

SIGNALSTÄRKE-BASIERTE LOKALISIERUNG- BASIS FÜR ORTSABHÄNGIGE DIENSTE

Steffen Meyer, Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS



Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen

Überblick

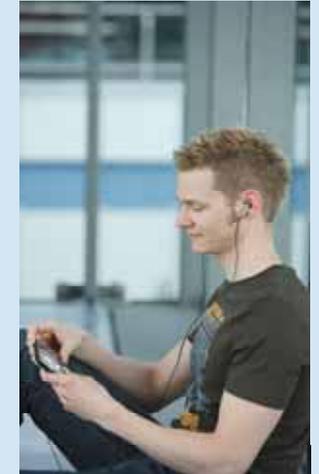
- Gegründet 1985
- Standorte: Erlangen, Fürth, Nürnberg, Dresden, Großer Kornberg, Ilmenau
- Mitarbeiter: ca. 700
- Budget: ca. € 80 Mio
- Finanzierung
 - > 75% Projekte
 - < 25% Grundfinanzierung
- www.iis.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen

Die wichtigsten Technologiefelder

- Audio und Multimedia
- Bildsysteme
- Digitale Rundfunksysteme
- Eingebettete Systeme
- IC-Design und Entwurfsautomatisierung
- Kommunikationsnetze
- Lokalisierung und Navigation
- Logistik
- Medizintechnik
- Optische Prüfsysteme
- Röntgentechnik

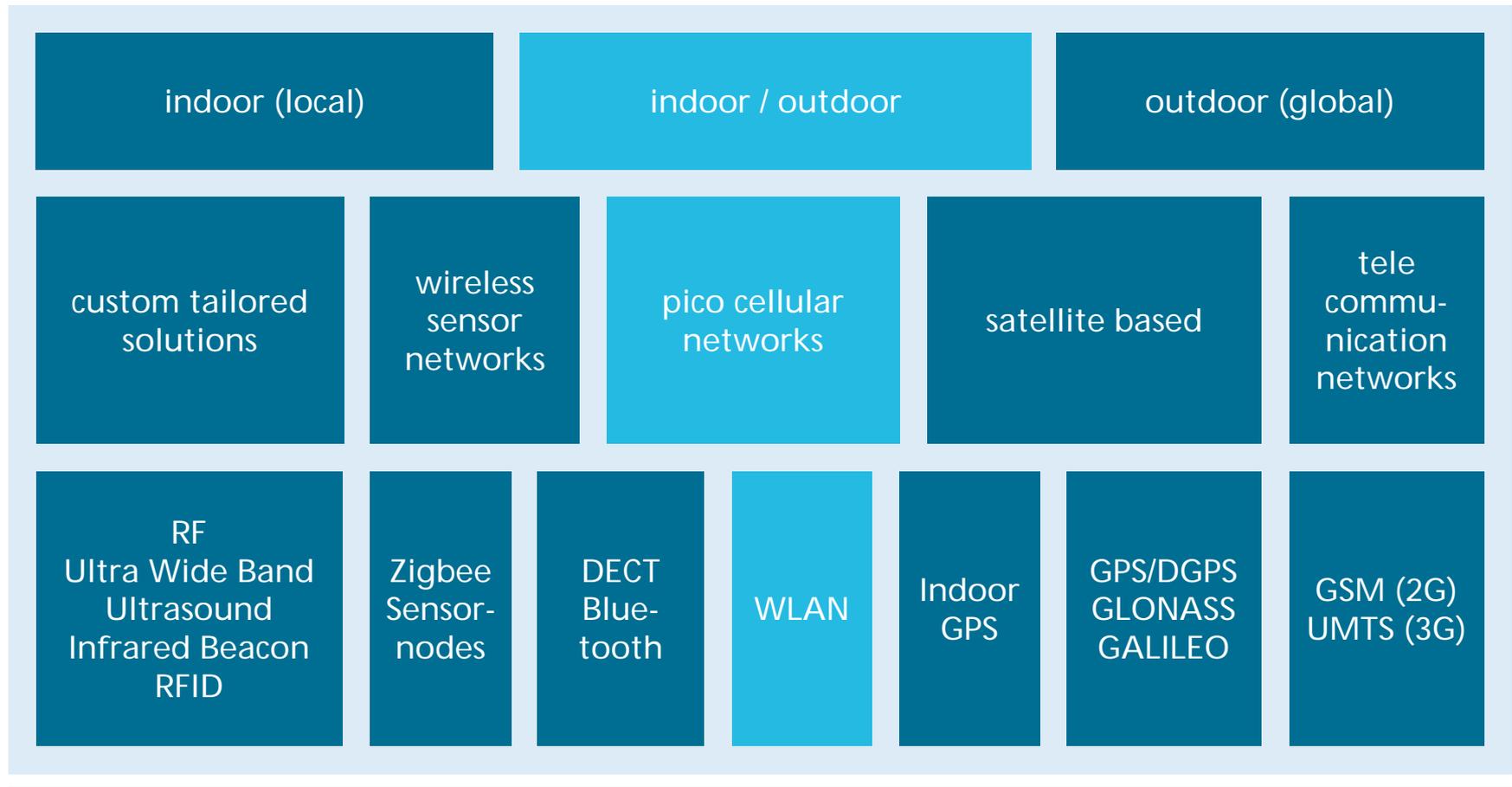


Übersicht

1. Einführung
2. Signalausbreitung
3. Lokalisierungsverfahren
4. Anwendungsmöglichkeiten
5. Zusammenfassung

1. Einführung

Lokalisierungstechnologien und Einsatzgebiete



1. Einführung

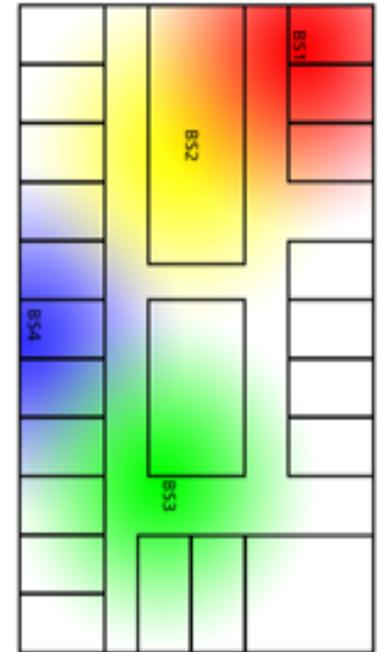
Lokalisierung durch Signalstärkemessung

Gründe für Signalstärke als Messgröße:

- Geringer technischer Aufwand für die Messung
- Einsatz in vielen Netzen möglich:
GSM, UMTS, WLAN, DECT, Bluetooth, ...

Vorteile von Signalstärke-basierter Lokalisierung:

- Autarke Lösungen in fremden Infrastrukturen
- Nutzung bestehender Infrastruktur
- Lokalisierung als Software-Lösung
- Tauglich für Innen- und Außenbereich
- Genauigkeit deutlich unter Zellradius



2. Signalausbreitung

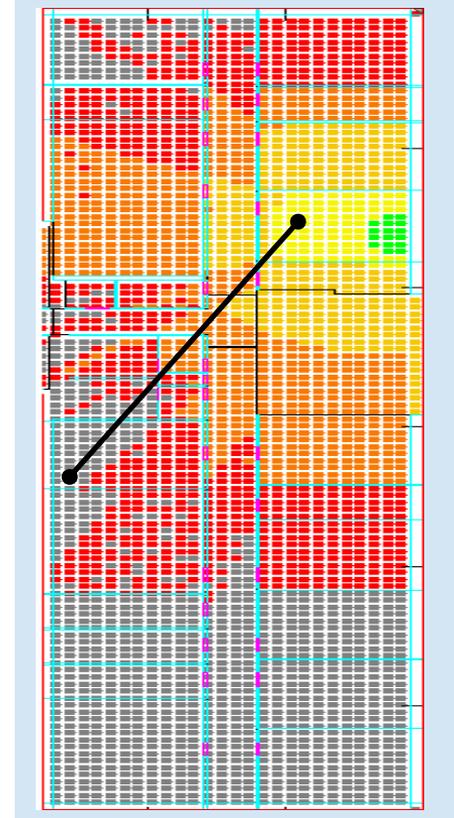
Signalausbreitung in der Theorie

Funksignal wird bei der Übertragung gedämpft:

- Streckendämpfung im Freifeld gut beschrieben

$$A \propto \frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot d^2} \propto \frac{1}{d^2}$$

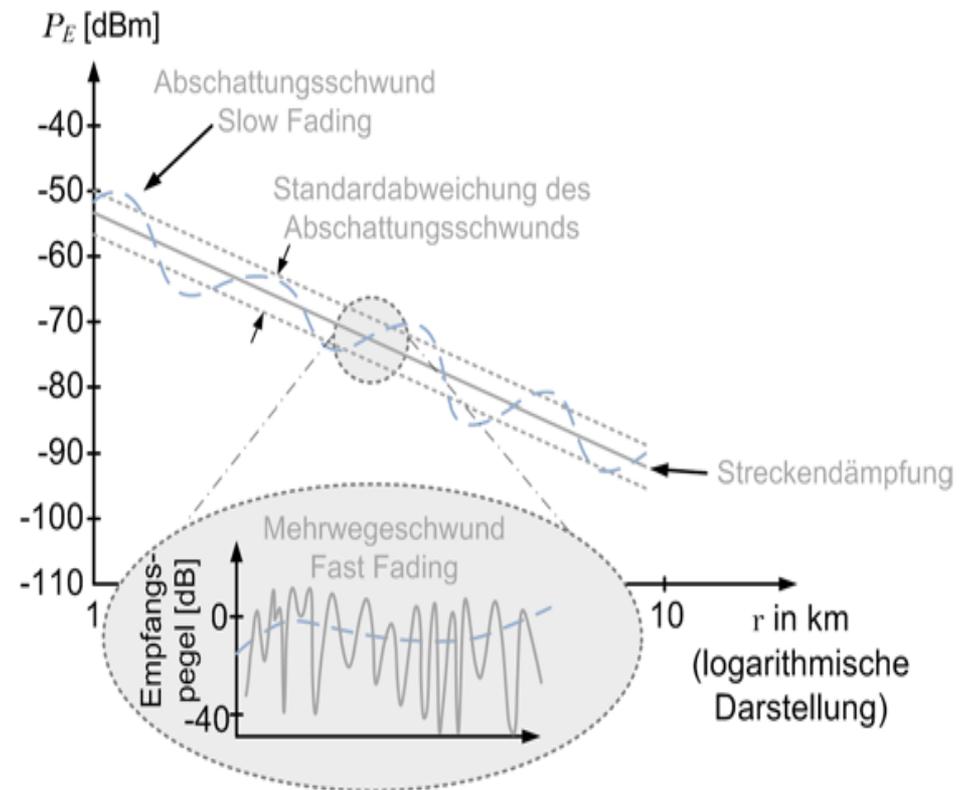
- Reales Umfeld: Signalausbreitung inhomogen
 - beeinflusst durch Wände, Türen, Einrichtung
- Multi-Wall-Model:
- Anzahl und Materialeigenschaften der Wände berücksichtigt
 - Optimierung: Begrenzung der Wand-Dämpfung



2. Signalausbreitung

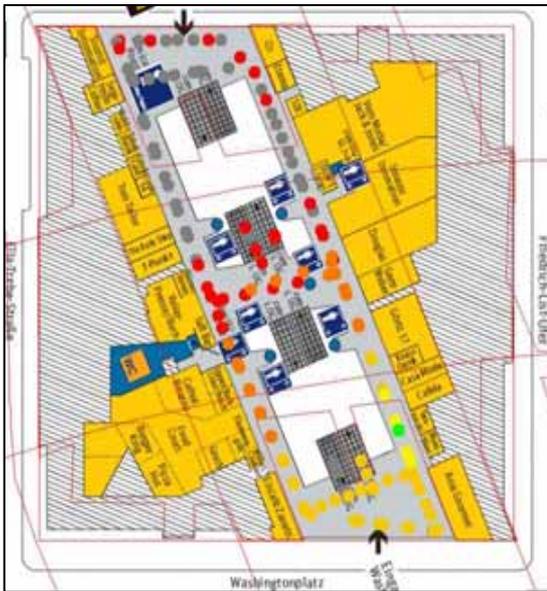
Signalausbreitung im realen Umfeld

- Mehrwegeausbreitung führt zu Überlagerung von Signalen
- Verstärkung/Auslöschung möglich
- Gemessene Signalstärke enthält Mehrwegedämpfung
- Ausprägung der Mehrwegeeffekte ist frequenzabhängig



2. Signalausbreitung

Signalausbreitung im realen Umfeld



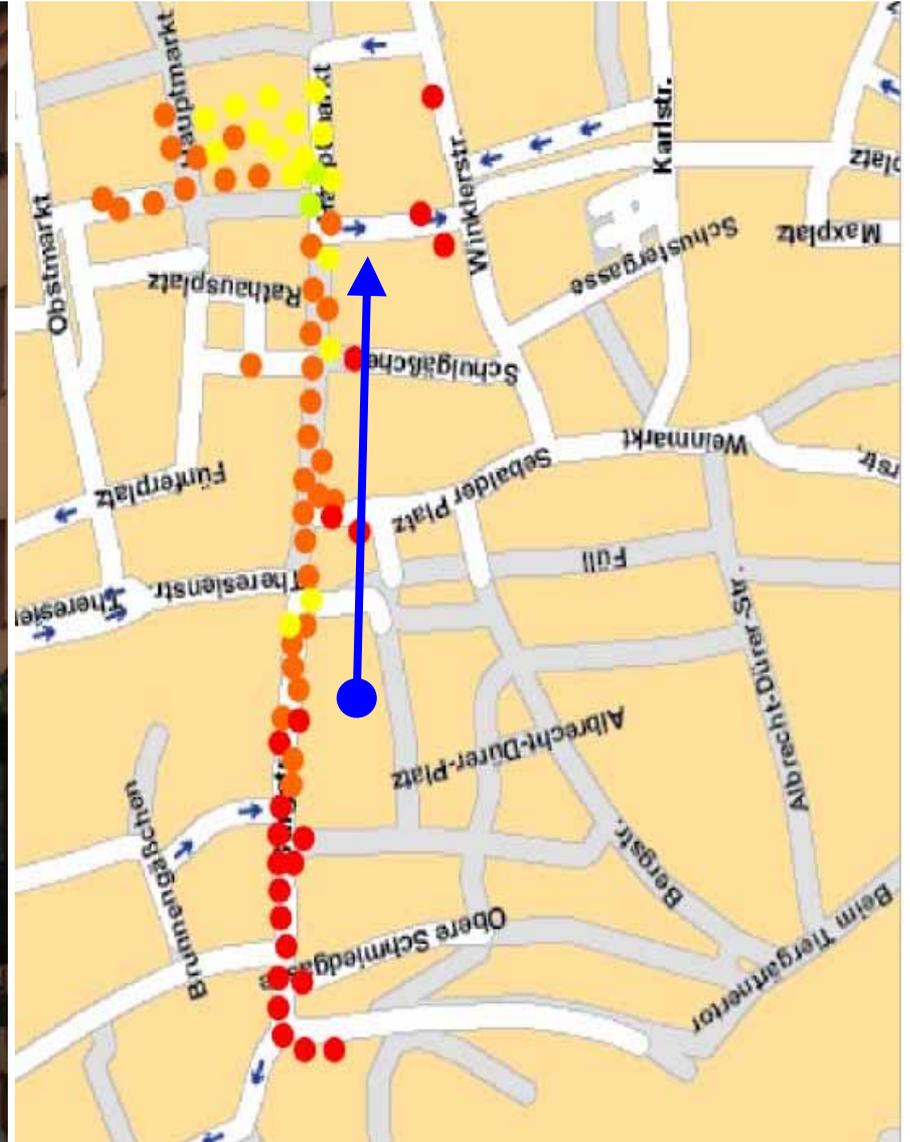
Bahnhofsgebäude



Innenstadt



Bürogebäude



Messwertaufnahme

Messung der Signalstärke

- Messung erfolgt in zellularen Netzen ohnehin zum
 - Erkennen von Kommunikationspartnern (Scanning)
 - Vorbereiten von Zellwechseln (Handover)
- Messwertaufnahme durch Infrastruktur oder auf dem Endgerät möglich
- Messwertaufnahme für Lokalisierung durch periodisches Scanning:
 - Passives Scanning: Mithören der Kommunikation
 - Aktives Scanning: Aussenden eines Pakets, auf das die Kommunikationspartner antworten
 - Beispiel WLAN: Endgerät sendet probe_request Paket, Access Points antworten mit probe_response Paketen

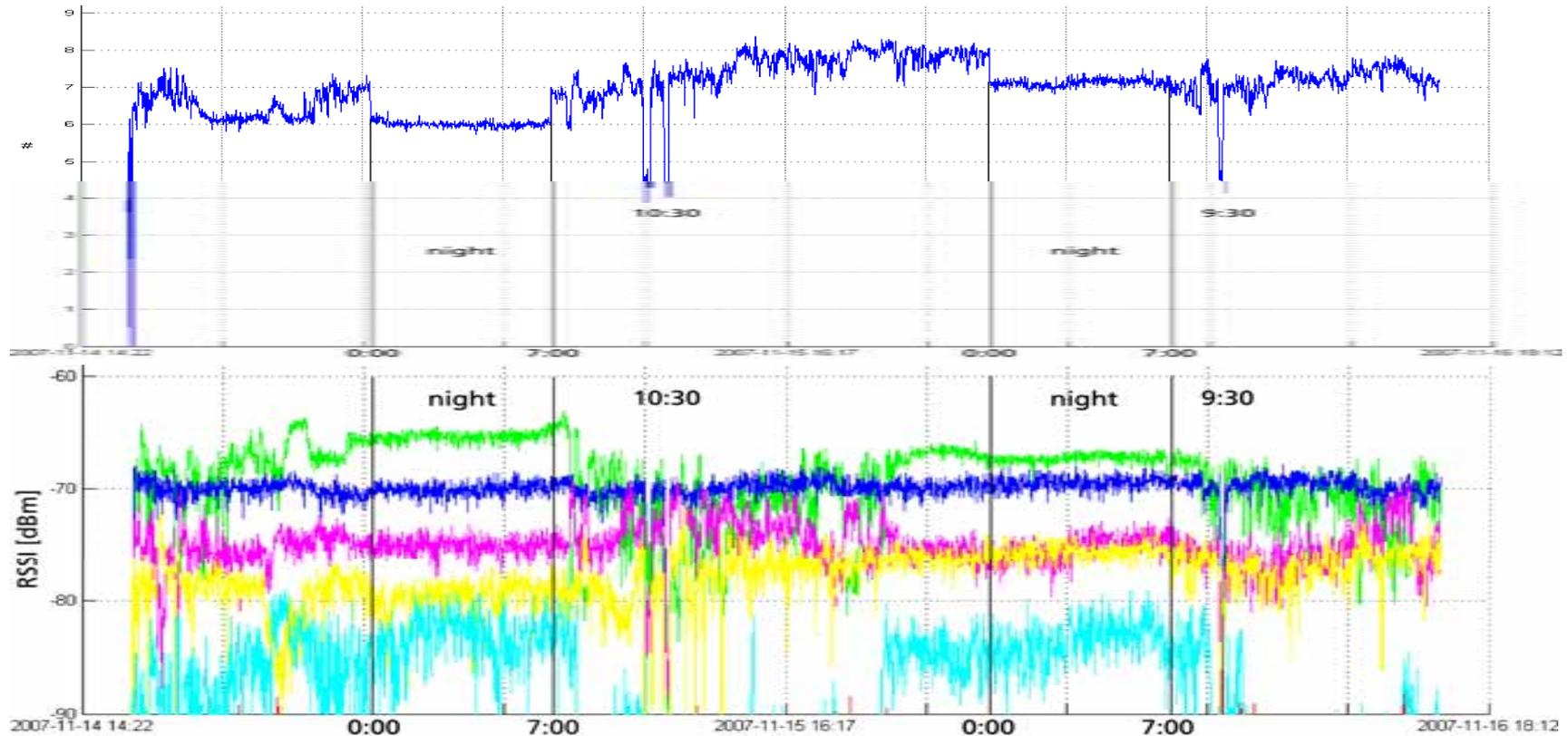
Messwertaufnahme

Messung der Signalstärke: Einflussfaktoren

- Orientierung des Endgeräts:
 - Richtcharakteristik der Antennen
 - Einfluss des menschlichen Körpers
- Veränderliche Umgebungsbedingungen:
 - Veränderliche Umgebung (z.B. sich bewegende Menschen und Fahrzeuge, Öffnen von Türen, eingelagerte Güter...)
 - Veränderungen an der Infrastruktur
 - Menschenmengen
 - Wetter (z. B. Regen / Schnee), Jahreszeit (z. B. nasses Laub)
 - Tageszeit

Messwertaufnahme

Einflussfaktoren: Beispiel Tageszeit



Messwertaufnahme

Messung der Signalstärke: Grenzen

- Kommerzielle Endgeräte sind nicht für Messwertaufnahme optimiert
 - Messung erfolgt ohne Eingriffsmöglichkeit
 - Teils nur grobe Schätzung der Signalstärke (5-7 Stufen)
 - Endgeräte sind nicht kalibriert
 - Häufigkeit der Messwertaufnahme variiert
- Messwertaufnahme darf Kommunikation nicht beeinträchtigen
 - Aktives Scanning belastet Netzwerk
 - Kanalwechsel beim Scanning kann zu Unterbrechung der Kommunikation führen
- Messwertaufnahme kann Auswirkungen auf Akkulaufzeit haben

3. Lokalisierungsverfahren

Anforderungen an Lokalisierungsverfahren

- Verfahren aufbauend auf Senderkennungen und Signalstärkewerten
- Robust gegen Zeit-, Orts-, Orientierungs- und Geräteabhängige Signalstärkeschwankungen
- Einsetzbar im Innen- und Außenbereich
- Tolerant zu Änderungen in der Infrastruktur
- Verfahren auf mobilen Geräten implementierbar:
Niedriger Ressourcenverbrauch (Rechenleistung, Speicher, Energie)
- Skalierbar für
 - Große Flächen (Gebäude, Areale, Städte, Länder)
 - Viele Teilnehmer

3. Lokalisierungsverfahren

Überblick Lokalisierungsverfahren

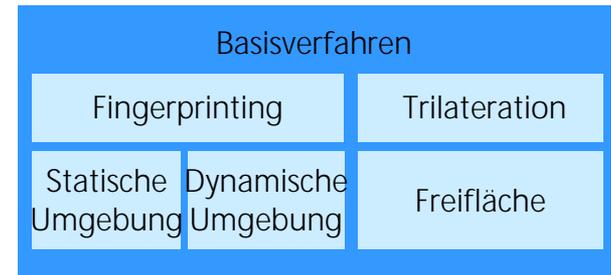
Aufteilung in Basis- und Anwendungsverfahren

Basisverfahren:

- Definiert Eingangsinformationen und Ortsfindungsverfahren
- Trilateration: Entfernungsschätzung
- Fingerprinting: Mustervergleich

Anwendungsverfahren:

- Definiert Anwendungsspezifische Umsetzung
- Kontinuierliche Ortung, Spontanortung
- Bereichsortung



3. Lokalisierungsverfahren

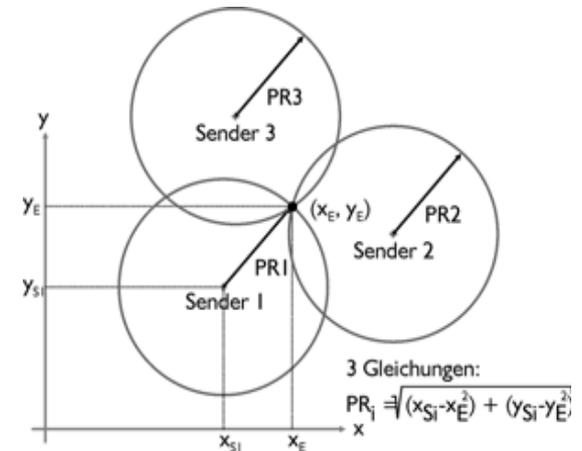
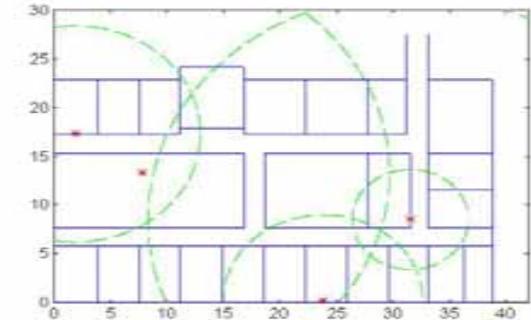
Signalstärken-basierte Trilateration

Verfahren basierend auf Distanzschätzung

- Position und Sendeleistung der Basisstationen ist bekannt
- Schätzung von Distanzwerten zu mehreren Basisstationen über die Streckendämpfung
- Lokalisierung durch Lösen der Trilaterationsgleichung

Problem:

- Inhomogene Signalausbreitung führt zu großen Positionsfehlern



3. Lokalisierungsverfahren

Signalstärken-basiertes Fingerprinting

Verfahren basierend auf Mustervergleich

Phase 1: Einmessen

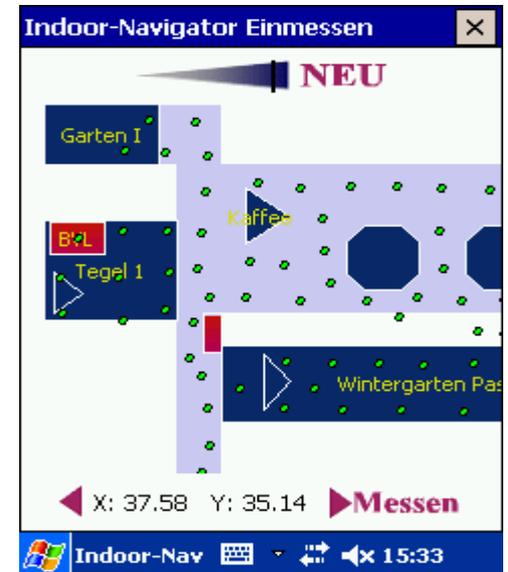
- Aufnehmen und Speichern von Messwerten an definierten Referenzpunkten

Phase 2: Lokalisieren

- Aufnehmen von Messwerten und Abgleichen mit Referenzwerten

Vorteil: erhöhte Genauigkeit

Variante: Berechnung der Referenzdaten anhand theoretischer Ausbreitungsmodelle

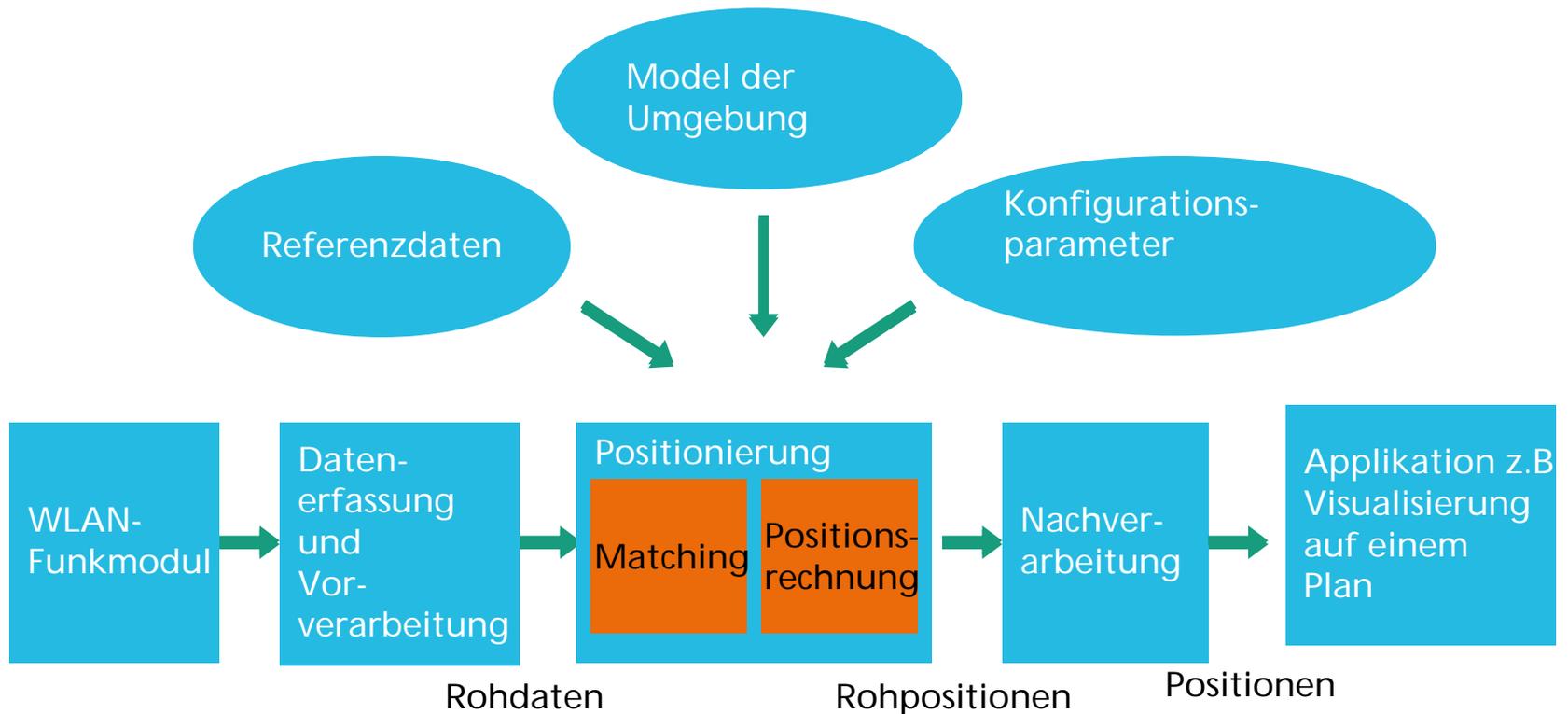


AP MAC	RSS
0010C6215AE9	-45
0010C7345B45	-62
007C243D4456	-82

Signal strength sample
(= reference point)

3. Lokalisierungsverfahren

Architektur Fingerprinting



3. Lokalisierungsverfahren

Messwertvorverarbeitung

- Kalibrierung: Ausgleich von Geräteeigenschaften
 - Statisch über Kalibrierungsfunktion oder -tabelle
 - Dynamisch durch Lernen während der Lokalisierung
- Filterung von Stationen
 - Positiv- oder Negativfilter
 - MAC-Adressen oder Netzwerkkennungen (ESSID)
- Aufbereitung der Signalstärkenwerte
 - Glättung über Zeit: z. B. gleitender Mittelwertfilter, Tiefpass-Filter
 - Prädiktion von Signalwerten: Kalman-Filter
- Ausgleich von fehlenden Messwerten (Stationen)

3. Lokalisierungsverfahren

Matching

Eingabe: Messwert und Referenzdaten

Ausgabe: Bewertete Liste von Referenzpunkten

Aufgabe

- Abgleichen von Messwerten mit Referenzdaten
- Finden der am „besten“ passenden Referenzpunkte

Eingesetzte Verfahren

- Berechnen des Abstands im Signalraum
- RSS-sortierte Liste
- Neuronale Netze

AP MAC	RSS
0010C6215AE9	-45
0010C7345B45	-62
007C243D4456	-82

Aktueller Messwert

RP #3 Position: (2.5, 3.2)	AP MAC	RSS
	0010C6215AE9	-40
	0010C7345B45	-67
	007C243D4456	-79

Referenzpunkt

3. Lokalisierungsverfahren

Matching: Berechnung des Abstands im Signalraum

- Berechnung der RSS-Distanz zwischen Messwert und Referenzpunkten
- Einsatz unterschiedlicher Metriken möglich
Standard: Quadratischer Abstand
- Anzahl und Kennung der Stationen in Messwert und Referenzpunkt können differieren
- Einsatz von Boni / Mali zur Kompensation von fehlenden Stationen üblich

AP MAC	RSS
0010C6215AE9	-45
0010C7345B45	-62
007C243D4456	-82

Aktueller Messwert

RP #3 Position: (2.5, 3.2)	AP MAC	RSS
	0010C6215AE9	-40
	0010C7345B45	-67
	007C243D4456	-79

Referenzpunkt

$$\left(\text{dist}(-45, -40) + \text{dist}(-62, -67) + \text{dist}(-82, -79) \right) / 3$$

3. Lokalisierungsverfahren

Matching: RSS-sortierte Liste

- Sortieren von Messwert und Referenzpunkten nach Signalstärke-Werten
- Vergleich von Ordnungseigenschaften
- Mögliche Kriterien:
 - Position einer Kennung in der Liste
 - Relative Position zweier Kennungen
 - Kennungen im gleichen Cluster
- Vorteil: Verfahren benötigt keine RSS-Kalibrierung

AP MAC	RSS
0010C6215AE9	-45
0010C7345B45	-62
007C243D4456	-82

Aktueller Messwert

RP #3 Position: (2.5, 3.2)	
AP MAC	RSS
0010C6215AE9	-57
0010C7345B45	-79
007C243D4456	-95

Referenzpunkt

(1. = 1. ok
2. = 2. ok
3. = 3. ok)

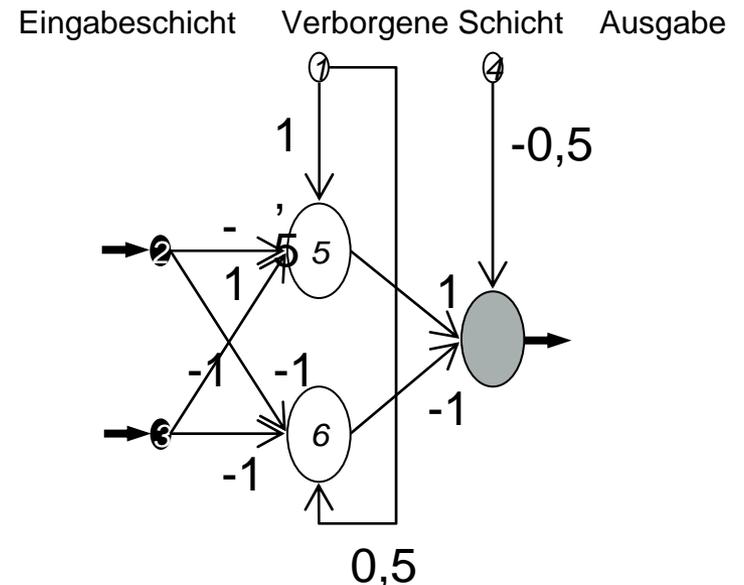
3. Lokalisierungsverfahren

Matching: Neuronale Netze

- Neuronale Netze bilden Strukturen des menschlichen Gehirns nach
- Aufgebaut aus Komponenten: Verarbeitungseinheiten, Eingabeeinheiten, verborgene Schichten, Ausgabeeinheiten

Lernverfahren

- Zu jeder Eingabe wird die korrekte Ausgabe angegeben
- Danach Modifikation des Netzes über Lernregel (Typisch Backpropagation)



Beispiel: Netz zur Darstellung von XOR

3. Lokalisierungsverfahren

Matching: Neuronale Netze (2)

- Eingabewerte: Signalstärke der Access Points (min 3)
- Ausgabewerte: Position (X,Y) oder Aufenthaltswahrscheinlichkeit in einem Sektor
- Aktivierungsfunktion: Logistische Funktion für verborgene Schicht (wegen Nichtlinearität der Signalstärkenfunktion), Identitätsfunktion für Ausgabeeinheiten (Ausgabe der Koordinaten)
- Training des Netzes: mehrere Iterationen mit Trainingsdaten, dabei Verifikation der Genauigkeit mit Testdaten
- Trotz komplexer Signalstärkenverteilung gute Genauigkeit

3. Lokalisierungsverfahren

Positionsrechnung

Eingabe: Bewertete Liste von Referenzpunkten

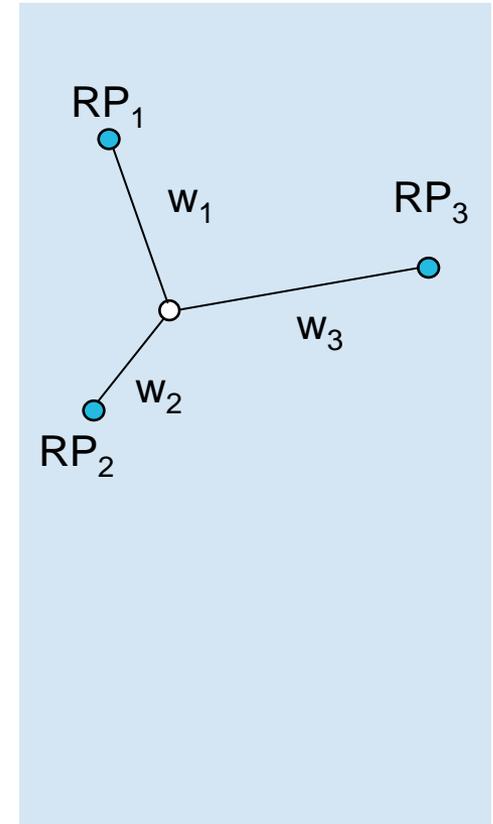
Ausgabe: Position

Aufgabe:

- Berechnen der aktuellen Position

Eingesetzte Verfahren

- Best Candidate
- Weighted Centroid Localization (WCL)
Gewichteter Schwerpunkt der Referenzpunkte
Gewichtete w_n Distanzen aus Matching



3. Lokalisierungsverfahren

Positionsrechnung

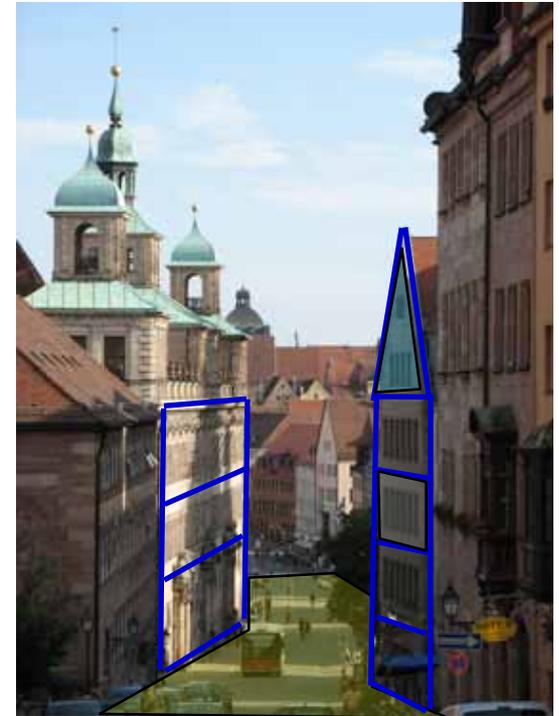
Mögliche Optimierungen:

- Einbeziehen von physikalischen Bewegungsmodellen und Positionsfilttern (z. B. Kalman-Filter)
- Integration mit anderen Lokalisierungsverfahren
- Einbeziehen von Umgebungsmodellen:
Map Matching

3. Lokalisierungsverfahren

Modellierung der Umgebung: Anforderungen

- Potentiell globale Abdeckung, Skalierbarkeit
- Modellierung des Innen- und Außenbereichs
- Integration geeigneter Koordinatensysteme
- Unterstützung logischer Koordinaten
- Möglichkeit zum Hinterlegen von Metadaten und Anwendungsdaten mit Ortsbezug
- Geeignet für Visualisierung (2D/3D), Lokalisierung, Routing, Map Matching
- Integration von Vektor- und Bilddaten
- Exportierbarkeit in andere Formate



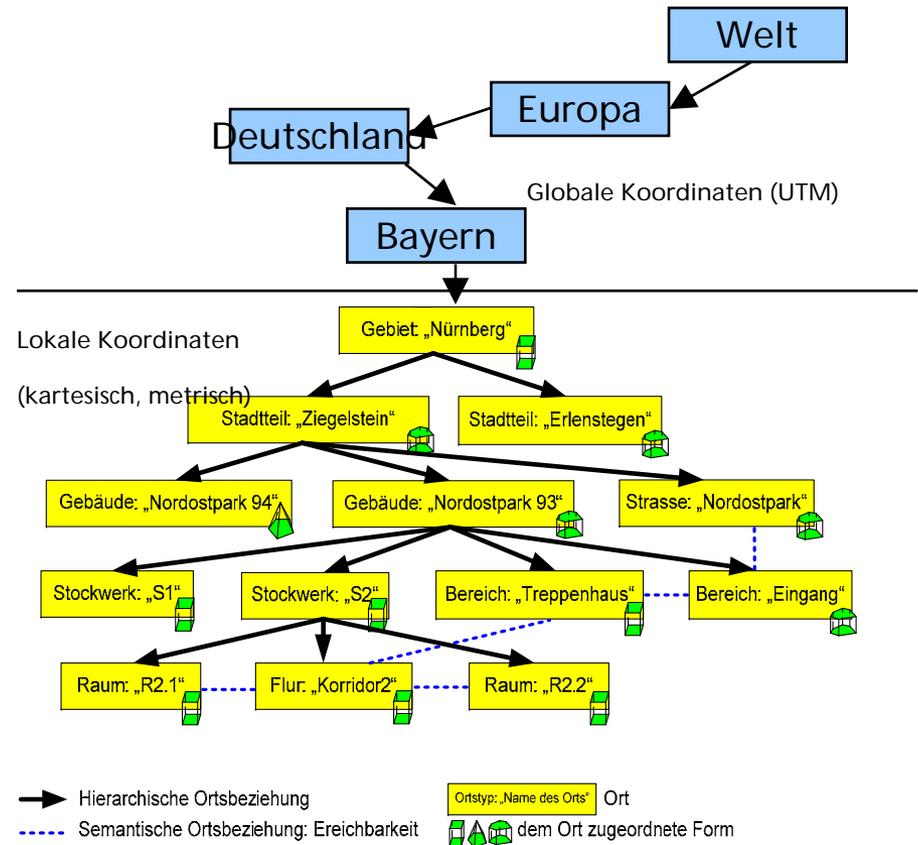
3. Lokalisierungsverfahren

Beispiel: Umgebungsmodell des Fraunhofer IIS

- Hierarchische Struktur
- Implizite globale Bezeichner
- Definition der Funktionalität, nicht des Formats
- Java-Bibliothek

Drei Ebenen:

- Logische Ebene
- Geometrische Ebene
- Inhaltliche Ebene



3. Lokalisierungsverfahren

Optimierungsansätze

Steigerung der Performanz:

- Eingrenzung der Referenzpunkte beim Matching durch Vorauswahl
 - Geographische Nachbarn
 - Einbeziehen von Umgebungsinformationen
 - Ausnutzen von Bewegungsmodellen
- Einsatz von getrennten Verfahren für Initialisierung und kontinuierliche Positionierung
 - Initialisierung: Cell-Id oder Triangulation
 - Kontinuierliche Positionierung: Fingerprinting

3. Lokalisierungsverfahren

Stärken und Schwächen

	Trilateration	Fingerprinting
Benötigte Informationen	Positionen der Sender	Referenzdaten
Installationsaufwand	niedrig, falls Positionen der Sender bekannt	mittel
Genauigkeit Freifeld / Stadt / Gebäude	+ / o / --	o / + / ++
Skalierbarkeit für große Flächen	gut	mittel
Robustheit gegen Änderung der Infrastruktur	gut	neue Stationen: gut verschwundene S. : schlecht
Typisches Anwendungsszenario	Hallen, Städte	Innenbereich, Städte

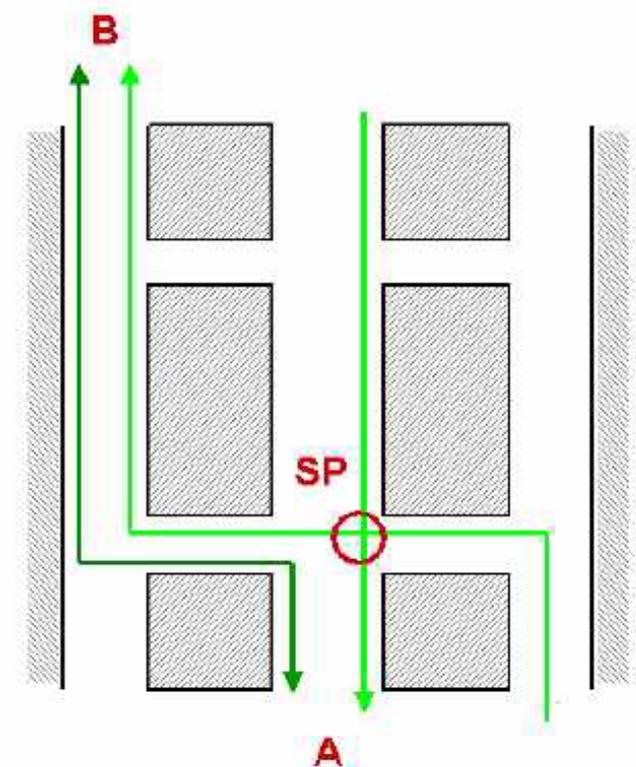
3. Lokalisierungsverfahren

Exkurs: Ortsabhängigkeit ohne Lokalisierung

- Verfahren, deren Ergebnisse keine Koordinaten sind
- Direkter Bezug zwischen Messwerten und Anwendung

Beispiele:

- Erkennung von Nachbarn durch Peer-to-Peer Signalstärke
- Positionsloses RSS Fingerprinting
- Navigation ohne Lokalisierung: Buddy Finder



3. Lokalisierungsverfahren

Überblick Lokalisierungsarchitekturen

	Autark	Assistiert	Netzseitig
Messwertaufnahme	Endgerät	Endgerät	Basisstation
Positionsberechnung	Endgerät	Server	Server
Kommunikation	keine	notwendig	notwendig
Netzzugang	nicht nötig	für Kommunikation	nötig
Software	Endgerät	Endgerät + Server	Server
Typische Anwendungen	Führungssysteme, Informationssysteme	Einsatzleitsysteme, Assistenzsysteme	Warenverfolgung, Überwachung
Lokalisierungssysteme	Fraunhofer awiloc™ Mobile Locator	Ekahau WPS, Skyhook WPS	Systeme der Infrastruktur-Hersteller

Autarke Lokalisierung

Autarke Lokalisierung in Städten und Gebäuden

- WLAN-Netze sind im innerstädtischen Bereich fast flächendeckend (in vielen Bereichen) mit starker Überabdeckung vorhanden.
- Neben offiziellen, festen Hotspots existieren zahlreiche private (nicht zugängliche) Netze. Auch diese können zur Ortung verwendet werden.

Probleme:

- Großflächiges Territorium
- Stationen können nur zeitweise in Betrieb sein
- Stationen verschwinden ohne Vorwarnung
- neue Stationen kommen hinzu

Autarke Lokalisierung

Herausforderungen

Ressourcenbeschränktheit der Endgeräte

- Hohe Zahl an Stationen
- Initialisierung auf dem Endgerät
- Performante Nachladestrategien nötig

Unterschiedliche Bedingungen

- Innenstadt, Wohngebiete, Parks
- Öffentliche Gebäude
- ÖPNV: U-Bahn, Tram, Bus
- Fußgänger, Radfahrer

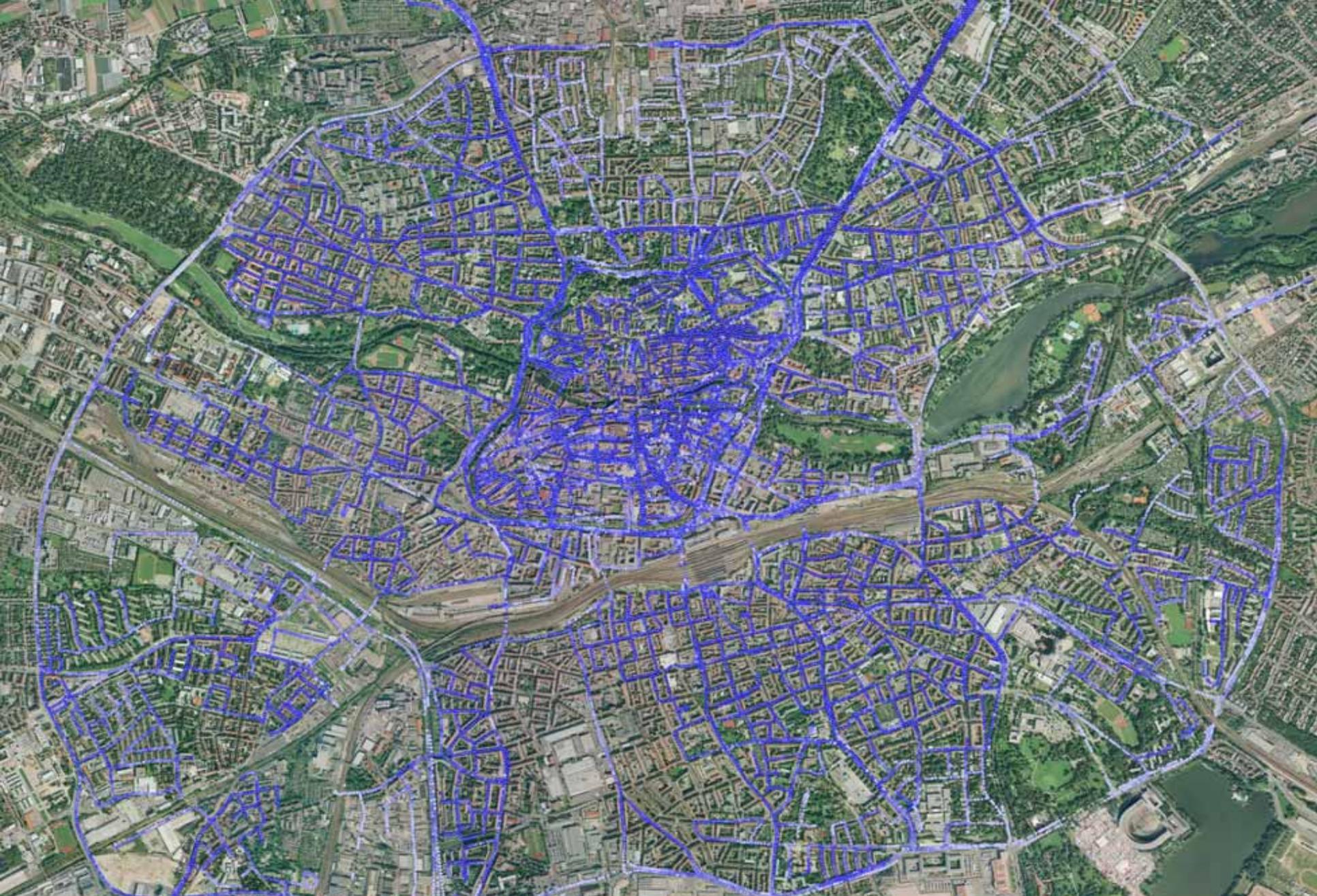




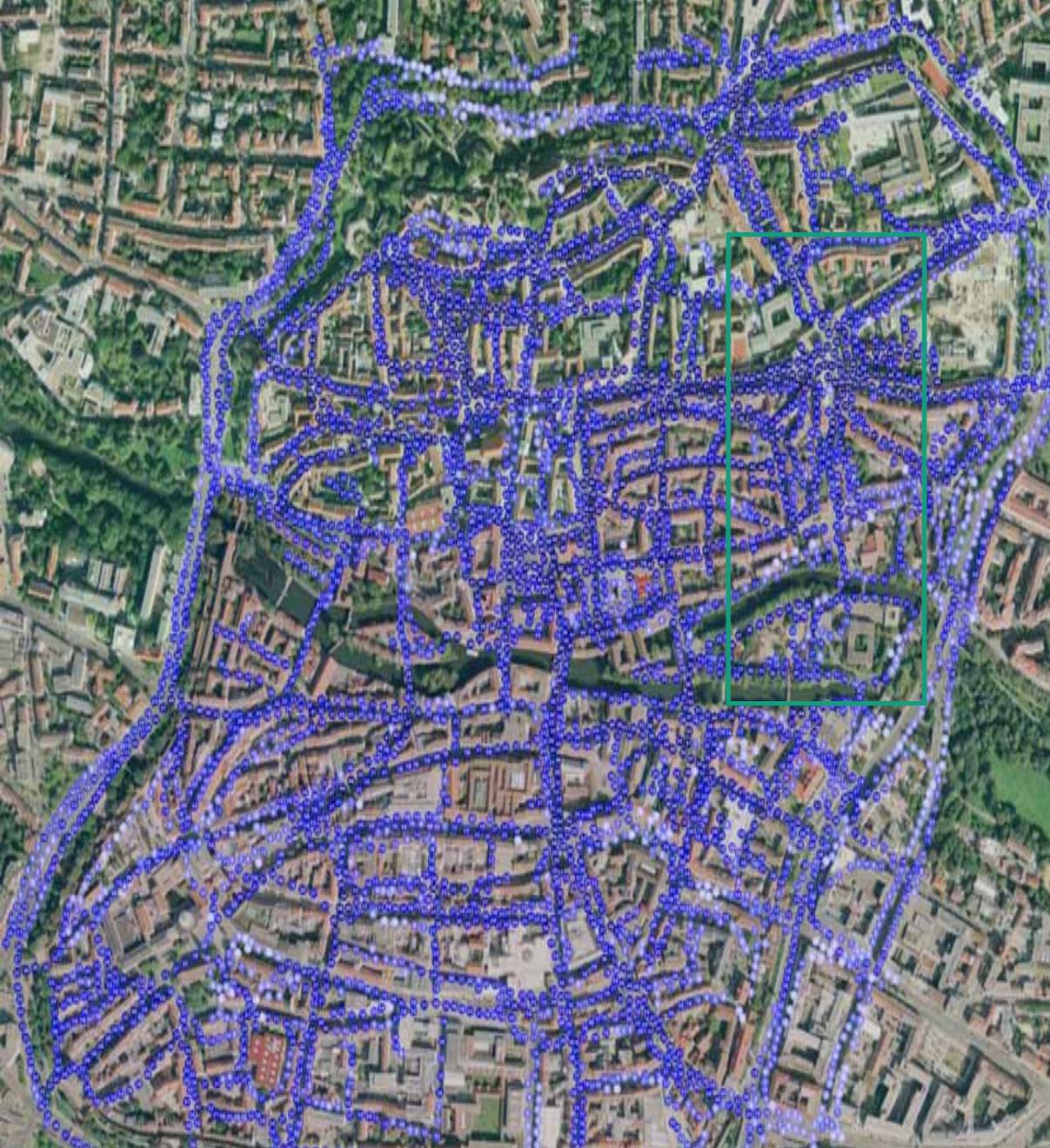
Testumgebung Nürnberg

Fläche: 50 km²
 Einwohner: 750,000
 Einwohner im
 Testgebiet: 450,000
 Besucher: 1 Million/Jahr





Aktuelle Testumgebung:
25 qKm Fläche mit 25.900 Messpunkten und 29.522 Stationen (Nov. 2008)

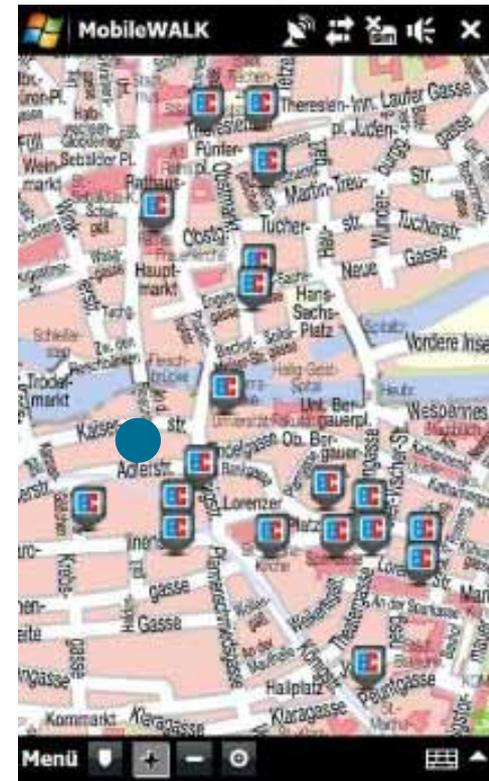


Detailzoom Innenstadt Nürnberg

4. Anwendungen

Mobiles Informationssystem Mobile Walk

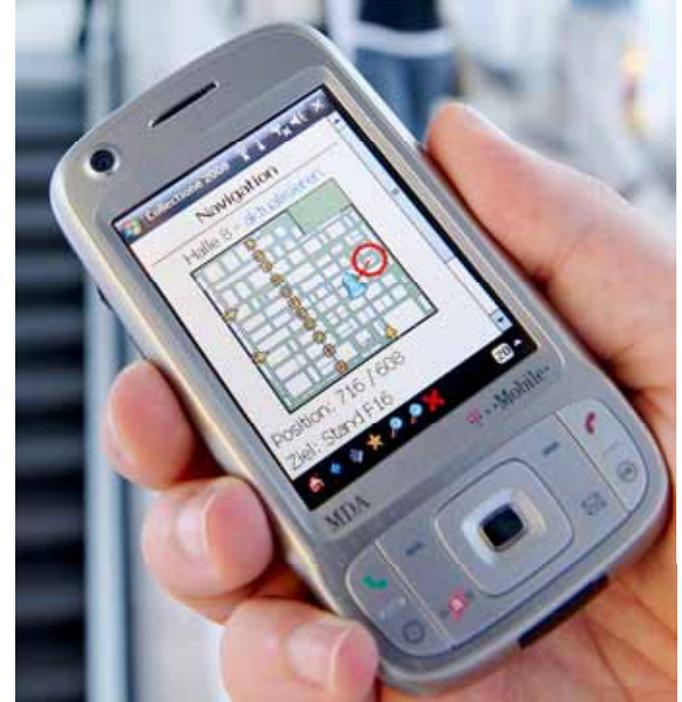
- Stadtinformationssystem mit Lokalisierung auf Basis von WLAN RSS Fingerprinting
- Autarke Anwendung auf dem Endgerät
- Möglichkeit der Suche nach POIs: Restaurants, Apotheken, Geldautomaten..
- Integriertes Modul Car Finder zum Wiederfinden des eigenen Fahrzeugs
- Verfügbar für Nürnberg / Fürth / Erlangen
- Ausbau auf Berlin, Hamburg, München im Gange



4. Anwendungen

Mobiler Messeführer Messe Guide

- Basistechnologie WLAN:
Autarkes RSS Fingerprinting
- Autarke Applikation auf dem Endgerät:
Einmal herunterladen, keine
GSM/UMTS Verbindung nötig.
- Suche nach Ausstellern und
interessanten Orten in der Umgebung
- Komplettes Messegelände mit
mehrstöckigen Messehallen und
Außenbereichen integriert



4. Anwendungen

Lokalisierung von Sicherheitspersonal

- Sicherheitspersonal in Bahnhöfen, Flughäfen, U-Bahn, öffentlichen Gebäuden
- Lokalisierung durch GSM / WLAN
RSS Fingerprinting
- Nutzung vorhandener Infrastruktur
- Unterstützung vieler Ebenen
- Durchgängige Unterstützung von GPS-Koordinaten Innen und Außen
- Integration ins Einsatzleitsystem



4. Anwendungen

Mit dem iPod durchs Museum

Europa-Premiere im Museum Industriekultur Nürnberg

- Mobiles Multimedia-Führungssystem mit awiloc®
- Gerät erkennt und zeigt Besucherstandort und bietet die passenden Zusatzinformationen zu den umliegenden Ausstellungsstücke an



Quelle/Fotograf: Guido Gesell



Quelle/Fotograf: Guido Gesell

4. Anwendungen

REPKA – Regionale Evakuierung

- Regionale Evakuierung einer großen Menschenmenge
- Entwicklung und dynamische Anpassung von Evakuierungsplänen mit Hilfe von Simulation und Optimierung
- Erheben von realen Bewegungsdaten
- Erstellung eines individuellen Leitsystems
- Reales Szenario: Betzenberg, Kaiserslautern
- Partner: TU Kaiserslautern, Siemens, Fraunhofer IIS, IT2media



5. Zusammenfassung

- Die Signalstärken-basierte Lokalisierung ermöglicht eine kostengünstige, kontinuierliche Positionsbestimmung im Innen- und Außenbereich mit einer Genauigkeit von wenigen Metern.
- Die Abdeckung mit zellularen Netzen – insbesondere Mobilfunk und WLAN – in (Innen-) Städten wächst stetig.
- Signalstärken-basierte Lokalisierung ist eine gute Basis für ortsabhängige Anwendungen in städtischen Gebieten und Gebäuden.



Literatur

- Bahl, Paramvir und Venkata N. Padmanabhan: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. Technischer Bericht, Microsoft Research, 2000
- Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello: Location Systems for Ubiquitous Computing, IEEE Computer, 34:8(2001), 57-66
- Meyer, Vaupel: WI-FI Coverage and Propagation for Localization Purposes in Permanently Changing Urban Areas. Proceedings, IADIS International Conference Wireless Applications and Computing, 2008
- Kaemarungsi, Kamol: Distribution of WLAN Received Signal Strength Indication for Indoor Determination. <http://www.ieee.org/>, 2006

SIGNALSTÄRKE-BASIERTE LOKALISIERUNG- BASIS FÜR ORTSABHÄNGIGE DIENSTE

Steffen Meyer, Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS

