

**Beitrag A: Frank Fuchs-Kittowski, Daniel Faust, Christian Gruner,
Robert Kärner, Sascha Tash**

Mobile Sensing von Umweltdaten zur Unterstützung der Indoor-Navigation am Beispiel U-Bahn

Frank Fuchs-Kittowski, HTW Berlin, FH FOKUS, frank.fuchs-kittowski@htw-berlin.de
Daniel Faust, Fraunhofer FOKUS, daniel.faust@fokus.fraunhofer.de
Christian Gruner, HTW Berlin, s0530708@htw-berlin.de
Robert Kärner, HTW Berlin, s0530606@htw-berlin.de
Sascha Tash, HTW Berlin, s0531678@htw-berlin.de

Abstract

This paper presents an underground navigation app “mUvi”. For the indoor navigation of underground users, it only exploits the information from the environment of the user, collected by the internal sensors of the user’s smartphone. Based on an experimental study on the use of smartphone sensors for underground navigation the mobile app uses a combination of microphone and two additional sensors for a robust positioning and navigation of underground users.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag präsentiert die U-Bahn-Navigations-App „mUvi“, die für die Indoor-Navigationsunterstützung eines U-Bahn-Nutzers ausschließlich die von den Smartphone-internen Sensoren gesammelten Informationen verwendet. Basierend auf einer Untersuchung zu den Einsatzmöglichkeiten von Smartphone-Sensoren für die U-Bahn-Navigation verwendet die App eine Kombination aus Mikrofon und zwei weiteren Sensoren für die Positionsbestimmung.

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat die enorme Verbreitung von leistungsstarken mobilen Endgeräten (Smartphones, Tablets etc.), die mit einer Vielzahl an eingebauten Sensoren ausgestattet sind - wie Bewegungs- und Ortssensoren (Beschleunigungssensor, Gyroskop, Magnetsensor, Drucksensor), optische Sensoren (Lichtsensor, Näherungssensor, Bildsensor) und akustische Sensoren (Mikrophone) - einen neuen Trend für die Sammlung von Daten aus der umgebenden Umwelt ermöglicht: Mobile Sensing (MS) [Ganti et al., 2011]. Inzwischen existiert bereits eine große Anzahl neuartiger MS-Anwendungen für unterschiedlichste Anwendungsbereiche, wie Smart Cities, öffentliche Sicherheit, Verkehrsplanung und Umwelt-Monitoring [McGrath & Scanail 2013, S. 55].

Dieser Beitrag präsentiert eine MS-Anwendung für den Bereich Indoor-Navigation [Namiot, 2015] am Beispiel der U-Bahn. Diese MS-Anwendung nutzt für die Positionierung und die Navigation von Nutzern in der U-Bahn nur die internen Sensoren des mobilen Geräts. D.h. auf der Basis der durch die Sensoren gesammelten Daten über die Umwelt des Nutzers kann dessen Position im U-Bahn-Netz bestimmt und die Navigation realisiert werden.

Der Beitrag ist wie folgt strukturiert: Im folgenden Kapitel 2 wird das Anwendungsszenario "Mobile U-Bahn-Navigation" beschrieben und verwandte Ansätze diskutiert. Basierend auf einer Untersuchung zu den theoretischen und praktischen Einsatzmöglichkeiten von Smartphone-Sensoren für die U-Bahn-Navigation (Kapitel 3) wird in Kapitel 4 das Konzept der U-Bahn-Navigations-App "mUvi" präsentiert, die vorwiegend das Mikrofon des Smartphones in Kombination mit zwei weiteren Sensoren für die Positionsbestimmung und Navigation verwendet.

2 Anwendungsszenario und verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden das Anwendungsszenario "Mobile U-Bahn-Navigation" definiert und verwandte Ansätze für mobile Anwendungen zur U-Bahn-Navigation diskutiert.

2.1 Anwendungsszenario „Mobile U-Bahn-Navigation“

Navigationssysteme haben primär die Aufgabe, mit Hilfe von Positionsbestimmung einen Nutzer von einem bestimmten Startort zu einem bestimmten Zielort zu führen [Wendel, 2007]. Die Wahl des Weges kann dabei meist über Parameter durch den Nutzer bestimmt werden, z.B. kürzester Weg, schnellster Weg, Vermeidung von Mautgebühren, Minimierung der Anzahl der Umstiege o.ä. Während der Bewegung des Nutzers vom Start- zum Zielort kann der Nutzer ggf. mit Zusatzinformationen unterstützt werden, z.B. zurückgelegte/verbleibende Strecke/Zeit, interessante Orte auf der Strecke, Möglichkeiten zum Umsteigen/Abkürzen etc.

U-Bahn(en) werden weltweit täglich von vielen Millionen Menschen genutzt. Viele U-Bahn-Nutzer sind Touristen, die eine ständige Orientierungs- und Navigations-Unterstützung benötigen, wobei eine solche Unterstützung auch zwischen den Stationen erforderlich ist. Aber auch Nutzer, die häufig mit der U-Bahn fahren, könnten Interesse an einer Unterstützung haben, z.B. Wecker-Funktion die rechtzeitig über das Umsteigen oder das Erreichen der Zielstation informiert. Nur wenige U-Bahn-Betreiber bieten derzeit eine (offene) Schnittstelle an, mit der unterstützende Informationen zur Orientierung und Navigation während der U-Bahn-Fahrt abgerufen werden könnten.

Die wesentlichen Kernfunktionen, die eine U-Bahn-Navigations-App zur Unterstützung der o.g. Anwendergruppen aufweisen sollte, sind damit zum einen die Möglichkeit, das der Nutzer seinen Zielbahnhof (und ggf. auch seinen Startbahnhof) eingeben kann, an dem er Aussteigen möchte. Zum anderen sollte die App den Nutzer darüber benachrichtigen, wenn er Aussteigen (Zielbahnhof erreicht) oder Umsteigen (Wechsel der U-Bahn-Linie) muss. Während der Fahrt kann die App dem Nutzer ggf. mit Zusatzinformationen versorgen, z.B. Anzahl der noch zum Ziel zurückzulegenden Stationen, Name der aktuellen/nächsten Station usw. Zudem könnte die App den Nutzer auch darüber informieren, wenn er ggf. in die falsche Richtung oder gar mit der falschen U-Bahn-Linie unterwegs ist.

2.2 Verwandte Arbeiten

2.2.1 Mobile Indoor-Navigation

Mobile Navigations-Apps für Smartphones spielen aufgrund der rasanten Entwicklung des Smartphone-Marktes eine wichtige Rolle für die Industrie im Bereich ortsbezogener Dienste. Die meisten Navigations-Apps nutzen das Satelliten-basierte

Global Positioning System (GPS), das aber aufgrund der Abschirmung durch Gebäude und Hindernisse auf dem Weg der Signalausbreitung nicht in Innenräumen genutzt werden kann [Namiot, 2015], insbesondere nicht in U-Bahn-Tunneln. Daher sind für die Positionsbestimmung in der U-Bahn andere Systeme oder Sensoren erforderlich.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche neue Technologien und Verfahren zur Realisierung einer automatischen Lokalisierung von Personen oder Objekten innerhalb von Gebäuden oder überbauten Bereichen (indoor-Positionierungssysteme) entwickelt [Brachmann, 2012], [Namiot, 2015]. Aufgrund der komplexen Umgebungsbedingungen in Indoor-Szenarien ist jedoch derzeit noch keine Positionierungstechnologie allgemein verfügbar [Blankenbach, 2014], insbesondere nicht für große Gebäude [Kessel, 2013]. Zudem wäre im Falle der U-Bahn-Navigation die Installation von erforderlicher Hardware, z.B. Beacons [Sheinker et al., 2016], im gesamten U-Bahn-Netz zu aufwendig.

Sinnvoller wäre es (mobile) Geräte für die Indoor-Positionsbestimmung zu nutzen, die die Mehrzahl der Nutzer der U-Bahn bereits mit sich führen, z.B. Smartphones. Durch die rasante Weiterentwicklung verfügen heutige Smartphones über zahlreiche Sensoren [Guo et al., 2014], [Guo et al., 2015] und „Mobile Sensing-Anwendungen“, die die von diesen eingebauten Sensoren erfassten Daten nutzen, wurden bereits für viele Anwendungsbereiche entwickelt, z.B. Gesundheit, Transport, Umweltüberwachung, Smart Home und soziale Netzwerke [Lane et al., 2010]. Die standardmäßig in den Smartphones eingebauten Sensoren, wie Bewegungs- und Ortssensoren (Beschleunigungssensor, Gyroskop, Magnetsensor, Drucksensor), optische Sensoren (Lichtsensor, Näherungssensor, Bildsensor), akustische Sensoren (Mikrophone) sowie Umweltsensoren [McGrath & Scanail, 2013], könnten - anstelle des GPS oder aufwendiger Indoor-Systeme - auch für die Positionsbestimmung und die Navigation während einer U-Bahn-Fahrt eingesetzt werden.

Die Entwicklung von Indoor-Navigations-Anwendungen, die nur auf den Fähigkeiten moderner Smartphones basieren, ist derzeit Gegenstand intensiver Forschung. Erste Forschungsprototypen nutzen allerdings nicht nur die in Smartphones eingebauten Sensoren, sondern sind auf die Verfügbarkeit einer Internet-Verbindung angewiesen und/oder basieren auf digitalen Karten des Indoor-Bereichs, z.B. [Carboni et al., 2015] und [Ehrlich, 2014]. Die hier beschriebene Anwendung verzichtet auf eine Internet-

Verbindung und benötigt kein Kartenmaterial, sondern ist nur auf die internen Sensoren des Smartphones angewiesen.

2.2.2 Mobile Apps zur U-Bahn-Navigation

In der Literatur finden sich - neben Arbeiten zur Nutzung von Smartphone-Sensoren zur Indoor-Navigation für Fußgänger (z.B. [Ehrlich, 2014]) – auch bereits mobile Apps zur U-Bahn-Navigation. Diese Ansätze verwenden den Beschleunigungssensor [Domhan, 2013; Li, et al. 2015] oder das Barometer (Drucksensor) [Wagner, 2012] für die Positionsbestimmung und Navigation in der U-Bahn.

Die mobile App „MetroNap“ ist für New York verfügbar und nutzt den Beschleunigungssensor von Smartphones [Domhan, 2013]. Die App erlaubt es dem Nutzer Start- und Zielstation anzugeben, informiert über die Position auf der Strecke über eine Kartenansicht und benachrichtigt den Nutzer beim Erreichen des Zielbahnhofs. Über den Beschleunigungssensor erkennt die App das Erreichen der nächsten Station (Stopp) und zählt die zurückgelegten Stationen. Diese Android-App hat zahlreiche positive Bewertungen im Google-Play-Store. Ein zentrales Problem ist jedoch, dass die App nicht zwischen ungewünschten Zwischenstopps und gewünschten Halts in einem Bahnhof unterscheiden kann, so dass bei einem Zwischenstopp auf der Strecke zwischen 2 Bahnhöfen die App nicht mehr korrekt die Stationen zählt und den Nutzer zu früh benachrichtigt und auffordert, den Zug zu verlassen.

Im Rahmen einer Bachelor-Arbeit an der Beuth-Hochschule für Technik (BHT) Berlin wurde am Beispiel der Berliner U-Bahn-Linie 5 der Einsatz des Luftdrucksensors (Barometer) im Smartphone in Hinblick auf dessen Eignung für eine U-Bahn-Navigationsanwendung untersucht [Karpakova, 2012]. Dabei konnten signifikante Druckunterschiede gemessen und Höhenunterschiede zwischen zwei aufeinanderfolgenden U-Bahn-Stationen berechnet werden. Dies ermöglicht die Identifizierung einer U-Bahnstation auf einer bestimmten Strecke [Wagner, 2012]. Das zentrale Problem dieser Anwendung ist darin zu sehen, dass bisher nur wenige Smartphones über einen Luftdrucksensor verfügen und vor allem, dass die meisten U-Bahn-Strecken kaum Höhenunterschiede zwischen den Stationen aufweisen, die mit einem Luftdrucksensor gemessen werden könnten.

Die dargestellten existierenden Ansätze verwendeten den Beschleunigungssensor [Domhan, 2013], [Li et al., 2015] oder das Barometer (Drucksensor) [Wagner, 2012] für die Positionsbestimmung und Navigation in der U-Bahn. Diese Arbeit untersucht aber auch den Nutzen weiterer Sensoren, wie z.B. den Beschleunigungssensor, das Gyroskop, den Magnetsensor, das Mikrofon, das Barometer oder den Lichtsensor und präsentiert eine neue Lösung, die das Mikrophone verwendet und dieses mit weiteren Sensoren kombiniert.

3 Ergebnisse - Einsatzmöglichkeiten und Eignung der Sensoren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse einer Literaturstudie zum Identifizieren von (theoretischen) Einsatzmöglichkeiten für den Anwendungsfall „Mobile U-Bahn-Navigation“ sowie der empirischen Studie zur Bewertung der praktischen Einsatzmöglichkeiten während Fahrten mit der U-Bahn der in Smartphones standardmäßig eingebauten Sensoren vorgestellt.

3.1 Luftdrucksensor (Barometer)

Der Luftdrucksensor (Barometer) bestimmt den Luftdruck des Aufenthaltsortes. Der Luftdruck ist dabei von der Höhe der Messung abhängig.

Für den Anwendungsfall „Mobile U-Bahn-Navigation“ könnten Druck- und damit Höhenunterschiede während der Fahrt zwischen zwei Stationen gemessen und für die Positionierung genutzt werden. Beispielsweise ermöglichen die Unterschiede in der Höhe eine Positionierung basierend auf dem Höhenprofil der gefahrenen Strecke (vgl. [Karpakova, 2012]). Alternativ könnten auch Druck- bzw. Höhenunterschiede zwischen Bahnhöfen (Differenz) für die Positionsbestimmung genutzt werden. Eine potenzielle Begrenzung für diesen Ansatz ist darin zu sehen, dass nicht alle Linien ein markantes Höhenprofil aufweisen bzw. eine Vielzahl an U-Bahn-Linien flach verlaufen und somit keine oder nur kaum Druckunterschiede und damit Höhenunterschiede messbar sind.

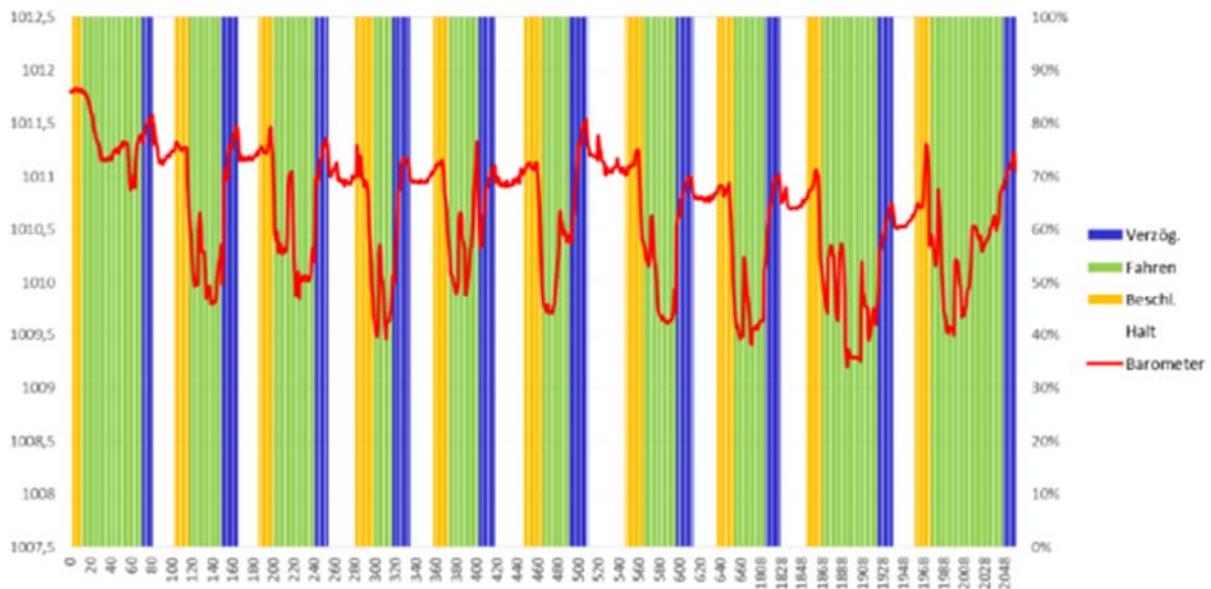


Abbildung A-1: Ergebnisse – Luftdrucksensor (Barometer)

Bei den vorgenommenen Messungen mit dem Luftdrucksensor (Barometer) waren Druckunterschiede zwischen Stationen – Phase „Fahren“ - nicht immer messbar bzw. vorhanden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es auf den meisten Strecken der Berliner U-Bahn (mit Ausnahme der Linie U5) kaum Höhenunterschiede gibt. Dennoch sind bei der Auswertung der Messdaten deutliche Muster erkennbar. Über den Luftdrucksensor konnten starke Schwankungen (Peaks) beim Einfahren in – Phase „Verzögern/Bremsen“ - und dem Ausfahren aus – Phase „Beschleunigung“ - dem Bahnhof gemessen werden (siehe Abbildung A-1).

Da der Luftdruck - während des „Fahren“ - über die Haltestellen (Bahnhöfe) hinweg ziemlich konstant bzw. Druckunterschiede zwischen Stationen nicht immer vorhanden oder wahrnehmbar sind, scheint die ursprüngliche Verwendung dieses Sensors zur Stationserkennung kaum sinnvoll zu sein. Auffällig sind jedoch die starken Schwankungen (Peaks) beim Anfahren (Beschleunigen) und Anhalten (Bremsen) im Bahnhof. Daher wird eine sinnvolle praktische Einsatzmöglichkeit für den Luftdrucksensor in der Erkennung der Phasen „Anfahren“ und „Bremsen“ gesehen.

3.2 Beschleunigungssensor

Der Beschleunigungssensor (Accelerometer) berechnet die Beschleunigung für jede der drei Achsen des Smartphones in der SI-Einheit m/s^2 . Dabei wird im Sensor die auf eine bewegliche Masse wirkende Trägheitskraft gemessen [Liu, 2013].

