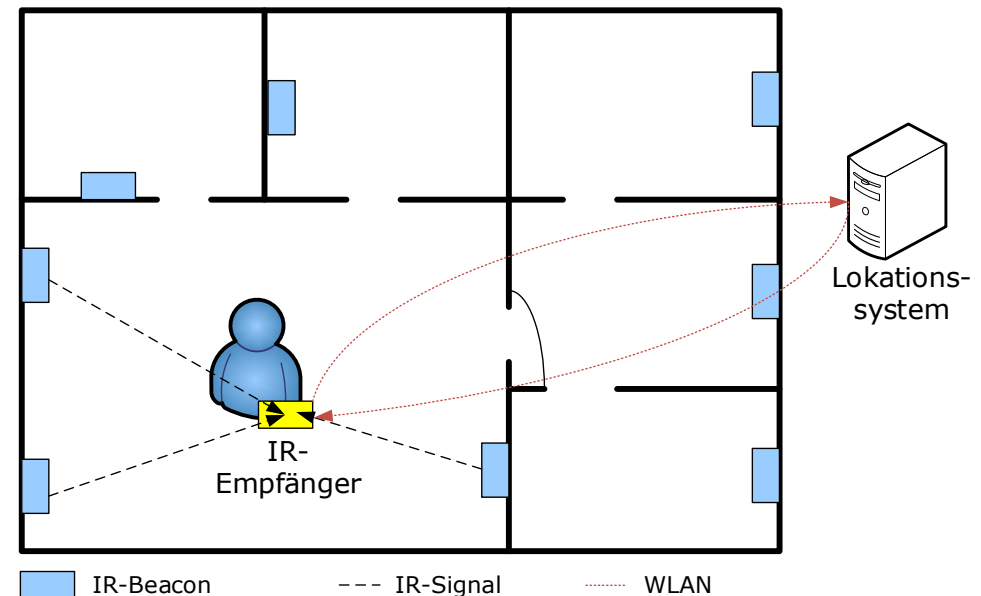
## Probleme

- Begrenzte IR-Reichweite
- Nutzerposition entspricht i.d.R. der des IR-Empfängers
- Nutzer erhält die Positions-information nicht (separater Abruf durch anderes Gerät notwendig)



# WIRELESS INDOOR POSITIONING SYSTEM (WIPS)

- eigenständige Infrastruktur zur Positionierung basierend auf Infrarot
- IR-Sender (**Beacon**) mit eindeutiger Kennung in den Räumen
- sichtbar getragenes Etikett beim Nutzer empfängt Beacon-Signale
- empfangene Beacon-Kennung via WLAN an Lokationssystem gesendet
- Lokationssystem bildet Beacon-Kennung auf semantischen Ort ab und sendet diese Information an den Nutzer zurück
- Vorteil: Nutzer erhält die Position direkt am Gerät
- Nachteile
  - Integration zweier Drahtlostechnologien
  - Lokationssystem kann Nutzer verfolgen



## WEITERE INNENRAUMSYSTEME

- Active Bat
  - eigenständige Infrastruktur zur Verfolgung basierend auf Ultraschall
  - Verfolgung durch Messung der Signalausbreitungszeit
  - Kommunikation mit zentralem Lokationssystem
  - Genauigkeit bis 10cm
- SpotOn
  - eigenständige Infrastruktur zur Verfolgung basierend auf Radiowellen
  - Radiosignale können Wände durchdringen (IR und Ultraschall nicht)
  - Empfangsleistung des Radiosignals hängt nicht nur von Entfernung ab (Dicke der Wände, Personen und Pflanzen im Raum, ...)
    - Genauigkeit bis 3m im WIPS-Modus
    - Fehlerkompensation durch Beacon-Redundanz
  - Abwandlung: Nutzer trägt RFID-Tag; Empfänger in den Räumen

# WiFi-BASIERTE POSITIONIERUNG

- basierend auf bereits installierter WLAN-Infrastruktur  
→ somit integrierter Positionierungsansatz
- passives Abtasten
  - zur dynamischen Erkennung der Access Points (AP)
    - AP senden sowieso regelmäßig Beacons (~10ms bis einige 100ms) (Zeitstempel, Datenraten, AP-Kennung, ...)
    - Empfänger misst Empfangsleistung (**Radio Signal Strength (RSS)**) und Signal/Rausch-Verhältnis (**Signal-to-Noise Ratio (SNR)**)  
→ diese Informationen sind i. d. R. über Netzwerk-API verfügbar
    - AP können Endgeräte nicht verfolgen
- aktives Abtasten
  - als aktive Peillösung  
→ Endgerät sendet aktiv; alle AP in Reichweite antworten mit Beacon
  - APs können Endgeräte verfolgen
- Positionierung per Umgebungserkennung (**Proximity Sensing**) via Cell ID, Lateration oder **Fingerprinting**



