

# Skalierende Indoor Positionierung mit Smartphones zur Kontexterkennung

Lennart Bartelt

*lennart.bartelt@haw-hamburg.de*

Hamburg University of Applied Sciences,  
Dept. Computer Science,  
Berliner Tor 7  
20099 Hamburg, Germany

## 1 Einleitung und bisherige Arbeit

Um standortbezogene Dienste in Innenräumen anbieten zu können, muss eine zuverlässig verfügbare Positionierung in Gebäuden gewährleistet werden. Für eine breite Verfügbarkeit und eine einfache Integration in bestehende Systeme bietet es sich an, auf vorhandene Infrastruktur zu setzen. Smartphones bilden dank ihrer hohen Verbreitung und umfangreichen Sensorik dabei eine ideale Grundlage. Bis heute ist die Ortung von Smartphones in Innenräumen für Endkunden allerdings nicht zufriedenstellend gelöst [YWZ<sup>+</sup>15]. Während die Positionierung in Außenarealen dank GPS ohne größere Probleme möglich ist, lässt sich das gleiche Ziel in Gebäuden nur ungleich schwerer erreichen [ETZ05].

Im Rahmen des Hauptseminars wurden bereits Anwendungsgebiete von Standortdiensten identifiziert. So ist zum Beispiel der Smart-Home-Bereich und die diesen Bereich unterstützende Kontexterkennung eine Möglichkeit, Indoorpositionierung einzusetzen. Auch lassen sich die Navigation zum Auffinden von Meetingräumen innerhalb von Büros, Anwesenheitskontrollen oder die Unterstützung in öffentlichen Gebäuden von Bahnhöfen und Flughäfen über Einkaufszentren bis hin zu Führungen in Museen durch eine funktionierende Ortung realisieren. [Bar15a]

Die Ziele der bisherigen Arbeiten im Grund- und Hauptseminar sowie dem Grundprojekt waren zum einen, ein Verständnis über die Möglichkeiten, in Form der grundsätzlich zu erreichenden Genauigkeit und Verfügbarkeit der gewählten Technologie, zu erhalten. Hierbei wurde als Anforderung an das System herausgearbeitet, dass eine Kontexterkennung ermöglicht werden soll und hierfür eine Genauigkeit von einigen Metern (im Folgenden "raumweite Genauigkeit") ausreichend ist. Zum anderen ging es darum, die technischen Randbedingungen zu identifizieren, also ein Verständnis über die Sensorik eines Smartphones und seiner Einschränkungen zu erlangen. Darüber hinaus wurden mit der Sensor-Fusion und Filterung Möglichkeiten erarbeitet, die portabilitätsbedingten Einschränkungen sinnvoll begrenzen zu können.[Bar15a], [Bar15b]

Im Hauptprojekt wurde parallel zur Ausarbeitung eine Pilot-App (aktuell "IndoorGPS" genannt) zur Lokalisierung in Innenräumen mit raumweiter Genauigkeit entwickelt. Beginnend mit dem folgenden Kapitel werden der aktuelle Stand der Forschung auf ihre Nutzbarkeit für IndoorGPS hin untersucht, ein kurzer Überblick über die Software gegeben sowie die Messung und die schrittweise Verbesserung der Genauigkeit vorgestellt. Schließlich wird die Arbeit mit einem Ausblick auf die Master-Thesis abgeschlossen.

## 2 Verwandte Arbeiten

Ein Ziel von IndoorGPS ist die Fusion von Smartphone-Sensoren zur stabilen Indoor-positionierung mit raumweiter Genauigkeit ohne zusätzliche Infrastruktur. Zu diesem Zweck wird im Folgenden ein aktueller Überblick über die möglichen Genauigkeiten der einzelnen Sensoren WiFi, Magnetometer und - optional - Bluetooth gegeben.

Mit Hilfe des WiFi-Sensors lassen sich Genauigkeiten im Bereich von rund einem Meter erreichen, wie etwa von Yang et al. [YS15] und durch Fusion mit Koppelnavigation von Chen et al. [CZJ<sup>+</sup>15] gezeigt. Mit ihrem Projekt SpotFi kombinierten Kotaru et al. [KJBK15] eine genaue Berechnung der Signaleintrittswinkel mit aktuellen Filtertechniken, um eine robuste, im Vergleich mit anderen, auf WiFi basierenden Systemen äußerst genaue Ortung zu ermöglichen. Sie erzielten dadurch Genauigkeiten von einem knappen halben Meter. Nachteil des Systems sind jedoch die benötigten speziellen WiFi-Chips und ein zentraler Server zur Berechnung der Daten, beides widerspricht damit dem generischen Ansatz von IndoorGPS ohne zusätzliche Infrastruktur.

