



# FAPS

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke

Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung  
und Produktionssystematik

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



## SmartLocate - Indoor-Personenlokalisierung mittels Smart-Phone-Sensorik und Bluetooth- Beacons

Jupiter Bakakeu, Jochen Bauer, Thomas Braun, Moritz Hein,  
Michael Hopfengärtner, Benedikt Maußner, Maximilian Wittmann,  
Jörg Franke

# Das E|Home-Center erforscht Lösungen für selbstbestimmtes, intelligentes Wohnen unter Berücksichtigung von Ökonomie, Ökologie und sozialem Bedarf.

## Unser Auftrag:

- Forschung und Entwicklung für das ressourcenschonende, intelligente Wohnen von morgen
- Installation und Anwendung der Entwicklungen mit dem Fokus auf Bestandsbauten
- Ausbildung von Studenten für die interdisziplinären Aufgabenstellungen im Wohnungsbau
- Information und Beratung der Öffentlichkeit zur Schaffung von Akzeptanz neuer Technologien



**Der Vortrag gliedert sich in einer für die Ingenieurwissenschaft üblichen Weise.**

- 1. Herausforderung und Motivation**
- 2. Positionierung und Strategien zur Positionsermittlung**
- 3. Lösungsansatz SmartLocate**
- 4. Ergebnisse und Ausblick**

**Der Vortrag gliedert sich in einer für die Ingenieurwissenschaft üblichen Weise.**

- 1. Herausforderung und Motivation**
- 2. Positionierung und Strategien zur Positionsermittlung**
- 3. Lösungsansatz SmartLocate**
- 4. Ergebnisse und Ausblick**

**Die Positionsermittlung erfolgt im Außenbereich via GPS, welches innerhalb von Gebäuden leider nicht zur Verfügung steht.**

### **Existierende Lokalisierungsverfahren im Indoor-Bereich:**

- Elektromagnetische Verfahren
  - Akustische Verfahren
  - Optische Verfahren
- 
- Starke Variation der Anschaffungs- und Installationskosten [1]



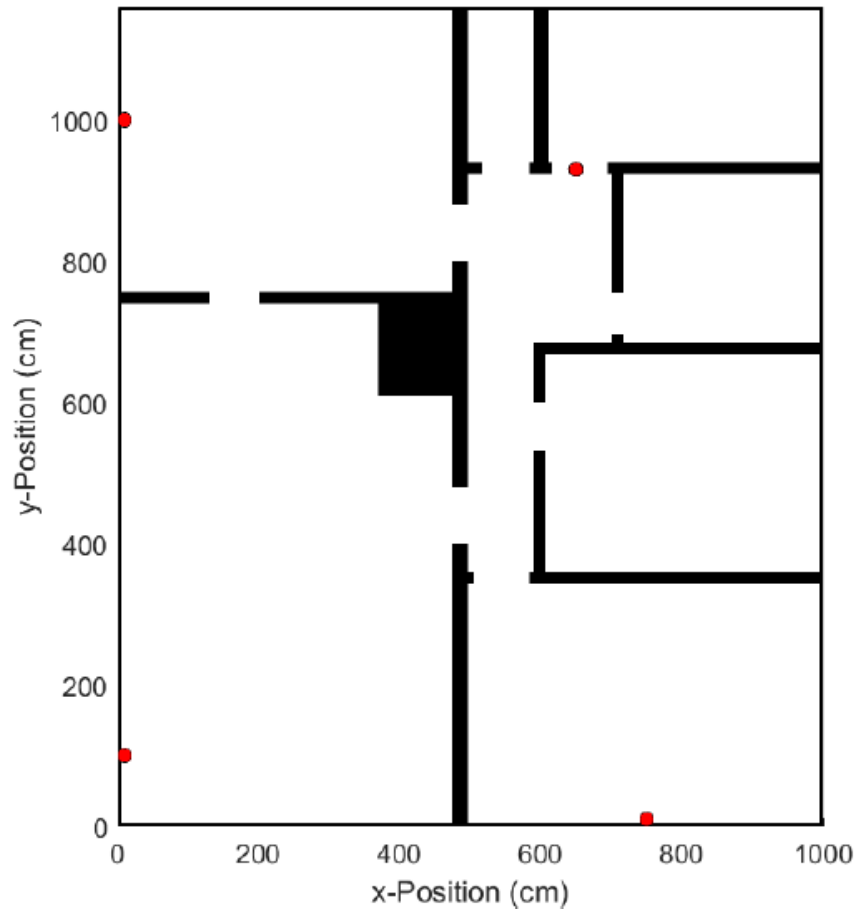
**ZIEL:**

**Entwicklung eines kostengünstigen, robusten und akkuraten Indoor-Lokalisierungsverfahrens für Android-Geräte mit Bluetooth-Beacons**

**Der Vortrag gliedert sich in einer für die Ingenieurwissenschaft üblichen Weise.**

- 1. Herausforderung und Motivation**
- 2. Positionierung und Strategien zur Positionsermittlung**
- 3. Lösungsansatz SmartLocate**
- 4. Ergebnisse und Ausblick**

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Indoorlokalisierung besteht oftmals darin, dass ein Grundriss existiert.



### Wohnungsabmessungen

- Breite: 10 m
- Höhe: 11,6 m

Die schwarzen Bereiche der Abbildung repräsentieren die Hindernisse und Wände des Grundrisses. Die roten Kreise stellen die Positionen der vier Beacons dar.

Abbildung 1: Grundriss der verwendeten Wohnung

Im Rahmen der Positions- und Bewegungsermittlung kommt man mit zahlreichen Koordinatensystemen in Berührung.

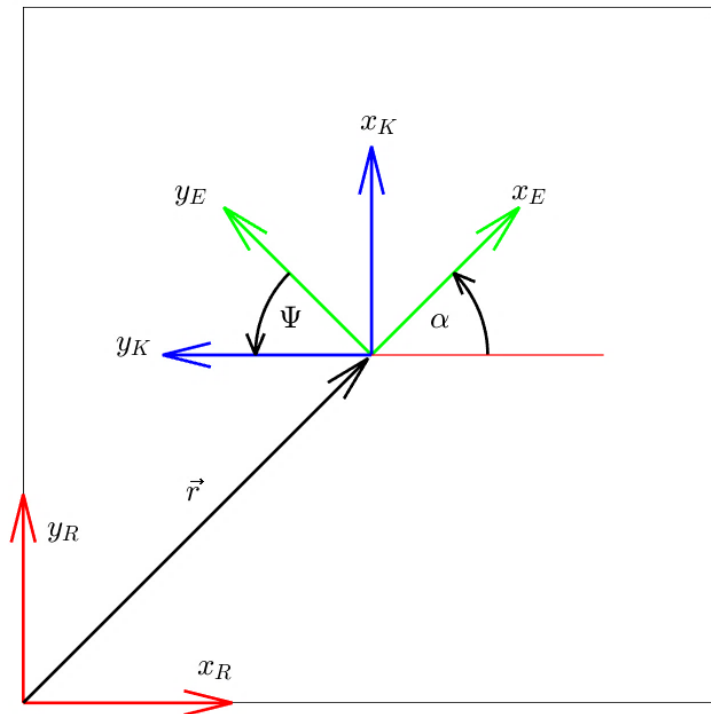


Abbildung 2: R-, E- und K-Koordinatensystem

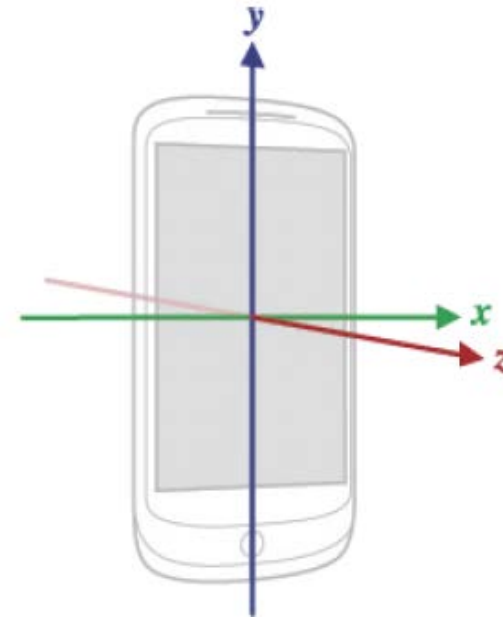


Abbildung 3: G-Koordinatensystem



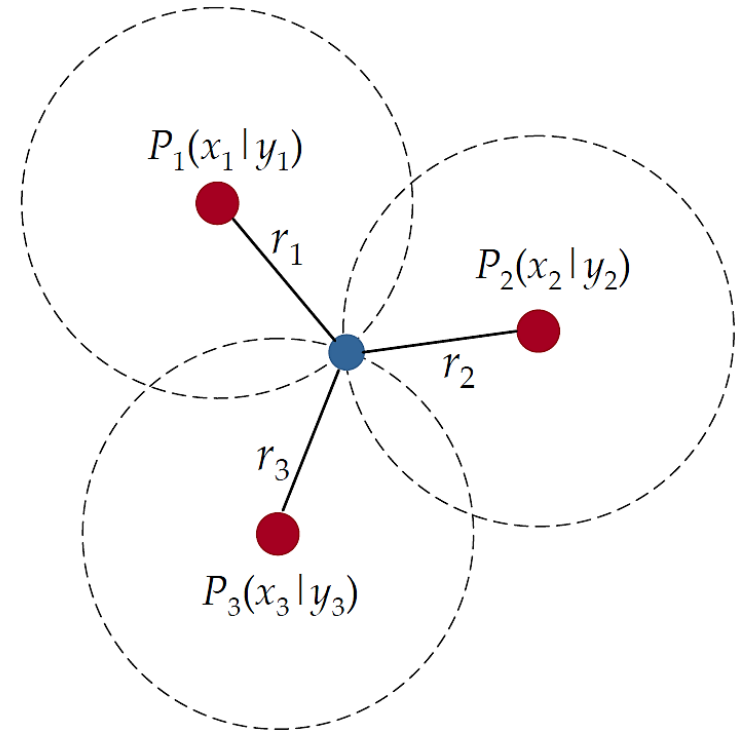
**Das Multilaterationsverfahren benötigt zur Positionsermittlung im 3D-Raum mindestens vier Referenzpunkte mit bekannter Position.**

### **Charakteristika der Multilateration**

- **Lokalisierung von Fahrzeugen, Personen, und Schiffen im Außenbereich via GPS**
- **Distanz zwischen Referenzpunkt und zu lokalisierendem Objekt liefert nichtlineares Gleichungssystem**
- **Trilateration als Spezialfall der Multilateration**

**Möglichkeiten zur Ermittlung der Distanz zwischen Objekt und Referenzpunkt:**

- **Time of Arrival**
- **Time Difference of Arrival**
- **Received Signal Strength**
- **Proximity/Cell-ID**
- **Fingerprinting**

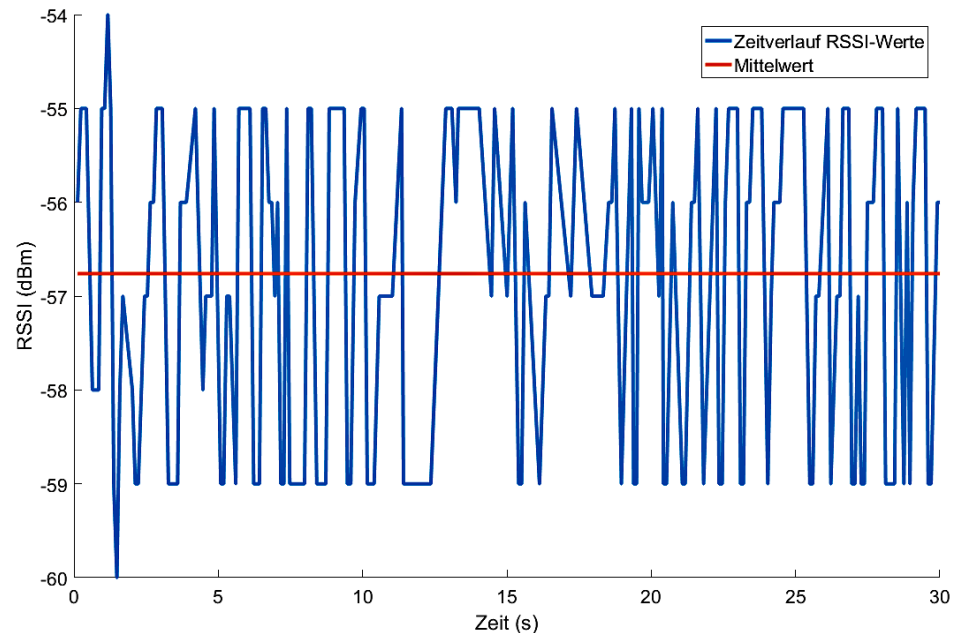


*Abbildung 4: Prinzip der Trilateration*

**Bluetooth-Beacons senden periodisch ein Bluetooth-Signal, eine eindeutige ID des sendenden Beacons wird dabei mitübertragen.**



*Abbildung 5: Beacon (2nd Gen)*



*Abbildung 6: Typisches RSSI-t-Diagramm im Außenbereich bei 1,5 m Abstand, zeitliche Auflösung im Mittel ca. 150 ms*

- **Zugriff auf ID, Signalstärke und Signalleistung über Android-API**
- **Verwendung von vier baugleichen Beacons der Firma Beaconinside**

**Die Kombination aus Proximity-, Fingerprinting-, Map-Matching- und Koppelnavigationsverfahren in Verbindung mit einem Partikelfilter ist sinnvoll.**

### ***Lokalisierungsverfahren im Indoor-Bereich:***

#### **Proximity-Verfahren**

- Referenzpunkte senden Signale aus
- Signale werden vom Objekt empfangen und jedem Referenzpunkt eindeutig zugeordnet

#### **Fingerprinting-Verfahren**

- Empfangene Signalstärke von WLAN-Hot-Spots oder Bluetooth-Sendern wird gewissen Positionen zugeordnet
- Diese wird für die Lokalisierung herangezogen, um die Position zu ermitteln

#### **Map-Matching-Verfahren**

- Verfahren erkennt die real möglichen Positionen im Raum auf Basis der Karte.

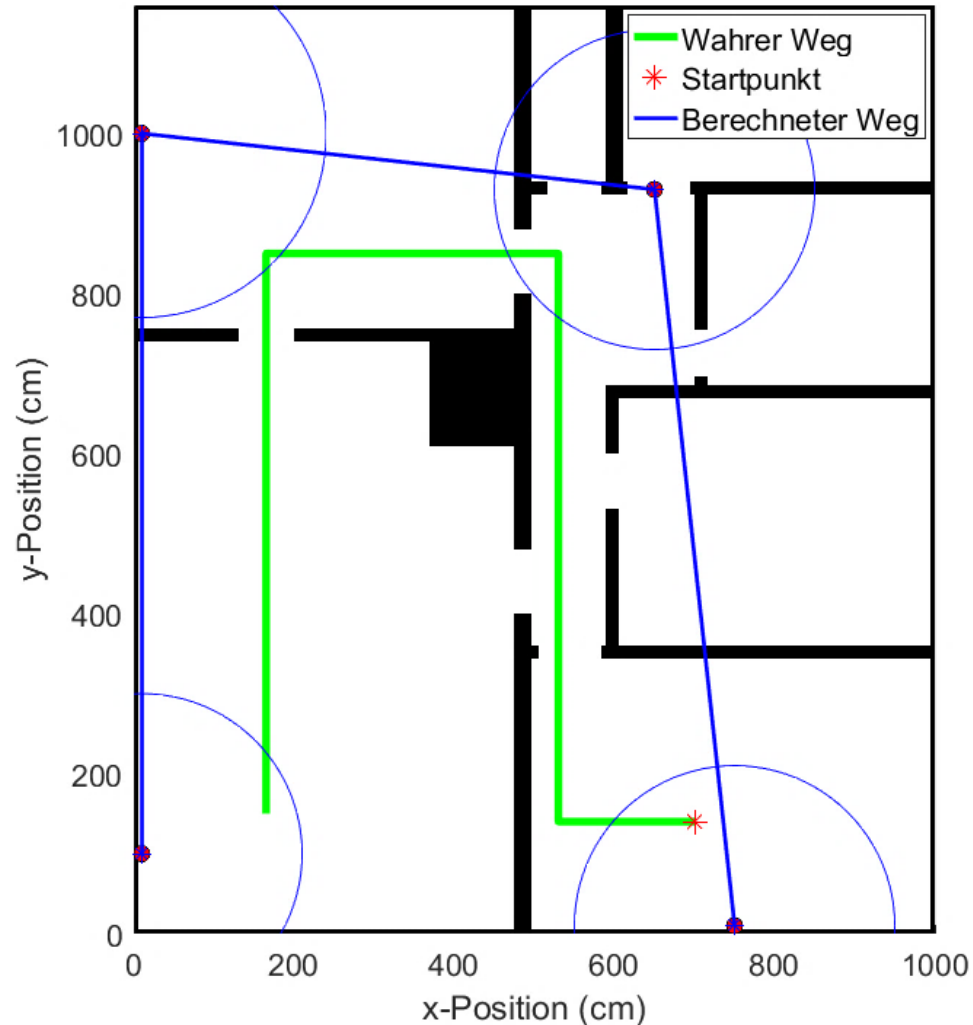
#### **Koppelnavigationsverfahren**

- Positionsberechnung ausgehend von der letzten bekannten Position zurückgelegten Strecke.

#### **Partikelfilter**

- Dichtefunktion wird durch Vielzahl an Partikel angenähert
- Mit steigender Partikelanzahl erhöht sich die Genauigkeit der Approximation

Das Proximity-Verfahren arbeitet zwar robust, es kann allerdings nur eine Aussage zu einem begrenzten Bereich rund um das Beacon treffen.



## Proximity-Verfahren

### Vorteil:

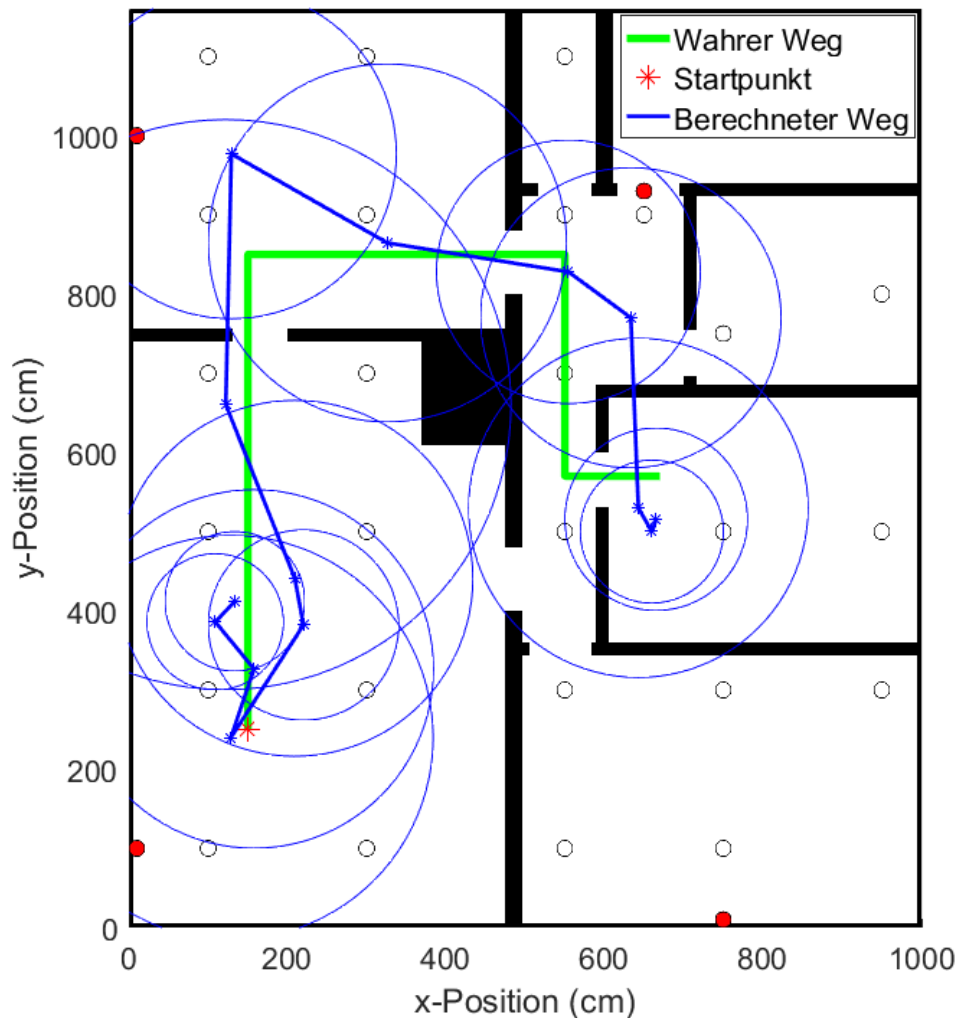
- Robuste Positionszuordnung bei geeignetem Schwellwert (0,5 m – 2 m)

### Nachteil:

- Akkurate Bestimmung nur innerhalb eines kleinen Bereichs (2 m um Beacon)

Abbildung 7: Testlauf des Proximity-Lokalisierungsverfahrens

Das Fingerprinting-Verfahren ermittelt die Nutzerposition zuverlässig, allerdings muss bei veränderten Rahmenbedingungen neu justiert werden.



## Proximity-Verfahren

### Vorteil:

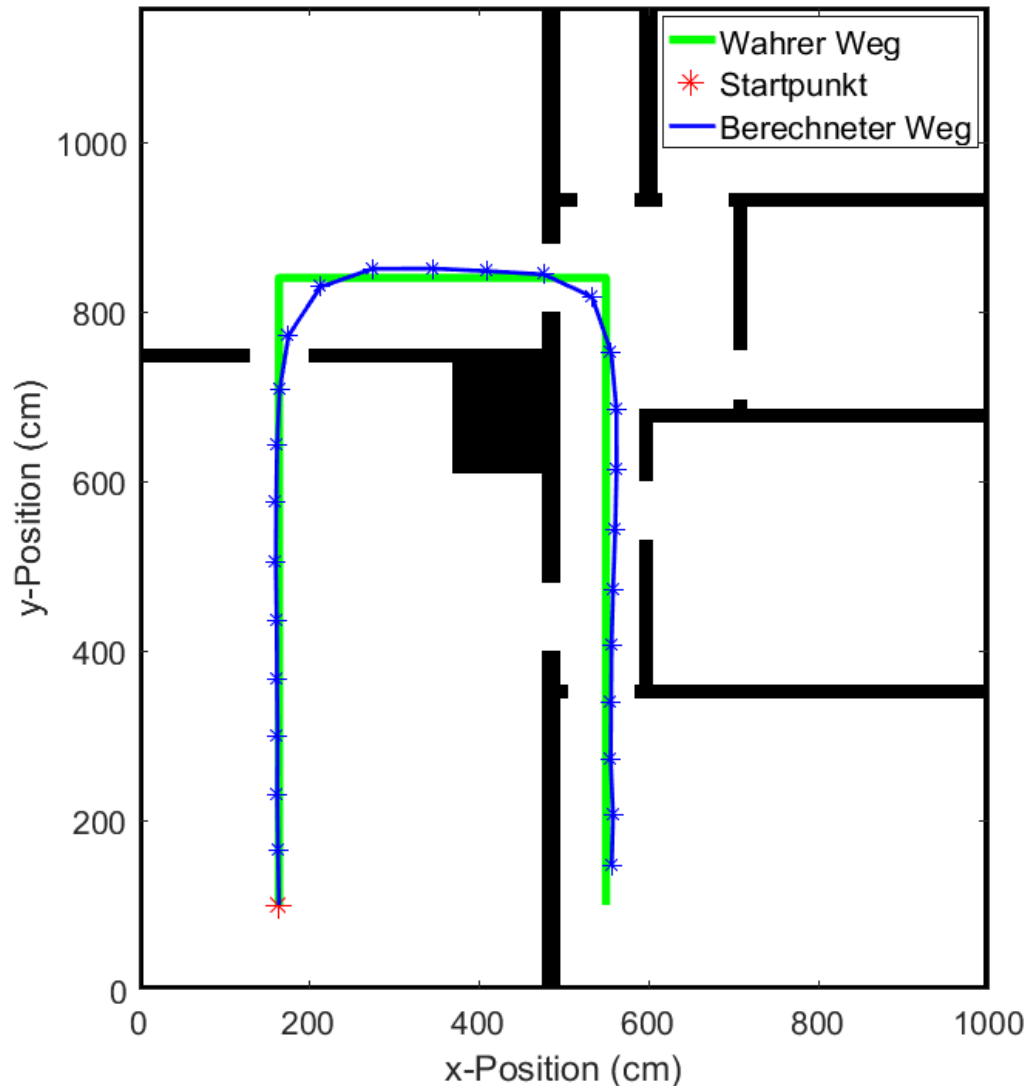
- Erreichbare Genauigkeit übertrifft die des Multilateration-Verfahrens

### Nachteil:

- Mensch beeinflusst RSSI
- Signal wird asynchron am Mobilgerät empfangen

Abbildung 8: Fingerprinting mit Positionsmittelung (schwarze Kreise: Offline-Positionen)

Das Koppelnavigationsverfahren nutzt einen Startpunkt, die Smartphone-Sensorik und stellt Bewegungsrichtung, Schrittzahl und Länge fest.



### Weinberg-Verfahren (Bsp. eines dyn. Verfahrens)

#### Vorteil:

- Akkurate Bestimmung der relativen Positionsänderung

#### Nachteil:

- Startposition muss vorgegeben sein
- Fehler pflanzt sich fort

Abbildung 9: Testlauf Lokalisierungsverfahren mit Android-Sensoren

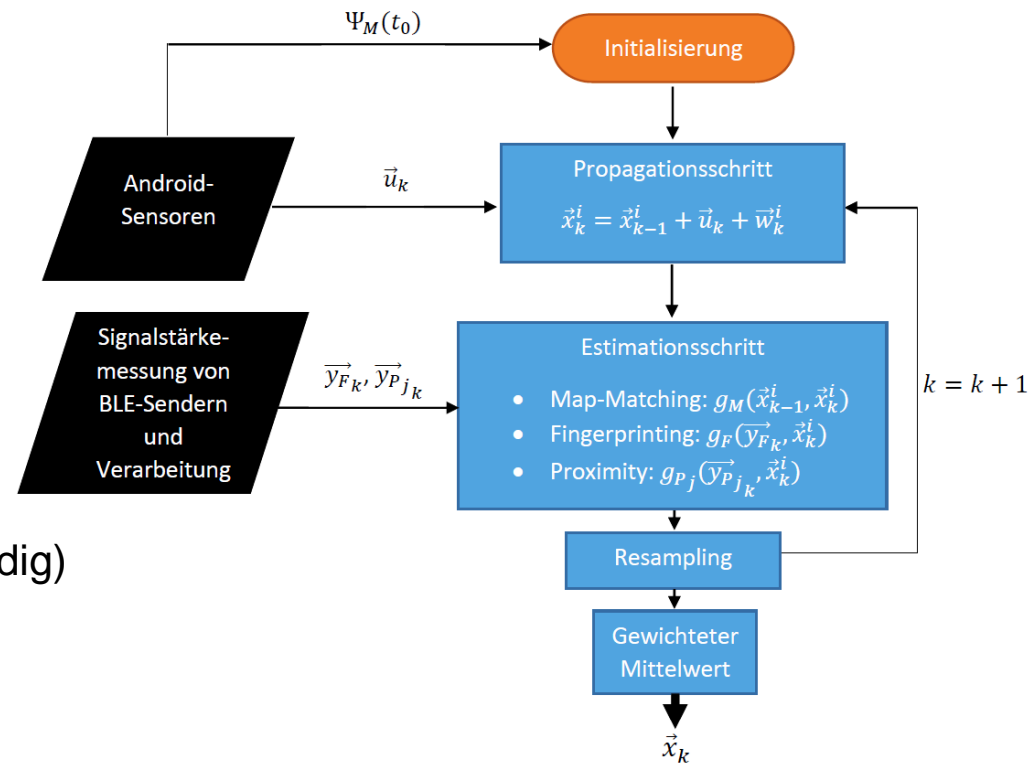
Um eine signifikante Verbesserung der Ergebnisse der vorgestellten Einzelverfahren zu erzielen, wurde ein kombinierter Ansatz gewählt.

## Charakteristika der sequenzielle *Monte-Carlo-Methode*

- Je mehr Partikel verwendet werden, desto genauer kann die Dichtefunktion angenähert werden

- Einfachster Partikelfilter:

**Bootstrap-Filter** (2 Modelle notwendig)



## 3 Schritte des Partikelfilters:

- (1) **Propagationsschritt**
- (2) **Estimationsschritt**
- (3) **Resampling**

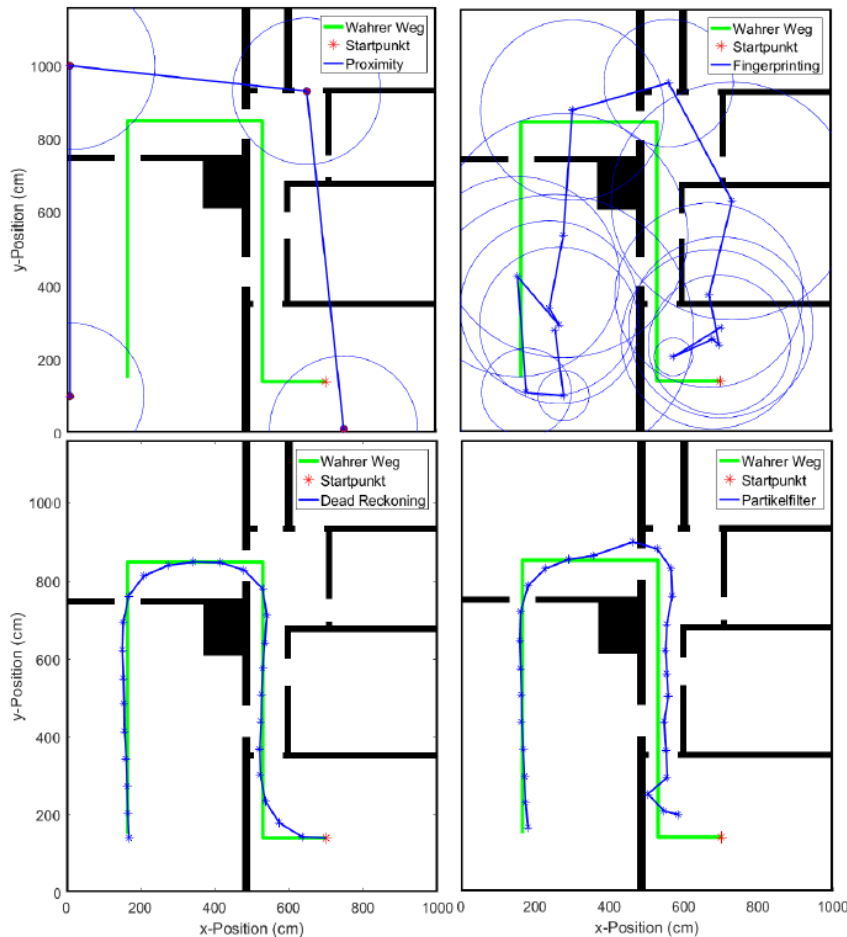
Abbildung 10: Schematisches Ablaufdiagramm des Partikelfilteralgorithmus

**Der Vortrag gliedert sich in einer für die Ingenieurwissenschaft üblichen Weise.**

- 1. Herausforderung und Motivation**
- 2. Positionierung und Strategien zur Positionsermittlung**
- 3. Lösungsansatz SmartLocate**
- 4. Ergebnisse und Ausblick**



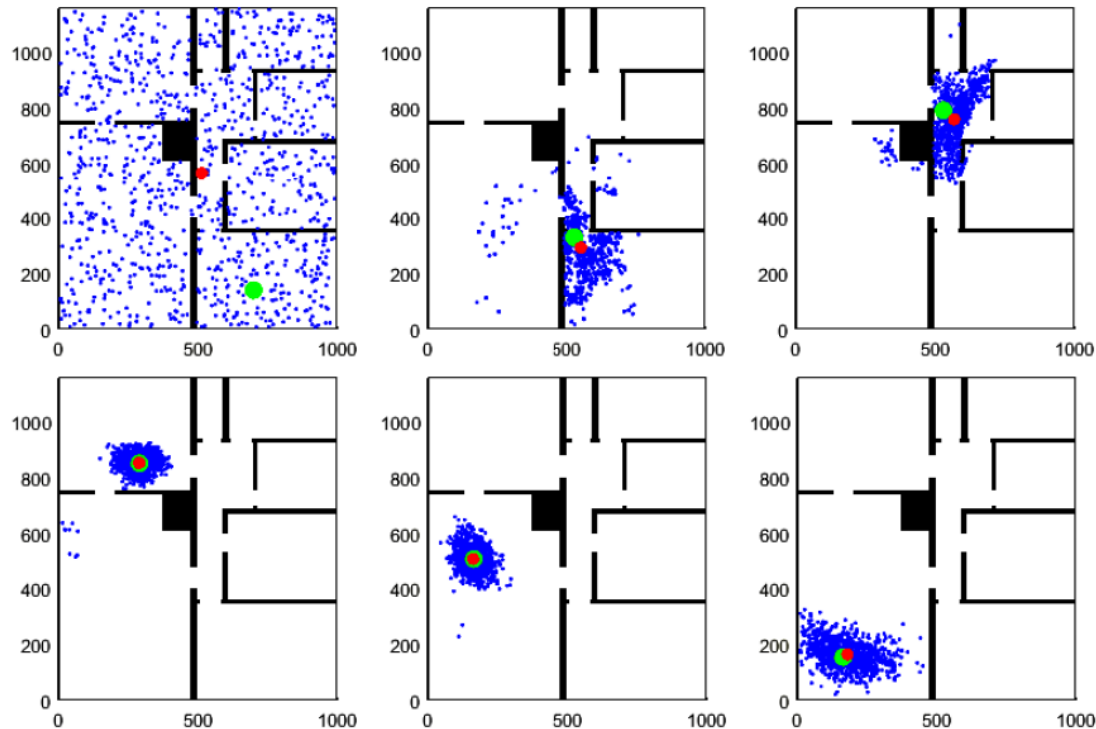
Durch die Kombination der einzelnen Lokalisierungsverfahren mit Hilfe des Partikelfilters lässt sich eine deutliche Verbesserung erzielen.



- Der entwickelte Partikelfilteralgorithmus bietet eine höhere Genauigkeit und Stabilität der berechneten Positionen
- Der Algorithmus basiert auf *Inertialsensorik, Fingerprinting* und *Map-Matching*

Abbildung 11: Vergleich Partikelfilter mit anderen Lokalisierungsverfahren für eine typische Testsequenz; links oben Proximity-Verfahren, rechts oben Fingerprinting-Verfahren, links unten Dead-Reckoning-Verfahren, rechts unten Partikelfilter

Am Anfang ist jeder Zustand im Raum möglich, dann verdichten sich die Partikel an den wahrscheinlichen Nutzerpositionen.



- Map-Matching führt zu einer sehr guten und schnellen Approximation des wahren Zustandes

Abbildung 12: Partikelverteilung für die Testsequenz aus Abbildung 28  
rechts unten (blaue Punkte: einzelne Partikel, roter Kreis:  
geschätzter Zustand, grüner Kreis: wahrer Zustand)

Der Partikelfilter ermöglicht eine akkurate Bestimmung sowohl der absoluten Position als auch der relativen Orientierungs- und Positionsänderungen.

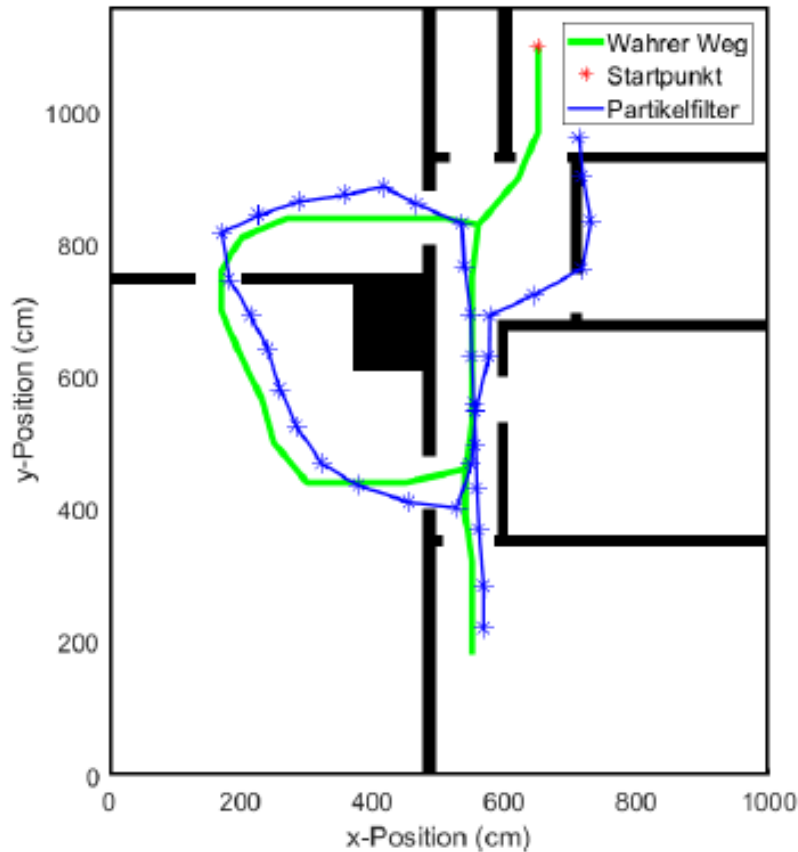


Abbildung 13: Anwendung des Partikelfilters für 6 Testmessungen

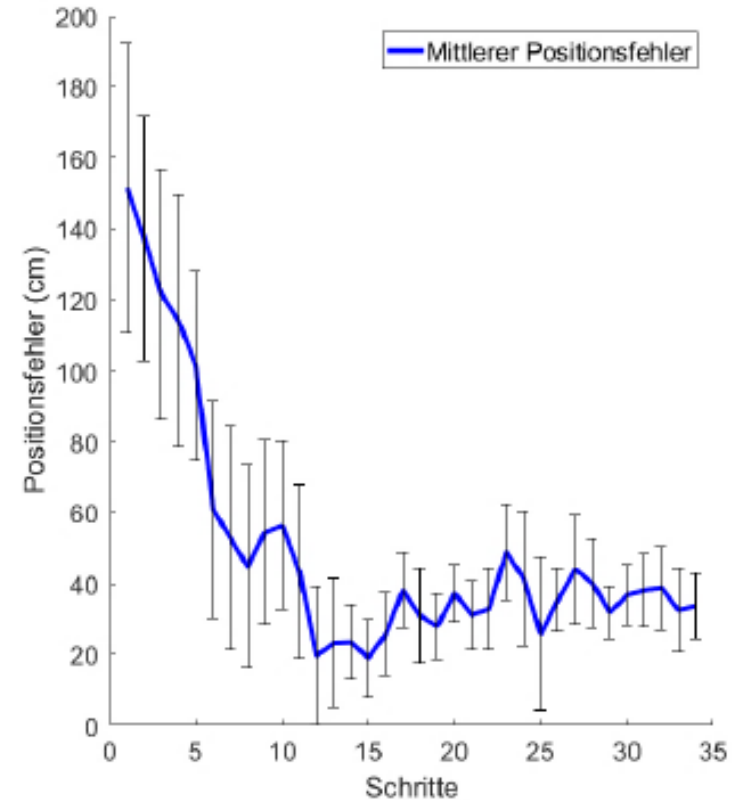


Abbildung 14: Mittlerer Positionsfehler des Partikelfilters

Der vorgestellte Ansatz der Lokalisierung mit Partikelfilter birgt einen vielversprechenden Ansatz zur Indoorlokalisierung von Personen.

## Zusammenfassung der untersuchten Lokalisierungsverfahren

- Proximity-Verfahren
- Fingerprinting-Verfahren
- Dead Reckoning-Verfahren

Bei der alleinigen Verwendung der Methoden konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse generiert werden!

**Entwicklung einer Kombination der verschiedenen Methoden mittels eines Partikelfilters:**

Ergebnisse & Vorteile der **sequenziellen Monte-Carlo-Methode**

- Sehr hohe erreichbare *Genauigkeit*  
→ Genauigkeit von 50 cm im verwendeten Gebäudegrundriss
- *Robustheit* und einfache *Erweiterbarkeit* des Partikelfilters
- Geringe *Anschaffungs- und Installationskosten* der BLE-Sender  
→ kostengünstige und gleichzeitig akkurate Echtzeit-Lokalisierung

## Literaturverzeichnis

[1] Hopfengärtner, M.: Entwicklung eines Indoor-Lokalisierungsverfahrens mittels Bluetooth und Inertialsensorik für Smartphones, Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2016