# WiFi-BASIERTE POSITIONIERUNG

- Proximity Sensing

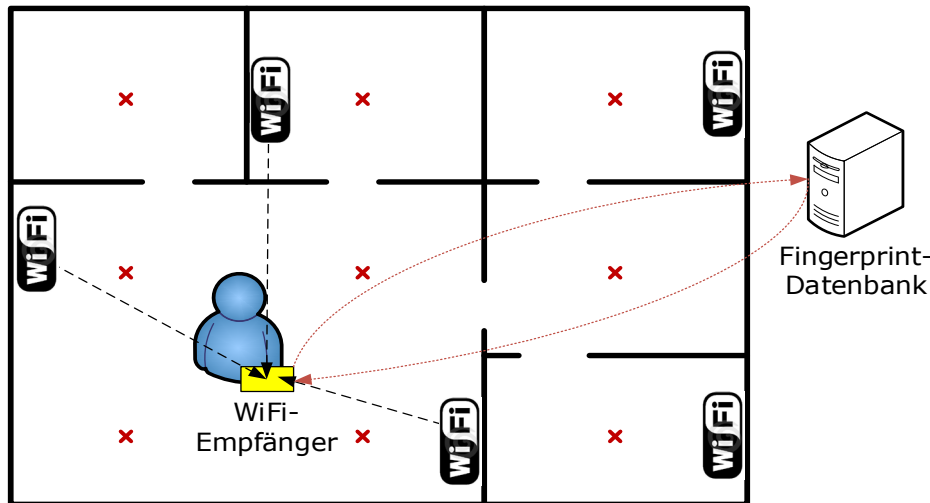
- Position des Endgerätes wird vom AP mit stärkstem Signal übernommen (entsprechend Cell ID)
- Genauigkeit hängt von AP-Dichte ab
- i. d. R. schlechte Differenzierung von Etagen sowie innen/außen

- Lateration

- benötigt akkurate Informationen über AP-Positionen
- mindestens drei AP müssen sichtbar/empfangen sein
- Messungen werden i. d. R. beeinflusst (Wände, Personen, Tageszeit, Geräteausrichtung, Mehrwegeausbreitung, ...)
- RSS ist nicht standardisiert; Werte hängen stark vom Adapter ab
- moderne AP passen Signalstärke und Kanal dynamisch an Bedarf an
- Genauigkeit hängt von Verfügbarkeit, Verteilung und Einstellung der AP sowie der Gebäudestruktur ab

# FINGERPRINTING

- Phase 1 (offline): Radio Map Creation
  - Messung von WLAN-Informationen an Referenzpunkten, Zusammenfassen in **Fingerprint** und speichern in Fingerprint-Datenbank als **Radio Map**
  - Referenzpunkte anhand Genauigkeitsanforderungen im Gebäude platziert
- Phase 2 (online): Radio Map Usage
  - WLAN-Messung am Standort und bilden des Fingerprints
  - Suche nach bester Fingerprint-Übereinstimmung in Radio Map
  - Position entspricht dem Referenzpunkt der besten Übereinstimmung oder wird zwischen Treffern interpoliert



Access Point    --- WiFi-Signal    ..... Kommunikation mit Infrastruktur  
 X Referenzpunkt in Phase 1

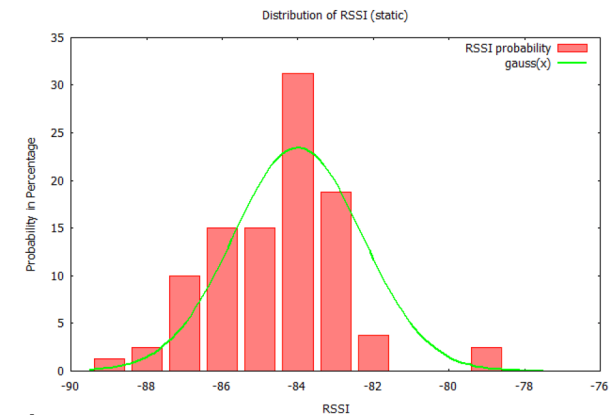
Fingerprint-Beispiel:

```

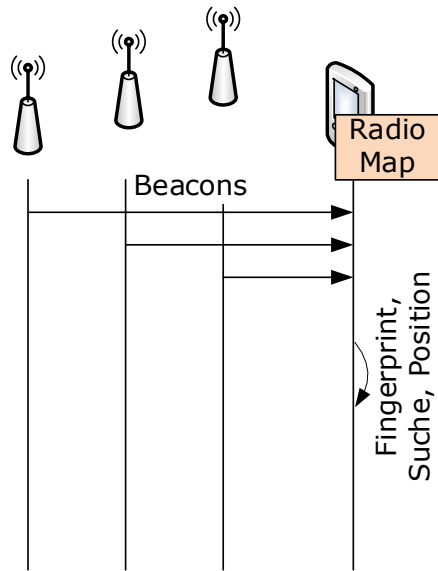
{
  "Scan time": "25.03.2018Z18:35:34",
  "Location": "51.052815N, 13.761523E, 2F",
  "Visible Access Points": [
    "AP1": {
      "SSID": "eduroam",
      "MAC": "08:17:35:33:5f:80",
      "RSS": -64
    },
    "AP2": {
      "SSID": "VPN/WEB",
      "MAC": "08:17:35:33:5f:81",
      "RSS": -61
    }
  ]
}
  
```

# UMSETZUNGSANSÄTZE FÜR FINGERPRINTING

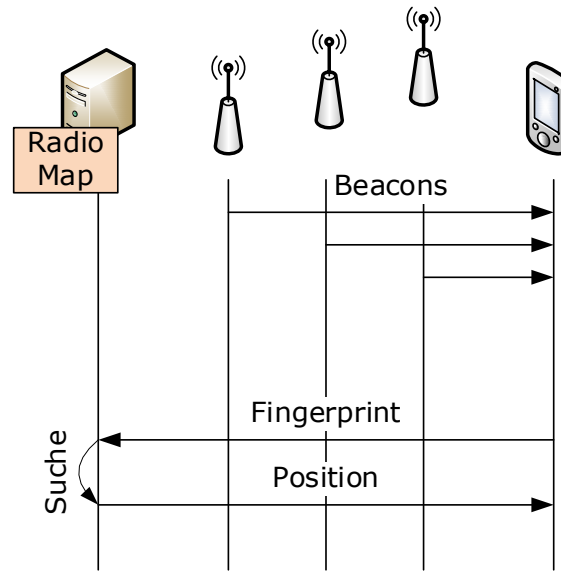
- empirischer Ansatz
  - deterministische Übereinstimmung (**RADAR**)
    - messen von **RSS-Mustern** an Referenzpunkten  
→ **Mittelwert multipler Messungen** als Fingerprint
    - berechnen des euklidischen Abstands zwischen aktuellen Fingerprint und allen Fingerprints der Radio Map → Referenzpunkt mit kleinstem Abstand ist Position
      - basiert auf mittleren RSS-Werten → verringerte Genauigkeit
      - gesamte Radio Map muss durchsucht werden
- probabilistische Übereinstimmung (Ekahau, Horus, **Nibble**, **WhereMops**)
  - Beschreibung der **RSS-Varianz als Wahrscheinlichkeitsverteilung ( $P$ )**
  - oft kombiniert mit Klumpeneffekt (**Clustering**)  
→ Fingerprints mit AP-Menge aus dem Cluster
  - Suche erfolgt durch Cluster-Identifikation;  
anschließend Wahrscheinlichkeitsverteilung  
+ reduzierter Berechnungs-Overhead durch Cluster  
+ erhöhte Genauigkeit wegen  $P$
- Modellierungsansatz (WhereMops)
  - mathematische Modelle zur Berechnung der Signalausbreitung  
+ geringer Aufwand zur Erstellung und Wartung der Radio Map