Eine noch genauere Lokalisierung erreichten Vasisht et al. [VKK16] mit dem Chronos System, das - anders als bisherige auf WiFi basierende Systeme - nur einen einzigen Access Point zur Positionierung benötigt, was den Einsatz ohne aufwendige Offline-Phase im Heim- und Kleinunternehmensbereich ermöglichen würde, in welchen meist nur ein einziges solches Gerät installiert sei. Die Genauigkeit von Chronos liegt hierbei bei wenigen Dezimetern, was durch die Anwendung eines hierfür entwickelten Algorithmus zur akkuraten Erkennung der Laufzeitverzögerung mit Hilfe schneller Frequenzwechsel am Router gelingt. Im Vergleich zu SpotFi ist die Erkennung laut Autoren damit mindestens gleichzusetzen, allerdings mussten hierfür die Routerfirmware und der Kernel verändert werden. Unabhängig davon, dass hierfür kommerziell erhältliche Produkte genutzt werden können, verhindert dies ebenso den Einsatz in IndoorGPS.

Ma et al. [MGHX15] klassifizierten in ihrer Arbeit die gesammelten WLAN-Signale anhand von systematischem und akkumuliertem Fehler sowie Ausreißern und der Standardabweichung. Außerdem schränkten die Autoren die Ortung mit Hilfe des k-Nearest Neighbors Algorithmus jeweils auf diejenigen Messpunkt-Gruppen ein, die für die Ortsbestimmung genutzt werden sollen, und ließen die Signale anschließend gewichtet in die Berechnung einfließen. Sowohl die Gewichtung von Messdaten als auch die Nutzung der Standardabweichung zur Klassifizierung werden in IndoorGPS zur Verbesserung der

Ergebnisse genutzt. Die Beschränkung des Werteraums durch k-Nearest Neighbors ist hingegen erst für eine potenzielle Verbesserung des Projekts geplant, falls Probleme bei der Rechenzeit durch zu viele Messpunkte auftreten.

Die Genauigkeit der Ortsbestimmung mit Funksignalen nimmt durch Schwankungen deutlich ab, weshalb Magnetfeldsignaturen zur Ortung unterstützend hinzugezogen werden, da diese im zeitlichen Verlauf relativ konstant bleiben [HK09]. Mit Magicool [SBS<sup>+</sup>15] kombinierten Shu et al. magnetische Interferenzen mit Bewegungsvektoren, um eine höhere Unterscheidbarkeit der Muster gewährleisten zu können. Um die Erkennung zu verbessern, zieht Magicool unterstützend WiFi-Signale hinzu, falls diese vorhanden sind. In IndoorGPS wurde dieses Verfahren übernommen und auf Bluetooth-Signale erweitert, die somit ebenso die Erkennung verbessern können. Magicool erreicht mit auf WiFi basierenden Lösungen vergleichbare Genauigkeiten von wenigen Metern.

Die Magnetfeldstärken werden in Richtung der drei Achsen X, Y und Z angegeben. Eine Möglichkeit, die Gesamtintensität zu bestimmen, ist, die Beträge aller drei Intensitäten aufzusummieren, was stark schwankende Ergebnisse bei Orientierungswechseln erzeugt. Eine weitere ist es, einen Summenvektor zu bilden und dessen Länge als Ergebnis anzunehmen. Putta et al. [PMK15] verglichen in ihren Versuchen beide Arten miteinander, jeweils mit als auch ohne Indoor-Karten als Grundlage und ermittelten, dass die Länge des Summenvektors kombiniert mit einer Karte die genauesten Ergebnisse ermöglichten. Diese Erkenntnis bildet daher die Basis der Magnetfeld-Implementierung in IndoorGPS.

Mit MaLoc schließlich verbessern Xie et al. [XGT<sup>+</sup>14] die Erkennung magnetfeldbasierter Systeme durch ein Partikelfilter, dynamische Schrittlängenschätzung und der hybriden Messung von Magnetfeldsumme und Vektorlänge auf jeweils unterschiedlicher Höhe. Hiermit werden zwar eine höhere Unabhängigkeit vom verbauten Sensor und der Haltung des Smartphones gegenüber der einfachen Messung erreicht; allerdings sprechen die Autoren dem Messverfahren besonders in Anbetracht des höheren Messaufwands nur wenig Aussagekraft zu. Das von Xie et al. für die Lokalisierung optimierte Partikelfilter ermöglicht zudem zwar eine hohe Genauigkeit zwischen etwa einem und drei Metern, zieht aber auch einen relativ hohen Rechenaufwand nach sich.

Zhao et al. [ZXM<sup>+</sup>14] zeigten in ihren Versuchen, dass die Ortung über Bluetooth im direkten Vergleich zum auf WiFi basierenden Lokalisieren bei geringerem Energieverbrauch genauere Ergebnisse liefern kann. IndoorGPS nutzt aus diesem Grund Bluetooth-Signale zur Verbesserung der Genauigkeit. Sind keine Signale vorhanden, hat dies keinen Einfluss auf die Erkennung. Die Verbesserung der Ortung mittels Bluetooth hatten auch Kriz et al. [KMK16] mit ihrer Arbeit zum Ziel. Sie erreichten hierbei eine deutliche Steigerung der Genauigkeit von rein auf WiFi basierender Ortung, was das Vorgehen in IndoorGPS unterstreicht.

### 3 Überblick über die entwickelte Software

IndoorGPS ist als Vergleichsplattform für eine Ortung mit unterschiedlichen Kombinationen aus Sensoren und Lokalisierungsverfahren mit einer robusten, raumweiten Lokalisierung als Ziel gedacht. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Software gegeben werden, eine detailliertere Auseinandersetzung mit dem Thema findet hingegen in der Master-Thesis statt.

Die Benutzung der App sieht vor, dass zuerst ein Grundriss ausgewählt und seine ungefähren Maße angegeben werden. Alternativ lässt sich ein generischer Grundriss nutzen, um sofort grobe Ergebnisse ohne Vorbereitungszeit zu ermöglichen. Ein Eindruck der App und des generischen Grundrisses lässt sich Abbildung 1 entnehmen.

Als Workflow haben sich im Laufe der Entwicklung die drei Schritte "Anlegen der abzuschreitenden Pfade", "Signalsignaturen sammeln" und das eigentliche "Orten" als sinnvoll herausgestellt. Im ersten Schritt werden die Pfade nacheinander auf den Grundriss eingezeichnet. Daraufhin werden sie im zweiten Schritt gleichmäßig und in der selben Reihenfolge abgegangen, damit die erfassten Signaturen äquidistant auf ihnen verteilt werden können.

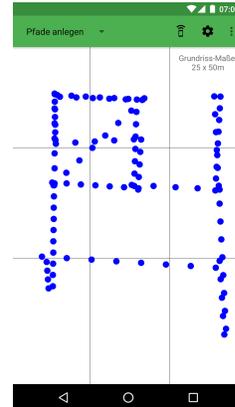


Fig. 1: IndoorGPS mit Signaturenreihen auf generischem Grundriss

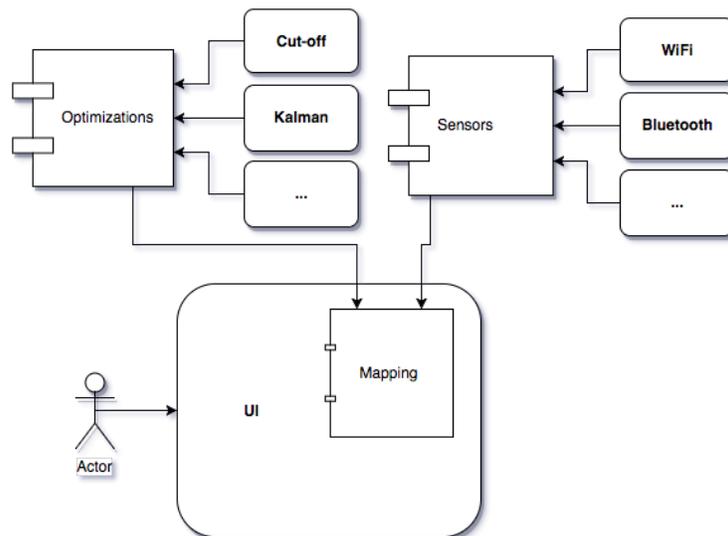


Fig. 2: Komponenten von IndoorGPS

Ein Hinzufügen von Pfaden ist dabei zum aktuellen Zeitpunkt nicht geplant, der gesamte Bereich muss deshalb vorerst auf einmal vorbereitet werden. Zuletzt findet die Ortung statt, bei der die dem aktuellen Messwert ähnlichsten Signaturen markiert werden und damit die Position des Nutzers anzeigen.

IndoorGPS besteht aus den in Abbildung 2 zu erkennenden drei grundsätzlichen Modulen: Einem Sensor-Modul, in dem die einzelnen Sensoren untergebracht und ihre Messungen verwaltet werden, einem Optimierungen-Modul, in das nach und nach Optimierungen angehängt und jeweils de-, beziehungsweise aktiviert werden können, sowie dem Mapping-Modul, das für die Fusion der Daten und die Schätzungen zuständig ist. Über das Mapping-Modul wird auf die zur Aufbereitung notwendigen Daten zugegriffen, um diese in der UI darzustellen.

#### 4 Normalisierung und Fusion

Im dieser Arbeit vorhergehenden Grundprojekt [Bar15b] wurde das Fingerprinting als Fundament der Lokalisierung vorgestellt. Bei dem Verfahren werden vor der eigentlichen Positionierung während einer Offline-Phase Signal-Signaturen gesammelt, die daraufhin in der Online-Phase durch einen regelmäßigen Vergleich mit der aktuellen Messung für die Ortung genutzt werden.

Würden die gemessenen Werte ohne Anpassung aufsummiert und miteinander verglichen werden, wäre das Gewicht von Sensoren mit einer Liste an Ergebnissen, wie dem WiFi oder Bluetooth-Sensor, bei  $n$  Einträgen auch  $n$  mal so hoch wie das von Sensoren mit nur einem Ergebnis:

$$\begin{aligned}
 & WiFi \\
 Diff_{WiFi} &= \sum_{n=0}^N Signal\ Strength_{WiFi\ n} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & Magnetometer \\
 Diff_{Magnet} &= Signal\ Strength_{Magnet} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Wie in Beispiel 1 und 2 erkennbar, ergäbe sich damit bei Sensoren mit Ergebnislisten ein Vielfaches der Differenz zum Nullpunkt gegenüber solchen mit nur einem Ergebnis. Das Magnetometer ginge bei dieser Methode also nur mit einer geringen Relevanz in die Berechnung ein, ganz abgesehen von der physikalischen Unsinnigkeit eines solchen Vergleichs.

Die Messwerte sollten also normalisiert und damit vergleichbar gemacht sowie, in Voraussicht auf die bevorstehenden statistischen Berechnungen zum Beispiel bei der

Filterung, nach Möglichkeit als Schätzung mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 100%, bzw. 0 und 1 ausgegeben werden. Für die Normalisierung muss für jeden Sensor der Bereich ermittelt werden, in dem sich die Messwerte befinden können. Hierfür wird schlicht der größte Ausreißer jedes Datenpaares eines Vergleichs als Grundlage genommen und die Differenz durch diesen geteilt. Während der Online-Phase werden nun die Vektordistanzen durch den Bereich dividiert und ergeben damit Werte zwischen 0 und 1.

Um nun eine Wahrscheinlichkeit zu erhalten, die angibt, wie sicher mit Hilfe der Messung auf eine Position geschlossen werden kann, müssen die Normalisierten Werte nun noch von 1 subtrahiert werden, da es sich bei ihnen um die Differenz zur aktuellen Messung handelt. Ein Wert von 0 stellt keinerlei Abweichung zur aktuellen Messung dar und ergibt somit eine Wahrscheinlichkeit von 100%, dass es sich um die angenommene Position handelt.

Neben der simplen Vergleichbarkeit aller Sensoren wird durch die Normalisierung letztendlich auch eine leichte Anpassbarkeit ihrer Gewichtungen erreicht. Hiermit kann zum Beispiel die Verlässlichkeit ausgedrückt oder einzelne Sensoren deaktiviert werden, wenn diese keine Messwerte liefern können. Jeder Sensor kann leicht mit einem Faktor versehen und mit diesem in unterschiedlichem Maße in den gemeinsamen Durchschnitt einfließen:

$$\sum_{n=0}^N \frac{X_n * Sensor_n}{X_n} \quad (3)$$

Wird für die Faktoren  $X_0, X_1, \dots, X_n$  der Wert 1 angenommen, fließen alle Sensoren zu gleichen Teilen in die Messung ein. An dieser Stelle könnten die Faktoren aber besser noch anhand der Genauigkeit des zugehörigen Sensors festgelegt werden, um den negativen Einfluss weniger genauer Sensoren zu minimieren. Diese Optimierung wird als Teil mehrerer Module in der Master-Thesis umgesetzt und ihr Potenzial evaluiert. In den Kapiteln 6.1 und 7 wird dieses Vorgehen nochmals aufgegriffen.

## 5 Versuchsaufbau

Um die Genauigkeit einer Positionierungslösung messen zu können, ist zuerst einmal ein immer gleicher Versuchsaufbau notwendig. Da bei IndoorGPS auf die raumweite Genauigkeit abgezielt wird und diese voraussichtlich erst nach mehreren Iteration erreicht werden kann, ist es im Gegensatz zur finalen Lösung für die Entwicklung nicht zielführend, den Versuch innerhalb einer Wohnung oder vergleichbar kleinen Gebäuden durchzuführen. Die Messungen werden deshalb innerhalb einer Etage der HAW Hamburg durchgeführt.

Zur Bestimmung der Genauigkeit werden für jede Iteration der Software die selben Schritte wiederholt:

1. Das gesamte Gebiet wird gleichmäßig abgeschritten und es werden Messdaten für jeden Punkt aufgezeichnet (Fingerprinting Offline-Phase).
2. Das Gebiet wird erneut gleichmäßig abgeschritten und regelmäßig die Position mit Hilfe der Software bestimmt (Fingerprinting Online-Phase).
3. Für jede Bestimmung wird die Position abgespeichert und gleichmäßig über den abgeschrittenen Pfad verteilt.
4. Die gespeicherten Positionen können nun zum einen mit einem deutlich genaueren Referenzsystem (etwa dem an der HAW Hamburg installierten UbiSense) verglichen werden; zum anderen kann für jeden betretenen Raum auf dem Pfad durch den Nutzer geprüft werden, ob das System selbigen als Position ausgibt.

Durch den Vergleich mit dem Referenzsystem kann relativ genau die Abweichung der Bestimmung aus IndoorGPS von der realen Position gemessen und das System mit anderen Verfahren verglichen werden. Um allerdings die raumweite Genauigkeit und damit die praktische Anwendung sicherzustellen, reicht der simple Vergleich beim Betreten des Raumes aus. Somit können schnell mehrere Iterationen der Software miteinander verglichen werden und der langwierigere Vergleich mit dem Referenzsystem entfällt.

Weiterhin ist die großflächige Auswertung mittels UbiSense auf dem Campus nicht möglich, da das System ausschließlich auf kleineren Flächen - aktuell im Living Place [EKV<sup>+</sup> 11], zukünftig voraussichtlich im (sich noch im Aufbau befindenden) Creative Space<sup>1</sup> - installiert ist. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus deshalb auf dem Abschreiten des 11. OG am Campus Berliner Tor, während die Feinjustierung und ein Großteil der Optimierungen in der Master-Thesis vorgenommen werden.

Um einen einfachen Vergleichswert ermitteln zu können, wird beim Abschreiten der Räume eine Strichliste mit erfolgreichen Positionsbestimmungen angefertigt. Da bei jedem Abschreitevorgang die gleiche Reihenfolge beachtet wird, lässt sich über eine simple Trefferquote die Genauigkeit des Systems grob bestimmen und Iterationen miteinander vergleichen. Ziel dieser Ausarbeitung ist dabei der Experimentaufbau, sowohl mit einer ersten Messung als auch einer ersten Verbesserung durch eine der geplanten Optimierungen.

## 6 Messungen

Als Umgebung wurde ein Flur quer durch das Stockwerk gewählt und in die drei Abschnitte "Norden", "Mitte" und "Süden" eingeteilt. Am nördlichen Ende des Flurs

<sup>1</sup> <http://creative-space.haw-hamburg.de/index.html>, Abruf: 4.5.2016

befindet sich zudem ein Arbeitsraum, der, neben einem vom mittleren Teil abgehenden Fahrstuhlbereich, bei der Positionierung beachtet wurde.

Abbildung 3 zeigt die Ortung innerhalb der Smartphone App. Erste Versuche mit einer frühen Version der Software haben ergeben, dass die Ähnlichkeit der gemessenen Sensorwerte zu sehr nah beieinanderliegenden Schätzungen führt. Beim sofortigen Ausgeben der Position gehen aufgrund von Sensor- und Messungenauigkeiten daher viele Informationen verloren, wenn nur diejenige Schätzung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit angenommen wird. Die Ausgabe der nächsthöheren Schätzungen ergab ein deutlich sprungräumeres Bild der ungefähren Position und kann aus diesem Grund zugeschaltet werden.

Zu erkennen sind neben dem Grundriss und seiner ungefähren Maße die durch blaue Punkte dargestellten aufgenommenen Messungen, die grüne wahrscheinlichste Schätzung der Position und die roten nächstgelegenen Schätzungen. Der blaue Kreis um die Schätzungen gibt zudem die Genauigkeit der Positionierung an und entspricht dem Abstand zwischen geschätzter Position und dem am weitesten entfernten roten Punkt.



Fig. 3: Ortung mit wechselnder Genauigkeit in der IndoorGPS Smartphone App

Um konstante Bedingungen bestehen zu lassen und das System mit möglichst wenigen Störfaktoren prüfen zu können, wurden die Messungen abseits des regulären Universitäts-Betriebs durchgeführt. Zur Minderung von Schwankungen wurden zudem mehrere Durchläufe abgelaufen. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse dieser Messungen dar; Änderungen im Ergebnis durch das mehrmalige Abschreiten sind in der Tabelle anhand des Werts hinter dem Trennstrich erkennbar.

	<i>WiFi</i>	<i>Magnetometer</i>	<i>Bluetooth</i>	<i>Sensor-Fusion</i>	<i>Optimierung</i>
<i>Gang(Norden)</i>	+	-	o	o/+	+
<i>Raum</i>	+	o	+	+	+
<i>Gang(Mitte)</i>	o/+	+	o	o/+	+/o <sup>2</sup>
<i>Fahrstuhl</i>	-	+	o	o/+	+
<i>Gang(Sueden)</i>	+	-	+	+	o/+ <sup>2</sup>

Table 1: Messergebnisse

- + Praktisch alle Schätzungen liegen im abgeschrittenen Bereich
- o > 50% der Schätzungen liegen im abgeschrittenen Bereich
- < 50% der Schätzungen liegen im abgeschrittenen Bereich

Wird die Positionierung nur auf WiFi beschränkt, ist die Erkennung in einem großen Teil der Umgebung äußerst genau. Vorhersehbar war allerdings die mangelhafte Erkennungsrate im Fahrstuhlbereich, da diese, neben den dort verbauten Feuerschutztüren, die meisten Netzwerke abschirmen. Auffällig war die langsame Rate, mit der standardmäßig nach Netzwerken gescannt wird. Für eine weitere Iteration der Software existiert in diesem Punkt noch Verbesserungspotenzial, wobei eine Erhöhung der Scanrate mit dem einhergehenden, erhöhten Energieverbrauch abgewogen werden muss.

Beide Schwachpunkte des WiFi-Sensors gehören hingegen zu den Stärken des Magnetometers: Im Fahrstuhlbereich sind durch den hohen Metallanteil der Gebäudestruktur sich stärker unterscheidene Signaturen im Magnetfeld messbar. Die Folge ist, dass durch das vielfältigere Magnetfeld die Genauigkeit, im Gegensatz zum Abschwächen der Funksignale, noch erhöht wird. Auch die Aktualisierungsrate ist beim Magnetometer um ein Vielfaches höher als beim Scannen von WiFi-Netzwerken.

Abseits des Fahrstuhlbereichs lässt aufgrund der zu geringen Signatur-Unterschiede die Genauigkeit durch die Magnetfeldortung allerdings stark nach und ist für eine zuverlässige Positionierung nicht zu gebrauchen. So sprang während der Ortung regelmäßig die Position zwischen Nord- und Südteil des Gebäudes, da diese zu ähnliche Feldstärken aufwiesen. Ein Vergleich über mehrere Feldstärken hinweg würde gegenüber dem Einzelvergleich den Informationsgehalt unter Umständen deutlich erhöhen, allerdings einhergehend auch den Aufwand des Einmessens in der Offline-Phase, da für jeden Punkt im Gebäude mehrere Laufrichtungen beachtet werden müssten. Dies widerspricht dem Skalierungsgedanken des Projekts und findet in dieser Art daher keine Beachtung.

<sup>2</sup> Ergebnis trat deutlich verzögert auf

Zum einen ergänzen sich also WiFi- und Magnetfeldortung auf beste Weise und stellen gute Grundlagen für die Sensor-Fusion dar; zum anderen sollte nach einer Möglichkeit gesucht werden, durch die dynamische Verringerung der Gewichtung bei der Fusion den negativen Einfluss in ebensolchen Bereichen zu reduzieren, in denen die Erkennung mit dem jeweiligen Sensor nicht sinnvoll ist.

Der Bluetooth-Sensor nimmt bei der Positionierung eine Sonderrolle ein, da er hierfür die Signale von Beacons nutzt, welche an beliebigen Positionen befestigt werden können. Der Bereitsteller des Systems kann also durch einen vorherigen Test die optimale Position der Sender ermitteln und damit einen direkten Einfluss auf das Messergebnis nehmen.

Für die Messung wurden die Beacons gleichmäßig verteilt, das heißt in jedem Bereich wurde je ein Gerät installiert. Die Genauigkeit der Erkennung fiel dabei nur mittelmäßig aus, vor allem im Fahrstuhlbereich schwankte der Signalempfang stärker als erwartet. Alles in allem ließ sich dennoch eine halbwegs verlässliche Ortung gewährleisten. Negativ ist eine gegenüber WiFi nochmals verringerte Scanrate des Sensors in der Standardeinstellung. Wird diese erhöht, wird neben dem erhöhten Energiebedarf gleichzeitig die Zeit zum Identifizieren der Sender verringert. Bei der weiteren Entwicklung muss hier also auch bei Bluetooth ein praktikabler Mittelweg gefunden werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ohne Fusion mit jedem einzelnen Sensor die Ortung zum Teil sichergestellt werden kann. Jeder Sensor führt aber zu teils erheblichen Nachteilen, wie dem Ausfall der Ortung in bestimmten Bereichen oder einer langsamen Aktualisierung der Ergebnisse. Diese Nachteile gilt es, soweit möglich, durch die im folgenden Kapitel behandelte Fusion abzuschwächen und die Auswirkungen der Fusion schrittweise zu verbessern.

## **6.1 Sensor-Fusion und erste Optimierung**

Mit Hilfe der Sensor-Fusion können theoretisch die Nachteile einzelner Sensoren ausgeglichen und die Erkennung verbessert werden. Die Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen, dass dieses Ziel bereits mit gleicher Gewichtung der Sensoren auch in der Praxis erreicht werden kann. Die Genauigkeit ist den einzelnen Sensoren mindestens ebenbürtig und meist überlegen. Darüber hinaus wird die Ortung bei jeder Sensor-Änderung angestoßen, weshalb die Scanrate des am schnellsten reagierenden Sensors erreicht wird.

Trotz der vielversprechenden Ergebnisse bringt auch die Fusion Nachteile mit sich. So wird nicht ganz die Genauigkeit der Magnetfeldortung im Bereich der Fahrstühle erreicht, da, wie erwartet, WiFi und Bluetooth das Ergebnis negativ beeinflussen. Zudem stieg die Streuung in Form von Sprüngen zwischen korrekter Ortung und fehlerhafter Position deutlich an, was die Notwendigkeit einer Filterung der Messung unterstreicht.

Im Rahmen der Master-Thesis sind eine Reihe von Optimierungen zur Verbesserung des Systems geplant. Eine dieser Optimierungen wird allerdings bereits im Rahmen des

Hauptprojekts umgesetzt, um grundsätzliche Auswirkungen auf den Versuchsaufbau und die Ergebnisse frühzeitig feststellen zu können. Eine simple Optimierung ist das Verwerfen räumlich weit entfernter Messpunkte. Die Grundlage bildet dabei die Bewegungsgeschwindigkeit des Menschen. Hegewald definiert in seiner Arbeit dabei eine "sehr schnelle Gang-geschwindigkeit" als das 1,15 Fache der Körpergröße [Heg10]. Es kann also als unwahrscheinlich angesehen werden, dass sich ein Nutzer bei der Nutzung des Systems schneller als  $3\text{ m/s}$  bewegt, weshalb diese als aufgerundete Grenze genutzt wird und weiter entfernte Messpunkte keine Beachtung beim Abgleich finden.

Im Vergleich zur gleichgewichtigen Fusion lässt sich durch das Abschneiden entfernter Punkte tatsächlich eine leichte Verbesserung der Erkennung feststellen. Während sich die Ergebnisse bei ersterem noch über die Wiederholung leicht änderten, fielen sie bei letzterem grundsätzlich konstanter aus. Besonders der Fahrstuhlbereich wurde deutlich genauer erkannt und die Sprünge konnten stark reduziert werden.

Durch das Entfernen von Messpunkten ließ sich allerdings die Situation beobachten, dass das System durch verrauschte Messungen nicht sofort der realen Position folgen konnte und somit hinterherlief. Dies führte bereits während der ersten Messungen zu Verzögerungen bei der Ortung im Mittel- und Südteil des Gangs, eine Fehlerakkumulation im zukünftigen Betrieb ist daher nicht auszuschließen.

## **7 Fazit und Ausblick**

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer App zur Indoor-Positionierung. Das System IndoorGPS konnte in einer ersten Fassung erfolgreich umgesetzt und die Nutzbarkeit im Rahmen der Versuche belegt werden.

Anhand weiterer Arbeiten im Gebiet der Innenraum-Lokalisierung wurden die genutzten Verfahren, Sensoren und Abgrenzungen dargelegt. Jene Lösungen, die Hardware oder deren Änderung voraussetzen, wurden aufgrund der hieraus folgenden mangelnden Skalierung nicht in Betracht gezogen, sie dienten vielmehr dem Aufzeigen des praktisch Möglichen.

Der Vorstellung verwandter Arbeiten folgten Grundlagen zum verwendeten Ortungsverfahren und der Sensor-Fusion, wie die Gewichtung der Sensoren sowie die Normalisierung und das Vergleichen gesammelter Messwerte. Es wurde daraufhin der Experimentaufbau einschließlich seiner Vereinfachung für dieses Projekt in Form des simplen Abschreitens und Überprüfens der Positionen beschrieben.

Die Ergebnisse der Messungen stellt Tabelle 1 dar, welche die Vor- und Nachteile der Positionierung mit Hilfe einzelner Sensoren offenlegte. Durch eine Sensor-Fusion konnte die Ortung verbessert und einige Nachteile ausgebessert werden. Die erhöhte Streueung aufgrund der Sensor-Fusion wurde schließlich mit Hilfe einer simplen Optimierung

verringert, was jedoch wiederum zu einer teilweise verzögerten Ortung führte.

An dieser Stelle gilt es, in der Master-Thesis anzusetzen und mit Hilfe weiterer Optimierungen die Positionserkennung zu verbessern. Zum einen wurde Verbesserungspotenzial bei der Sensorgewichtung identifiziert, um den negativen Einfluss von Sensoren je nach ihrer aktuellen Genauigkeit zu reduzieren. Zum anderen besteht in der Filterung von Sprüngen noch Verbesserungsbedarf und schließlich ist die Laufzeitreduktion mit Hilfe eines Clusterings von Messpunktgruppen geplant.

Neben der reinen Optimierung und Feinjustierung des Systems sind hingegen noch weitere Fragen für die abschließende Arbeit angedacht. Etwa das Potenzial semantischer Karten, das Anreichern vorhandener Karten mit der Erkennung zuträglichen Eigenschaften, und inwieweit diese den höheren Einpflegeaufwand rechtfertigen. Zudem stehen die Übergabe und Einrichtung an das Living Place, beziehungsweise das Creative Space aus, die den Abschluss des Projekts IndoorGPS bilden sollen.

## References

- Bar15a. Lennart Bartelt. Indoor Positionierung mit Smartphones zur Kontexterkennung auf Basis vorhandener Infrastruktur. 2015.
- Bar15b. Lennart Bartelt. Projektbericht: Indoor Positionierung mittels Sensor Fusion auf Smartphones. 2015.
- CZJ<sup>+</sup>15. Zhenghua Chen, Han Zou, Hao Jiang, Qingchang Zhu, Yeng Chai Soh, and Lihua Xie. Fusion of wifi, smartphone sensors and landmarks using the kalman filter for indoor localization. *Sensors*, 15(1):715–732, 2015.
- EKV<sup>+</sup>11. Jens Ellenberg, Bastian Karstaedt, Sören Voskuhl, Kai von Luck, and Birgit Wendholt. An environment for context-aware applications in smart homes. In *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Guimaraes, Portugal, 2011.
- ETZ05. Bernd Eissfeller, Andreas Teuber, and Peter Zucker. Indoor-GPS: ist der Satellitenempfang in Gebäuden möglich. *ZfV, Zeitschrift für Vermessung*, (4):130, 2005.
- Heg10. G Hegewald. Die Ganggeschwindigkeit - eine zentrale Größe in der Ganganalyse, 2010.
- HK09. Janne Haverinen and Anssi Kemppainen. Global indoor self-localization based on the ambient magnetic field. *Robotics and Autonomous Systems*, 57(10):1028–1035, 2009.
- KJBK15. Manikanta Kotaru, Kiran Joshi, Dinesh Bharadia, and Sachin Katti. Spotfi: Decimeter level localization using wifi. In *Proceedings of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication*, pages 269–282. ACM, 2015.
- KMK16. Pavel Kriz, Filip Maly, and Tomas Kozel. Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons. *Mobile Information Systems*, 2016, 2016.
- MGHX15. Rui Ma, Qiang Guo, Changzhen Hu, and Jingfeng Xue. An improved wifi indoor positioning algorithm by weighted fusion. *Sensors*, 15(9):21824–21843, 2015.
- PMK15. Ramakanth Putta, Manoj Misra, and Divye Kapoor. Smartphone based indoor tracking using magnetic and indoor maps. In *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2015 IEEE Tenth International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2015.

- SBS<sup>+</sup>15. Yuanchao Shu, Cheng Bo, Guobin Shen, Chunshui Zhao, Liqun Li, and Feng Zhao. Magicol: indoor localization using pervasive magnetic field and opportunistic wifi sensing. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 33(7):1443–1457, 2015.
- VKK16. Deepak Vasisht, Swarun Kumar, and Dina Katabi. Decimeter-level localization with a single wifi access point. In *13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 16)*, pages 165–178, 2016.
- XGT<sup>+</sup>14. Hongwei Xie, Tao Gu, Xianping Tao, Haibo Ye, and Jian Lv. Maloc: A practical magnetic fingerprinting approach to indoor localization using smartphones. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pages 243–253. ACM, 2014.
- YS15. Chouchang Yang and Huai-Rong Shao. Wifi-based indoor positioning. *Communications Magazine, IEEE*, 53(3):150–157, 2015.
- YWZ<sup>+</sup>15. Zheng Yang, Chenshu Wu, Zimu Zhou, Xinglin Zhang, Xu Wang, and Yunhao Liu. Mobility increases localizability: A survey on wireless indoor localization using inertial sensors. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(3):54, 2015.
- ZXM<sup>+</sup>14. Xiaojie Zhao, Zhuoling Xiao, Andrew Markham, Niki Trigoni, and Yong Ren. Does btle measure up against wifi? a comparison of indoor location performance. In *European Wireless 2014; 20th European Wireless Conference; Proceedings of*, pages 1–6. VDE, 2014.