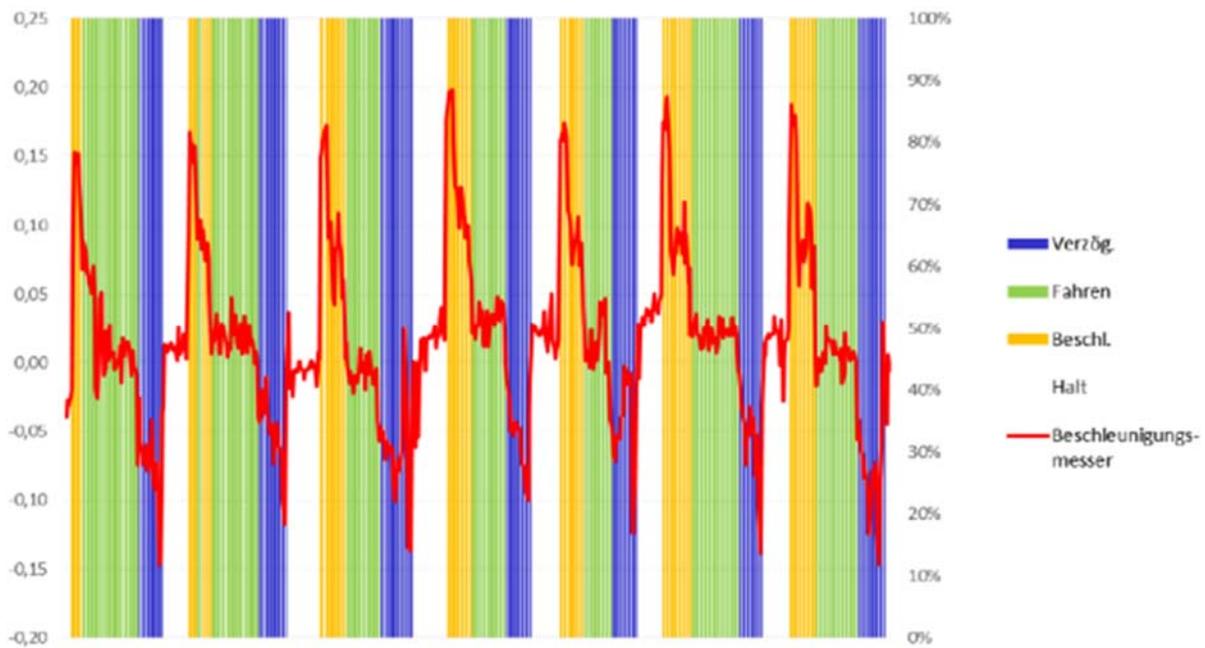


Abbildung A-2: Ergebnisse - Beschleunigungssensor (accelerometer)

Für den Anwendungsfall „Mobile U-Bahn-Navigation“ könnte dieser Sensor das Fahren und das Halten des Zuges erkennen. Damit ließen sich die Haltestellen (Stopp) bestimmen, da das Halten der Bahn als Stopp in den einzelnen Stationen auf der Strecke interpretiert werden kann. Darüber hinaus könnte der Sensor messen, ob und wie schnell sich das Fahrzeug in eine bestimmte Richtung bewegt. Somit könnten die Bewegung in eine bestimmte Richtung sowie Besonderheiten wie Verzögerungen oder Kurvenfahrten erkannt werden. Ein Problem und damit eine Einschränkung für das Erkennen der Haltestellen („nächste Station“) stellt das unplanmäßige Halten auf der Strecke zwischen zwei Stationen dar. Zudem können die Messungen nicht in den exakt gleichen Zeitabständen durchgeführt werden, was zu Ungenauigkeiten führt.

Die erhobenen Messreihen während der U-Bahnfahrt zeigen – erwartungsgemäß – signifikante Ausschläge (Peaks) beim Anfahren des Zuges („Beschleunigen“) und beim Bremsen („Verzögerung“), d.h. Ausschläge in die positive Richtung beim „Beschleunigen“ und in die negative Richtung beim „Bremsen“ (siehe Abbildung A-2).

Um diese Ergebnisse zu erzielen, war aber eine gleichbleibende Position des Geräts sicherzustellen. Daher wurde während der Messung das Smartphone senkrecht zur Beschleunigungsrichtung des Fahrzeugs gehalten, um so direkt die Beschleunigungswerte ablesen zu können. Die Werte wurden somit unter stark optimierten Testbedingungen gewonnen. Für die praktische Anwendung ist dieser

Sensor alleine daher ungeeignet, da er im praktischen Einsatz - aufgrund der unbekanntenen Lage des Geräts - kaum verlässliche Daten liefert.

Eine Lösung dieses Problems wäre die Kombination des Beschleunigungssensors mit dem Lagesensor bzw. Gyroskop. Mit den Daten des Gyroskops können die Lageänderungen erkannt und darüber die Werte des Beschleunigungssensors zurückgerechnet und die Beschleunigung gemessen werden. Auf dieser Basis könnten Unterschiede zwischen „Halt“ und den anderen Phasen genau identifiziert werden.

3.3 Magnetsensor

Der Magnetsensor bzw. digitale Kompass (Fluxgate-Magnetometer) ist ein Sensor, der zur vektoriellen Bestimmung des Magnetfeldes der Erde dient und die Himmelsrichtung bestimmen kann. Er richtet sich nach dem magnetischen Nordpol [Liu, 2013].

Vor allem könnte bei der „U-Bahn-Navigation“ die Bestimmung der Himmelsrichtung ein sinnvolles Hilfsmittel darstellen, um festzustellen, ob sich der Zug in die richtige Richtung fortbewegt. Eine weitere Einsatzmöglichkeit besteht in der Verfolgung der Fahrtrichtungsänderungen über den Verlauf einer Fahrt zwischen zwei Stationen. Diese Kurve könnte mit einem Streckenprofil zur Bestimmung des gefahrenen Streckenabschnittes abgeglichen werden. Somit können die angefahrenen Stationen (und Streckenabschnitte) genau bestimmt werden. Ein Problem bei der Benutzung des Kompasses in der U-Bahn sind aber störende Einflüsse auf das Magnetfeld, z.B. zahlreiche Metallkonstruktionen im U-Bahntunnel, insb. während der Fahrt.

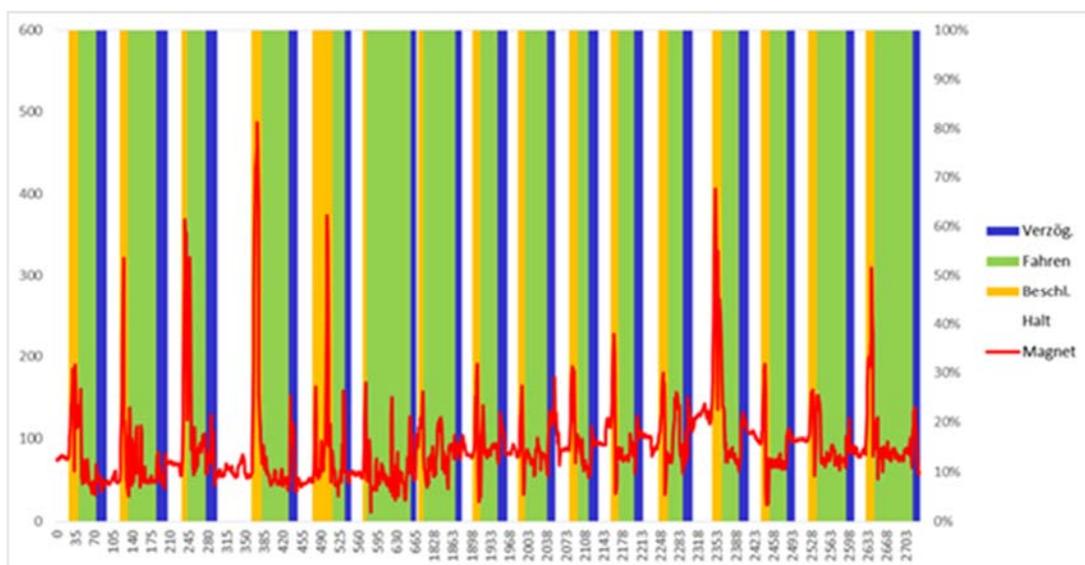


Abbildung A-3: Ergebnisse - Magnetsensor (magnetometer)

Beim Messen mit dem Magnetsensor während der U-Bahnfahrt war das Magnetfeld der Erde und damit die Fahrtrichtung kaum wahrnehmbar. Zudem kam es zu häufigen Störungen, insbesondere durch Metallkonstruktionen im U-Bahntunnel, der Elektronik im Fahrgastraum und insbesondere durch die E-Motoren der U-Bahn. Die erhobenen Messergebnisse zeigen aber starke Magnetfelder (Peaks) beim Ausfahren aus dem Bahnhofe – Phase „Beschleunigen“ und teilweise auch beim Einfahren in den Bahnhof – Phase „Bremsen/Verzögern“, die durch die Aktivität der E-Motoren der U-Bahn erzeugt wurden (siehe Abbildung A-3).

Die ursprüngliche Einsatzmöglichkeit dieses Sensors zur Fahrtrichtungserkennung erscheint aufgrund der Störeinflüsse wenig sinnvoll. Allerdings können die noch auf die Fahrtrichtungserkennung störend ausgewirkten starken Magnetfelder der E-Motoren in der Beschleunigungsphase sinnvoll für das Erkennen des Abfahrens aus einem Bahnhof („Beschleunigen“) genutzt werden, da der Antrieb für kurze Zeit ein starkes Magnetfeld erzeugt, welches durch den Sensor wahrgenommen wird.

3.4 Mikrofon

Das Mikrofon ist ein Schallwandler, der Luftschall als sogenannte Schallwechseldruckschwingungen in entsprechende elektrische Spannungsänderungen als Mikrofonsignal umwandelt.

Für den Anwendungsfall „U-Bahn-Navigation“ könnte das Mikrofon verschiedene typische Geräusche erkennen. Zum einen könnten für bestimmte Stationen typische Sprach-Ansagen etc. (z.B. „Alexanderplatz“) erkannt werden und somit helfen, Rückschlüsse auf die aktuelle Position des Fahrzeuges zu ziehen. Weitere markante, erkennbare Geräusche sind bspw. Warnsignale, das einheitliche Schließen der Türen oder auch die Motorengeräusche. Es wird aber vermutet, dass das Mikrofon aufgrund störender Geräusche in der Umgebung (insb. laut sprechende Passagiere etc.) für den praktischen Einsatz - zur Erkennung von Umgebungsgeräuschen - eher nicht geeignet ist. Zudem wird der Sensor ohne aktive Nutzung des Smartphones bzw. bei Nicht-Benutzung in der Hosentasche oder Handtasche vermutlich kaum praktisch einsetzbar sein, da die Schallwellen zu stark gedämpft würden.

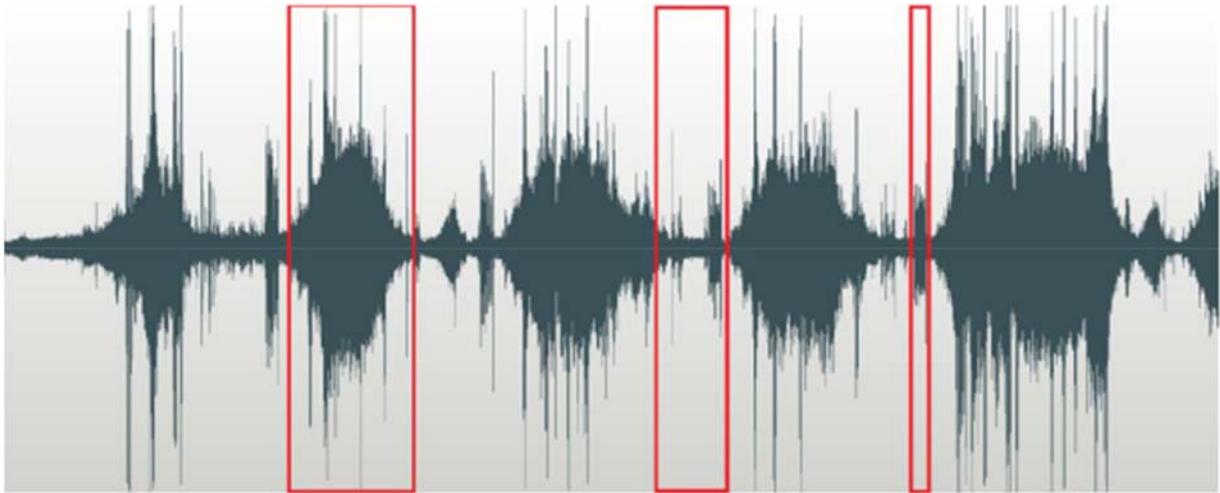


Abbildung A-4: Ergebnisse – Mikrofon (microphone)

Die Messung und Analyse von Aufnahmen mit dem Mikrofon zeigte zum einen, dass eine Spracherkennung aufgrund der vielen Störungen in der lauten Umgebung kaum möglich ist. Zum anderen zeigen aber die Messdaten auch, dass die Erkennung spezieller Geräusche möglich ist sowie anhand der Umgebungslautstärke markante Unterschiede zwischen „Halt“ und „Fahren“ erkennbar sind.

In Abbildung A-4 ist ein Ausschnitt einer typischen Fahrt mit Halt an sechs Stationen abgebildet. Es bestehen klare Unterschiede in der Lautstärke zwischen der Zugfahrt bzw. „Fahren“ (erstes Rechteck) und den Stationen bzw. „Halt“ (zweites Rechteck). Kurz vor Fahrtbeginn ist außerdem ein kurzer Ausschlag (Peak) zu sehen, der das spezielle Geräusch „Warnsignal“ während des Türschließvorgangs zeigt. Daraus lässt sich ableiten, dass das Mikrofon in der Praxis eingesetzt werden kann, um anhand der Umgebungslautstärke die Phasen „Fahrt“ und „Halt“ zu erkennen.

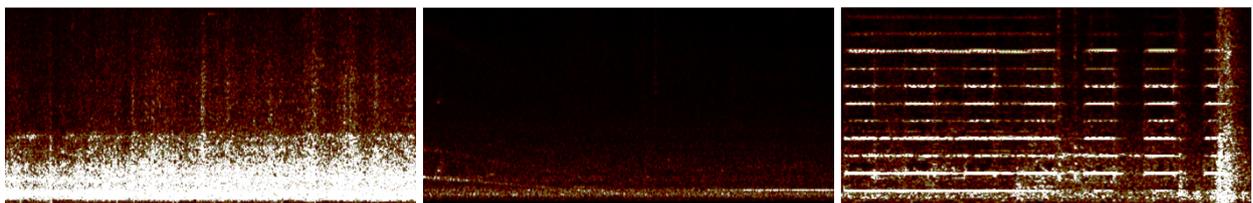


Abbildung A-5: Ergebnisse – Mikrofon (microphone) - Frequenzspektren

Werden die erfassten Audiodaten einer zeitlichen Frequenzanalyse mittels Temporal Fast Fourier Transform (TFFT) - einem Algorithmus zur Berechnung der Frequenzwerte aus PCM-Audiodaten – unterzogen, ergeben sich weitere Erkenntnisse. Abbildung A-5 zeigt das Frequenzspektrum: während einer Zugfahrt

(links), bei Halt im Bahnhof (mittig) sowie des rhythmischen Warntons bei Türschließvorgang (rechts). In den Frequenzspektren „während einer Zugfahrt“ (links) und „bei Halt im Bahnhof“ (mittig) lässt sich erkennen, dass hauptsächlich tiefe Frequenzen zwischen 60 Hz und 250 Hz (unten angeordnet) für den großen Lautstärkeunterschied verantwortlich sind. In dem Frequenzspektrum „rhythmischer Warnton“ (rechts) sind mehrere übereinander gelegte Frequenzen zu erkennen, die etwa denselben Abstand zueinander haben. Die Frequenzen weichen zwischen den U-Bahn-Baureihen leicht voneinander ab. Jedoch sind die Frequenzen 322 Hz, 667 Hz sowie 2347 Hz durchgehend vertreten. Mit einer Mustererkennung für rhythmische Töne auf diesen Frequenzen kann von der App somit das Verlassen des Bahnhofs bestimmt werden.

Im Ergebnis der Untersuchung des Mikrofonsensors wird als eine sinnvolle praktische Einsatzmöglichkeit das Erkennen (mittels Audioanalyse) von „Fahrt“ und „Halt“ (im tiefen Frequenzbereich zwischen 60 Hz und 250 Hz) sowie das Erkennen des speziellen Geräuschs „rhythmischer Warnton bei Türschließvorgang“ (in den Frequenzen 322 Hz, 667 Hz sowie 2347 Hz) festgestellt.

3.5 Lichtsensor

Der Lichtsensor (Photodetektor oder optischer Detektor) kann einen Lichtimpuls in ein messbares elektrisches Signal umwandeln. Er misst die Lichtstärke (in Lux) und kann somit optische Signale verarbeiten.

Der Einsatz des Lichtsensors könnte sinnvoll sein, wenn sich Lichtverhältnisse markant ändern. Während einer U-Bahnfahrt ist dies im Bereich der Fenster der Fall, wenn die U-Bahn in eine Station einfährt oder wenn sie von der unterirdischen Fahrt auf die oberirdische wechselt. Somit könnte über den Lichtsensor festgestellt werden, ob sich die Bahn in einem Bahnhof bzw. Station („heller“) und auf der Fahrtstrecke („dunkler“) befindet. Der Einsatz des Lichtsensors in der Praxis bereitet wahrscheinlich größere Probleme, da eine Benutzung direkt am Fenster nicht garantiert werden kann und auch nicht erzwungen werden soll.

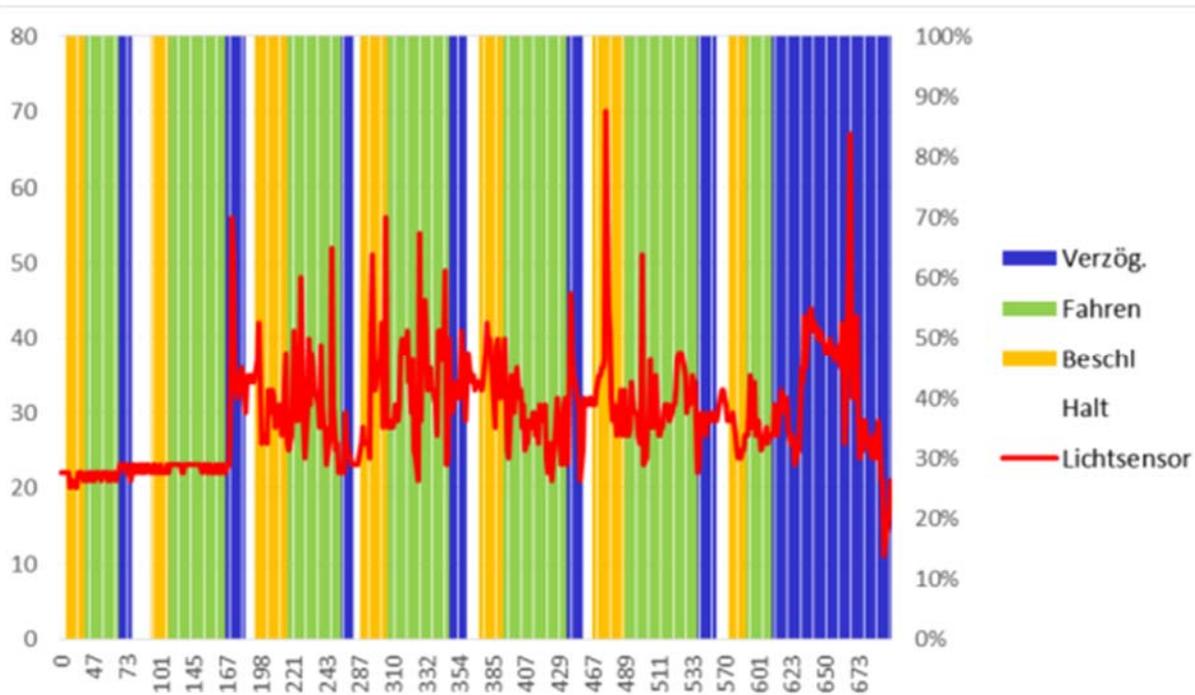


Abbildung A-6: Ergebnisse - Lichtsensor (light sensor)

Die Mess-Ergebnisse des Lichtsensors zeigen nur schwankende, ungenaue Werte, wobei keine signifikanten Eigenschaften oder Muster erkennbar sind. In dem in Abbildung A-6 dargestellten Ausschnitt bleiben in den ersten beiden Abschnitten, in denen die Fahrt unterirdisch verlief, die Werte relativ konstant (unabhängig von Fahrphasen oder Position des Zuges), da aufgrund der Beleuchtung im Fahrgastraum sich die Lichtverhältnisse kaum ändern. Bei der folgenden oberirdischen Zugfahrt schwanken die Werte stark, wobei auch hier keine Korrelation zu Fahrphasen oder Position des Zuges erkennbar ist.

Da durch den Lichtsensor in der Praxis kaum Helligkeits-Unterschiede wahrgenommen wurden, kann für diesen Sensor keine sinnvolle praktische Einsatzmöglichkeit aufgezeigt werden. Zudem würde eine Messung signifikanter Helligkeitsunterschiede zumindest während einer unterirdischen Tunnelfahrt erfordern, dass das mobile Endgerät dauerhaft, während der gesamten Fahrt in einer bestimmten Position (Kamera zum Fenster) gehalten wird. Somit ist dieser Sensor für den praktischen Einsatz nicht geeignet.

4 Konzeption und Entwicklung der U-Bahn-Navigations-App

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde die mobile U-Bahn-Navigations-App „mUvi“ entwickelt, die primär das Mikrofon des Smartphones in Kombination mit dem Magnetsensor und der Uhr für die Positionsbestimmung und Navigation nutzt. Im Folgenden werden zunächst die Funktionsweise der App aus Nutzersicht (Abbildung A-7) und anschließend die Positionsbestimmung anhand der Sensoren beschrieben.

4.1 Funktionsweise der App aus Nutzersicht

Im Hauptmenü der App geben die Nutzenden die Start- und Ziel-U-Bahn-Station der Fahrt an. In der Navigationsoberfläche erhält die Nutzenden dann Informationen über ihre aktuelle Position auf der Strecke (Name der aktuellen oder nächsten Station) und die Anzahl der Stationen bis zum Ziel. Man erhält eine Benachrichtigung (Warnung), sobald der Zug die Station vor der Zielstation verlassen hat (d.h. in den Modus „Fahrt“ nach dem „Halt“ in der Station vor der Zielstation gewechselt ist).

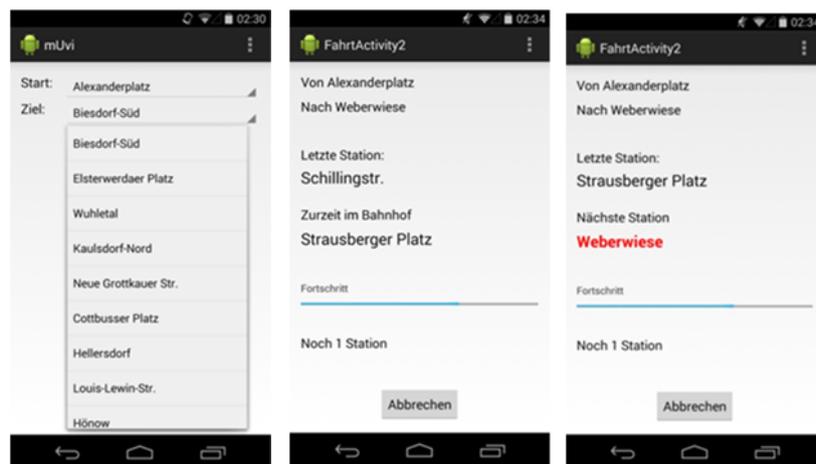


Abbildung A-7: Screenshots: Hauptmenü (links) & Navigation-Interface (mittig & rechts)

4.2 Sensor-basierte Positionsbestimmung

Zur Positionsbestimmung werden die internen Sensoren Mikrofon, Magnetsensor und Uhr genutzt und miteinander kombiniert.

Die „mUvi“-App unterzieht die mit dem Mikrofon aufgenommenen Umgebungsgeräusche einer Frequenzanalyse zur Erkennung der Phasen „Beschleunigen“, „Fahrt“, „Bremsen“ und „Halt“ in drei Schritten: Zuerst werden die Roh-Audio-Daten aufgenommen. Danach werden durch eine Fourier-Transformation diese PCM-Daten

in ihre Bestandteile (Frequenzspektrum) zerlegt, so dass der Pegel der Frequenz berechnet werden kann. Schließlich werden die gewonnenen Pegeldata gespeichert und ausgewertet. Aufgrund der Zunahme oder Abnahme von gemessenen Lautstärken im Vergleich zu der zuvor gemessenen Referenzlautstärke wird auf die Phasen „Halt“ (leiser als zuvor) oder „Fahrt“ (lauter als zuvor) geschlossen. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis der Zug an der Ziel-Station angekommen ist.

Zudem wird der Magnetsensor genutzt, um über eine Feldstärkenanalyse der E-Motoren des Fahrzeuges die Fahrterkennung zu verbessern. Dabei wird anhand von Differenzen im gemessenen Magnetfeld die Beschleunigung erkannt. Darüber hinaus wird die Uhr des Smartphones als „Timer“ genutzt. Hierfür wurden im Vorfeld die typischen Fahr- und Stoppzeiten zwischen den Stationen bestimmt, indem das Streckennetz mit einer ausreichend großen Menge an Fahrten zeitlich vermessen wurde. Da die Fahr- und Stoppzeiten zwischen den Stationen meist relativ gleichbleiben, kann über vergangene Fahrzeit bei einer Fahrt zwischen zwei Stationen eine Wahrscheinlichkeit für die Ankunft im nächsten Bahnhof prognostiziert werden.

Zur Kombination der Sensoren wurde ein Algorithmus entwickelt, der das Prinzip des gewichteten arithmetischen Mittels verwendet [Heuser, 1990]: Dabei wurden die drei Sensoren für die drei Fahrphasen (Zustände) – Beschleunigen, Fahren, Bremsen - jeweils unterschiedlich gewichtet, womit jeweils zuverlässigere Sensoren einen größeren Einfluss auf das Ergebnis haben [Gabler & Ganninger, 2010]. Dabei erhält das Mikrophon für alle drei Fahrphasen eine hohe Gewichtung. Der Fahrzeitsensor (Timer) erhält eine hohe Gewichtung nur in der Phase des „Fahrens“ und auch nur für die Zeit, die markant unterhalb der erforderlichen Fahrzeit liegt. Der Magnetsensor erhält eine hohe Gewichtung in der Beschleunigungsphase, da er diese zuverlässig erkennt.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde das Anwendungsszenario “Mobile U-Bahn-Navigation” motiviert und der Bedarf an dessen Unterstützung durch eine mobile U-Bahn-Navigations-App, die ausschließlich geräteinterne Sensoren zur Erfassung von Daten aus der Umwelt verwendet, diskutiert. Zudem wurden verwandte Ansätze für mobile

Anwendungen zur mobilen U-Bahn-Navigation diskutiert und aus den analysierten Schwachstellen Anforderungen an eine neuartige mobile Anwendung abgeleitet.

Die Ergebnisse einer Literaturstudie zu den Einsatzmöglichkeiten sowie einer empirischen Studie zur praktischen Eignung von in Smartphone standardmäßig eingebauten Sensoren zeigten, dass für den Anwendungsfall „Mobile U-Bahn-Navigation“ geräteinterne Sensoren für Navigations-App nutzbar sind und das Szenario in der Praxis realisierbar ist. Allerdings zeigte die empirische Analyse, dass in der Praxis andere Sensoren sinnvoll einsetzbar sind, als in der theoretischen Analyse ursprünglich konzipiert. Dies hat seine Ursache darin, dass die aus der Literaturanalyse herausgearbeiteten und abgeleiteten Messgrößen durch die Sensoren in der Praxis (während einer U-Bahnfahrt) meist gar nicht erfasst wurden. Stattdessen wurden in der Praxis andere Phänomene gemessen. Z.B. wurde durch den Magnetsensor die Aktivität des Motors anstelle des Magnetfeldes der Erde (Fahrtrichtung des Zuges) erfasst.

Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass der Sensor „Mikrofon“ am besten geeignet ist, um die Position des Nutzers zu erkennen. Magnetsensor und Barometer hingegen sind nur bedingt sowie Beschleunigungssensor und Lichtsensor nicht sinnvoll für die Positionserkennung einsetzbar. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine mobile U-Bahn-Navigations-App „mUvi“ konzipiert und entwickelt, die das Mikrofon des Smartphones für die Positionsbestimmung und Navigation nutzt. Durch die Kombination des Mikrophone-basierten Ansatzes mit weiteren Sensoren (Uhr, Magnetsensor etc.) kann eine noch höhere Genauigkeit und Verlässlichkeit erzielt werden.

Um das entwickelte Verfahren zukünftig weiter zu verbessern, werden derzeit verschiedene Klassifizierungsverfahren untersucht, um einzelne Streckenabschnitte (Strecke zwischen zwei Stationen) der U-Bahn erkennen zu können [Gruner, 2016].

6 Literaturverzeichnis

[Blankenbach, 2014]

Blankenbach, J. (2014): Indoor-Positionierung. In: Kummer et al. (2014): Das Deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen – Band 2015. Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 1019-1020.

[Brachmann, 2012]

Brachmann, F. (2012): A comparative analysis of standardized technologies for providing indoor geolocation functionality. In: 13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics CINTI.

[Carboni et al., 2015]

Carboni, Davide; Manchinu, Andrea; Marotto, Valentina; Piras, Andrea; Serra, Alberto (2015): Infrastructure-free indoor navigation: a case study. In: Journal of Location Based Services, Vol. 9, No. 1, S. 33-54.

[Domhan, 2013]

Domhan, Tobias (2013): MetroNap

<http://www.aptoide.com/app/com.tdomhan.metronap/metro-nap-app-for-nyc-subway>

(Letzter Zugriff: 04.08.2013)

[Ehrlich, 2014]

Ehrlich, C. Real (2014): Smartphone-basierte Innenraumpositionierung von Fußgängern. In: 26. Forum Bauinformatik – 26. Forum Geoinformatik 2014. Shaker Verlag, S. 219-227.

[Gabler & Ganninger, 2010]

Gabler, S.; Ganninger, M. (2010): Gewichtung - Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse. Verlag für Sozialwissenschaften, S. 143-164.

[Ganti et al., 2011]

Ganti, R. K.; Ye, F.; Lei, H. (2011): Mobile crowdsensing: Current state and future challenges. In: IEEE Communications Magazine, Vol. 49, Nr. 11, S. 32-39.

[Gruner, 2016]

Gruner, Christian (2016): Einsatz von Klassifikationsverfahren für die mobile U-Bahn-Navigation. Master-Arbeit, HTW Berlin, Berlin,

[Guo et al., 2014]

Guo, Bin; Yu, Zhiwen; Zhou, Xingshe; Zhang, Daqing (2014): From participatory sensing to mobile crowd sensing. In Proceedings of PERCOM Workshops. S. 593–598.

[Guo et al., 2015]

Guo, Bin; Wang, Zhu; Yu, Zhiwen; Wang, Yu; Yen, Neil Y.; Huang, Runhe; Zhou, Xingshe(2015) Mobile Crowd Sensing and Computing: The Review of an Emerging Human-Powered Sensing Paradigm. In: ACM Computing Surveys, Vol. 48, No. 1, Article 7 (August 2015), DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2794400>.

[Heuser, 1990]

Heuser, H. (1990): Lehrbuch der Analysis, Teil 1, 8. Auflage. Stuttgart: Teubner.

[Karpakova, 2012]

Karpakova, Elizaveta (2012): Untersuchung der Sensordaten einer mobilen Navigationsanwendung unter dem Betriebssystem Android. Bachelorarbeit. Beuth Hochschule für Technik (BHT), Berlin.

[Kessel, 2013]

Kessel, Moritz (2013): Bereitstellung von Umgebungsinformationen und Positionsdaten für ortsbezogene Dienste in Gebäuden. Dissertation, TU München (TUM), München.

[Lane et al., 2010]

Lane, N. D.; Miluzzo, E.; Lu, H.; Peebles, D.; Choudhury, T.; Campbell, A. T. (2010): A survey of mobile phone sensing. In: Comm. Mag., Vol. 48 Nr. 9, S. 140-150.

[Li et al., 2015]

Li, Xiujuan; Zhou, Yan; Xiong, Hanjiang (2015): 3D Indoor Location on Mobile Phones Using Embedded Sensors and Close-Range Photogrammetry. In: Georg Gartner, Haosheng Huang (Hrsg.): Progress in Location-Based Services. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Berlin/Heidelberg, Springer, S. 79-90.

[Liu, 2013]

Liu, Ming (2013): A Study of Mobile Sensing Using Smartphones. In: International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 2013, Article ID 272916, doi:10.1155/2013/272916.

[McGrath & Scanail, 2013]

McGrath, Michael J.; Scanail, Cliodhna Ni (2013): Sensor Technologies - Healthcare, Wellness and Environmental Applications. Apress.

[Namiot, 2015]

Namiot, Dmitry (2015): On Indoor Positioning. In: International Journal of Open Information Technologies, Vol. 3, Nr. 3, S. 23-26.

[Sheinker et al., 2016]

Sheinker, Arie; Ginzburg, Boris; Salomonski, Nizan; Frumkis, Lev; Kaplan, Ben-Zion; Moldwin, Mark B. (2016): A method for indoor navigation based on magnetic beacons using smartphones and tablets. In: Measurement, Volume 81, Elsevier, S. 197–209.

[Wagner, 2012]

Wagner, Roland (2012): Indoor and underground orientation and navigation by using the barometer sensor. In: DroidCon 2012. <http://lanyrd.com/2012/droidconde/sqhr/>.

[Wendel, 2007]

Wendel, Jan (2007): Integrierte Navigationssysteme - Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation. De Gruyter Oldenbourg, München.