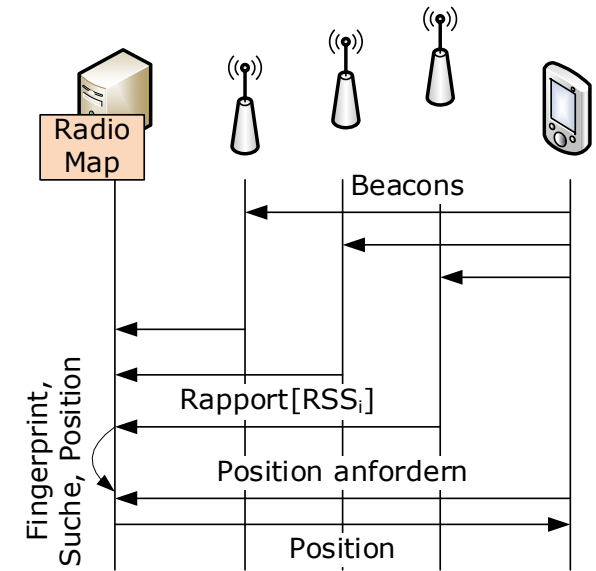
# IMPLEMENTIERUNGSANSÄTZE FÜR FINGERPRINTING



Endgerät-basiert



Server-basiert

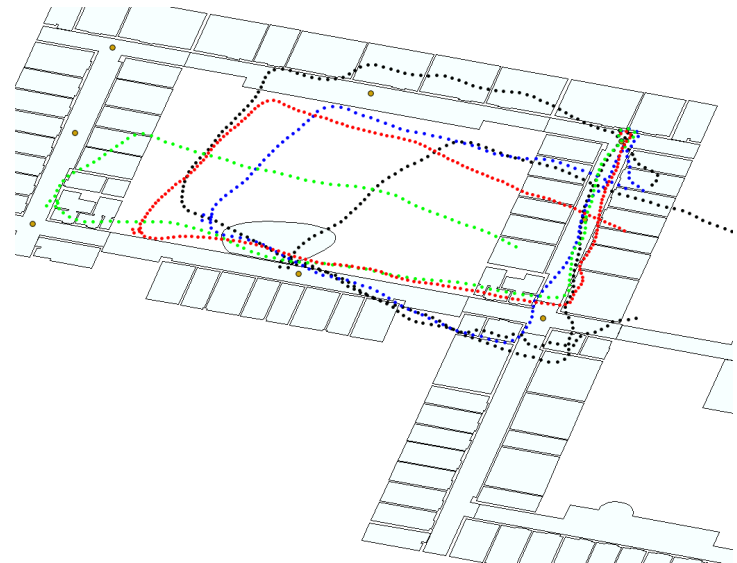
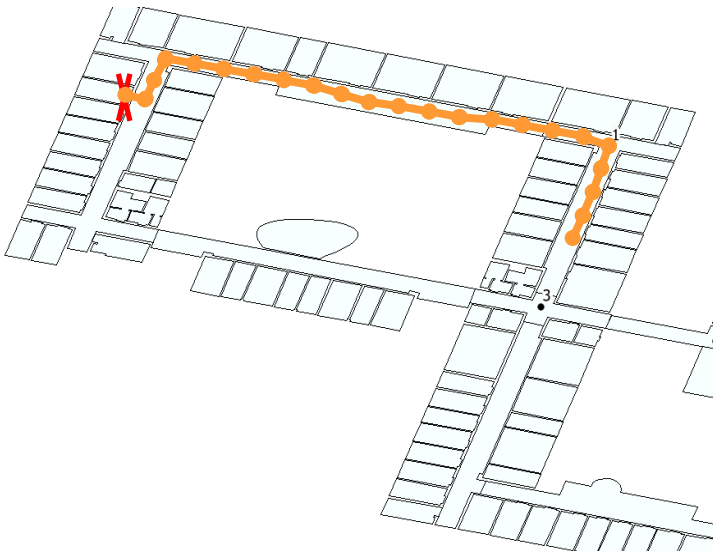


Netzwerk-basiert

	Endgerät-basiert	Server-basiert	Netzwerk-basiert
Abtastung	passiv	passiv	aktiv
Speicherort Radio Map	Endgerät	Server	Server
Positionsberechnung	Endgerät	Server	Infrastruktur

# KOPPELNAVIGATION (DEAD RECKONING)

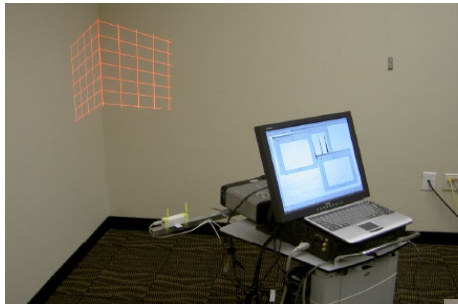
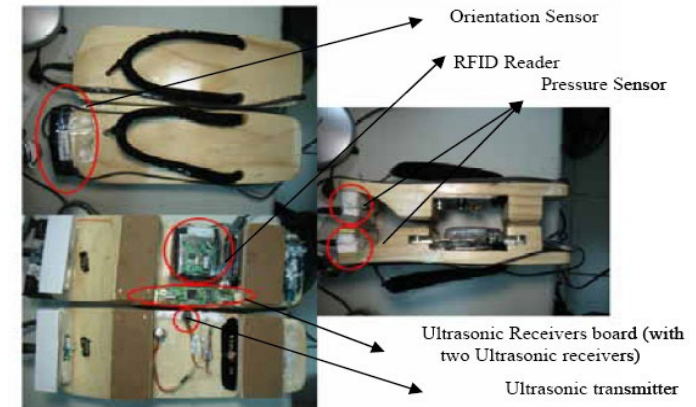
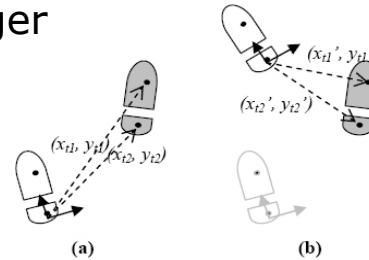
- ausgehend von einem Referenzpunkt
- Erfassung relativer Bewegungen durch Sensoren des Smartphones
  - Beschleunigungssensor  
→ Schritterkennung (Entfernung)
  - Magnetometer und Gyroskop  
→ Ausrichtungserkennung
  - Barometer  
→ Höhenerkennung (Etage)
- kleine Abweichungen führen bereits zu Positionsfehlern
- Fehleraggregation erhöht Positionsfehler signifikant
- Ausrichtung hat höchste Fehleranfälligkeit
- periodische Kalibrierung an Referenzpunkten notwendig



# DEAD-RECKONING-BEISPIEL

## Footprint Location Tracking

- Sender an einem Schuh, Empfänger am anderen
- zusätzliche Ausrichtungs- und Drucksensoren
- Startposition ist bekannt
- Berechnung der Schrittlänge und Rotation der Füße um neue Position zu bestimmen



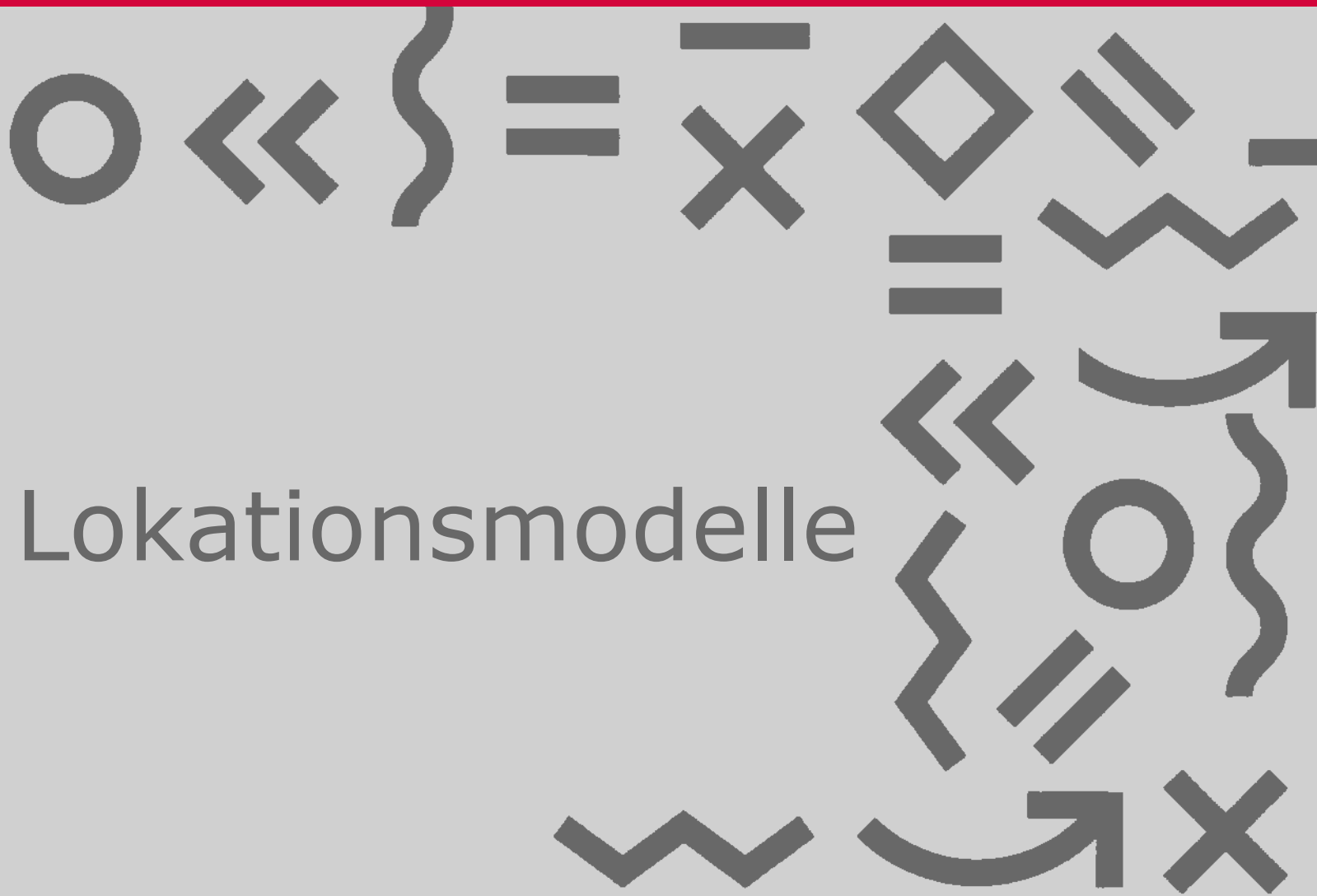
## TrackSense

- Netz wird auf Oberflächen projiziert
- Kamera erkennt Netzlinien durch Kantenerkennungsalgorithmus  
→ Erkennung von Wänden und Objekten
- 3-Achsen-Beschleunigungssensor und Magnetometer für räumliche Ausrichtung
- Abstand und Ausrichtung jedes Punktes relativ zur Kamera mittels Angulation

# SYSTEMVERGLEICH

Name	Kategorie	Typ	Mechanismus	Medium	Genauigk.
GPS	Satellit	Positionierung	TOA	Radio	$\geq 7\text{m}$
dGPS	Satellit	Positionierung	TOA	Radio	$\geq 3\text{m}$
Active Badge	Innenraum	Verfolgung	COO	IR	Zelle
WIPS	Innenraum	Positionierung	COO	IR	Zelle
SpotOn	Innenraum	Verfolgung	Signalstärke	Radio	3m
Active Bat	Innenraum	Verfolgung	TOA	Ultraschall	10cm
GSM	Netzwerk	beides	COO, AOA, TOA	Radio	Zelle
MPS	Netzwerk	beides	COO, AOA, TOA	Radio	150m
WLAN	Netzwerk	Positionierung	RSS, SNR	Radio	$\geq 2\text{m}$

TOA: Time of Arrival; COO: Cell of Origin; AOA: Angle of Arrival; IR: Infrarot; MPS: Mobile Positioning Server/Centre;  
WIPS: Wireless Indoor Positioning System





# LOKATIONSMODELLE

- Positionsabfragen („Wo ist Anton?“, „In welchen Raum ist Berta?“, ...)
  - benötigt ein Koordinatensystem
  - globale und lokale Referenzsysteme möglich
- Nachbarschaftsanfragen (**Nearest Neighbor Queries**) („Wie weit sind Anton und Berta voneinander entfernt?“)
  - benötigt eine Distanzfunktion
  - Erweiterung um Pfadkonzept (**Path**) → physischer Abstand oft nicht sinnvoll („Wie oft und wo muss Anton auf dem Weg zu Berta den Bus wechseln?“)
  - topologische Verbindungsrelation (**Connection**) notwendig
  - unterschiedliche Navigationsaufgaben: kürzester oder schnellster Pfad
  - Berechnung der Pfadlängen anhand Attributen (Gewicht/**Weight**)
- Bereichsabfragen („Welche Personen sind im Raum 2.119?“)
  - alle Objekte in gegebener geographischer Gegend
  - benötigt Topologierelation (**Containment**)
    - lässt sich für geom. Koordinaten aus bekannter Geometrie ableiten
    - benötigt für symbolische Koordinaten explizite Modellierung



# ANFORDERUNGEN AN LOKATIONSMODELLE

- Unterstützung der unterschiedlichen Anfragetypen durch geeignete Abbildung der Umwelt im Lokationsmodell
- Lokationsmodell soll bieten
  - Objektposition
  - Distanzfunktion
  - Verbindungsrelation
  - Topologierelation
- Lokationsinformation soll in verschiedenen Formaten verfügbar sein
  - geometrische Koordinaten → geometrische Modell
  - symbolische Koordinaten → symbolische Modelle

	<b>absolute Frage</b>	<b>relative Frage</b>
geometrisches Modell	Wie lauten Antons Koordinaten?	Wie groß ist die Distanz zwischen Anton und Berta?
symbolisches Modell	In welchem Raum befindet sich Berta?	Wie oft muss Anton auf dem Weg zu Berta den Bus wechseln?

# LOKATIONSMODELLE

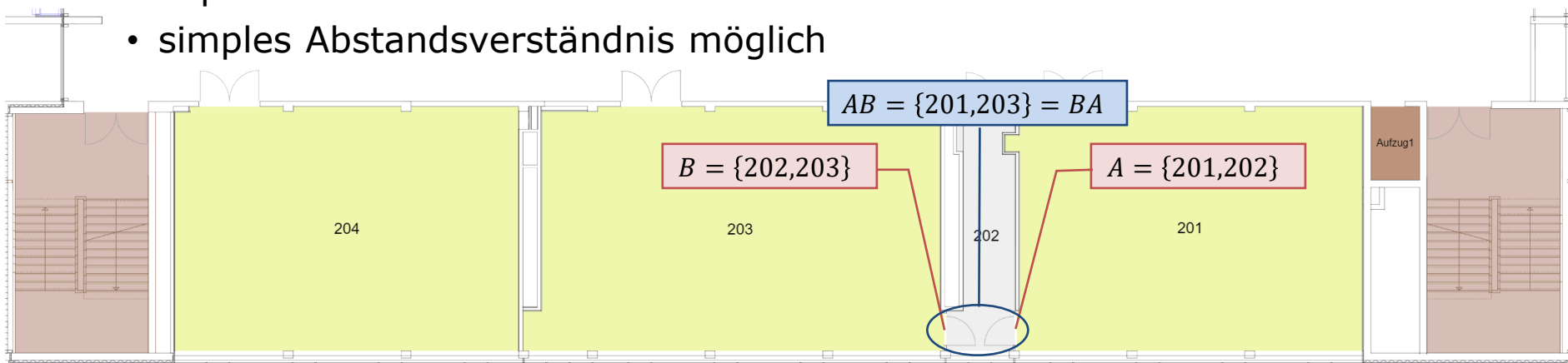
- geometrische Lokationsmodelle
  - bilden Orte auf Koordinatentupel eines Referenzkoordinatensystems ab (z. B. World Geodetic System 1984)
  - Koordinatentransformation zwischen Referenzsystemen möglich
  - Berechnung von Distanzen, Abdeckungen und Inklusionen mittels
    - implizit verfügbarer Topologierelation („enthält“)
    - explizit modellierter Verbindungsrelation („verbunden mit“)
- symbolische Lokationsmodelle
  - Koordinaten i. d. R. nicht für Menschen verständlich
  - definiert Orte durch abstrakte Symbole
    - Cell ID in GSM, Plaketten-ID in Active Badge, Raumnamen
  - keine implizite Definition von Relationen
    - würde zusätzliche Informationen (explizit) erfordern

# SYMBOLISCHE LOKATIONSMODELLE: MENGEN-BASIERTE MODELLE

- Nutzung symbolischer Namen
- Beispiel: mehretagiges Gebäude mit vielen Räumen als

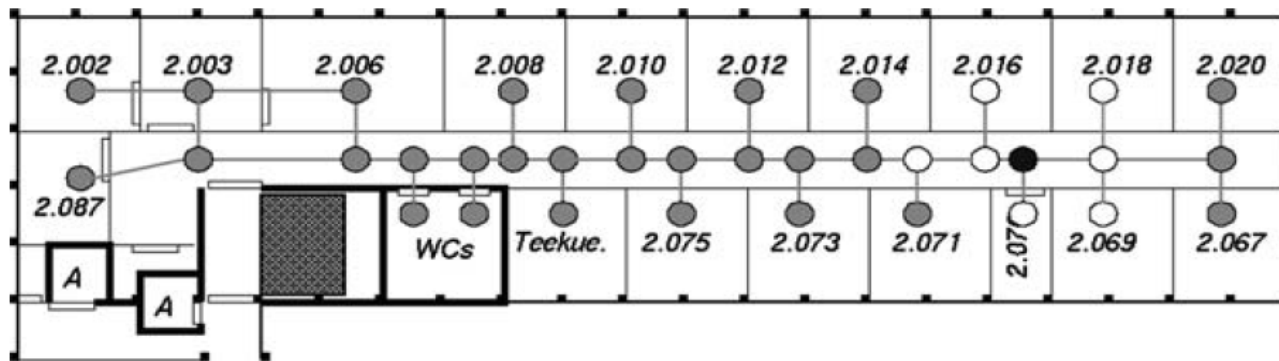
$$\begin{aligned}
 L_{\text{Gebäude}} &= \{L_{\text{Etage 1}}, L_{\text{Etage 2}}, \dots\} \\
 &\vdots \\
 L_{\text{Etage 2}} &= \{201, 202, 203, 204, \dots\} \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

- Inklusionsrelation über Mengenschnitt definiert ( $\{x, y, z\} \cap L \stackrel{?}{\Rightarrow} \{x, z\}$ )
- Überschneidungen können identifiziert werden ( $L_1 \cap L_2 \stackrel{?}{\Rightarrow} \emptyset$ )
- Nearest Neighbour und Navigation
  - Verbindungsrelation kann durch Modellierung von Paaren verbundener Orte explizit definiert werden  $\rightarrow$  uni- und bidirektional sowie transitiv
  - simples Abstandsverständnis möglich



# SYMBOLISCHE LOKATIONSMODELLE: GRAPH-BASIERTE MODELLE

- basierend auf ungerichtetem azyklischem Graph (IAG)  $G = \{V, E\}$
- symbolische Koordinaten definieren Knotenmenge  $V$  des IAG
- Verbindungsrelation modelliert die Kantenmenge  $E$  des IAG
- simple Distanzberechnung durch Kantenmenge der Graphabdeckung  
→ Menge der besuchten Kanten definiert Knotenmenge „Hops“
- gewichtete Kanten erlauben präzisere Distanzberechnung
- keine explizite Inklusionsrelation



$G = \{V, E\}$  mit

$V = \{2.002, 2.003, 2.004, \dots\}$  und

$$E = \left\{ \begin{array}{l} (2.002; 2.003; 2,0), \\ (2.003; 2.002; 2,0), \\ (2.003; 2.006; 3,0), \\ (2.006; 2.003; 3,0), \\ \dots \end{array} \right\}.$$

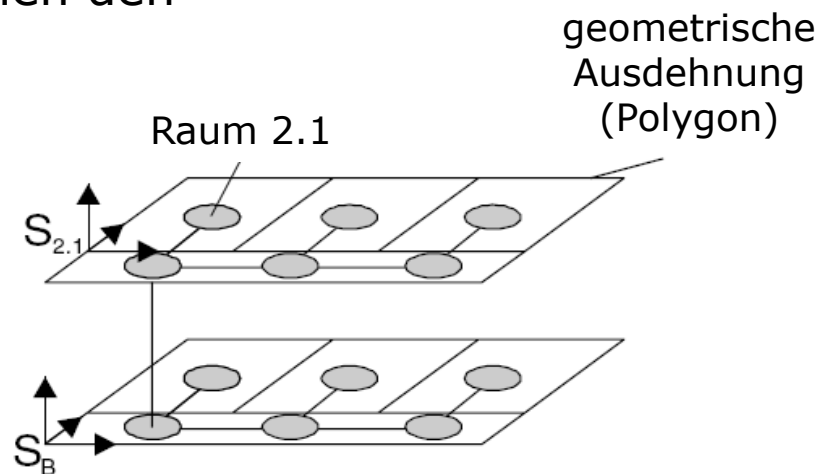
Beispielpfad:  $2.002 \rightarrow 2.006$

$$P = \left\{ \begin{array}{l} (2.002; 2.003; 2,0), \\ (2.003; 2.006; 3,0) \end{array} \right\},$$

$$\|P\| = 5,0.$$

# HYBRIDE LOKATIONSMODELLE

- Kombination von Graph- und Mengen-basierten Modellen
  - kombiniertes symbolisches Modell als Basis (Menge und Graph)
  - Lokationsmodell enthält zwei Teile
- Kombination von geometrischen und symbolischen Modellen
  - geometrische Informationen zusätzlich im Modell gespeichert (bspw. als Zusatzebene auf WGS84)
  - erhöht Genauigkeit und Distanzpräzision
  - beliebige geometrische Figuren für Orte und Bereiche
  - Abbildung zwischen den Koordinatenebenen



# ANWENDUNGSGEBIETE

- ortsbasierte Informationen im Museum, bei der Stadtführung, als Einkaufsführer, ...
- ortsbasierte Suche
  - Freunde finden
  - Dienste und Dienstleister finden (Post, Restaurant, ...)
- Navigationssysteme
- Verfolgungssysteme (**Tracker, Tracking System**)
  - Vermitteln/Abweisen/Makeln eingehender Anrufe
  - Alarmierungssystem für Kinder und Senioren

# Zusammenfassung und Aufgaben



# ZUSAMMENFASSUNG

- viele unterschiedliche Ansätze zum Positionieren und Verfolgen
  - Satelliten-basiert, Zell-basiert, örtlich, Innenraum, global, ...
- unterschiedliche Lokationsmodelle; vorzugsweise hybride Ansätze
  - Unterstützung aller Anfragetypen
  - Abbildung zwischen geometrischen und symbolischen Koordinaten
  - Nachteil: hoher Modellierungsaufwand, viele Daten
- ortsbasierte Dienste sind weit verbreitet, insbesondere für Navigation

# AUFGABEN

- Erstellen Sie mit Ihren Kommilitonen eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Referenzsysteme (inkl. WGS84). Wie wirken sich die Abbildungsprobleme (bspw. Mercator-Abbildung) auf die Referenzsysteme aus?
- Diskutieren und vergleichen Sie mit Ihren Kommilitonen Active Badge, WIPS und Cell ID.
- Wie funktioniert GPS? Weshalb nutzen Passagierflugzeuge jederzeit mindestens 7 Satelliten? Was sind die größten Nachteile von GPS?
- Diskutieren Sie mit Ihren Kommilitonen wie Sie eine Anwendung um Restaurantinformationen (Öffnungszeiten etc. pp.) ergänzen würden.
  - Wie finden Sie einen Weg, bei dem Sie mit hinnehmbaren Umweg genau zur Öffnungszeit beim Restaurant ankommen?  
(Damit Sie nicht vor der verschlossenen Tür warten müssen.)
  - Wie finden Sie einen Weg, bei dem Sie unterwegs einen Brief einwerfen können?

# REFERENZEN

Küpper, Axel: Location-based Services. John Wiley & Sons, Ltd., ISBN 978-0470-09231-6, 2005

Schiller, J. & Voisard, A. Location-based services  
Morgan Kaufmann, 2004

Becker, C. & Duerr, F.: On location models for ubiquitous computing.  
Personal Ubiquitous Comput., Springer-Verlag, 2005, 9, 20-31

Want, R.; Hopper, A.; Falcao, V. & Gibbons, J. The active badge location  
system ACM Trans. Inf. Syst., ACM, 1992, 10, 91-102

Dedes, George; Dempster, Andrew G.: Indoor GPS Positioning  
– Challenges and Opportunities, 2005

# REFERENZEN

Köhler, Moritz; Patel, Shwetak N.; Summet, Jay W.; Stuntebeck, Erich P.; Abowd, Gregory D.: TrackSense: Infrastructure Free Precise Indoor Positioning Using Projected Patterns, ETH Zürich, 2007

Yeh, Shun-yuan; Chang, Keng-hao; Wu, Chon-in; Okuda, Kenji; Chu, Hao-hua: GETA Sandals: Walk Away with Localization, National Taiwan University, 2005

WIPS Technical Documentation, Royal Institute of Technology, Schweden, [www.online.kth.se/csd/projects/0012/](http://www.online.kth.se/csd/projects/0012/)

Hightower, J.; Borriello, G. & Want, R.: SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength, 2000

<http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos>