

# Smartphonebasierte Step-by-Step Indoor-Navigationslösung ohne kontinuierliche Positionserkennung

Ewald Wieser, Tomas Kasanicky, Florian Schiesterl, Bernhard Griebler, Christoph Fabritz, Kerstin Blumenstein, Grischa Schmiedl

Fachhochschule St. Pölten, Institut für Creative Media Technologies, Mobile Forschungsgruppe  
[ewald.wieser@fhstp.ac.at](mailto:ewald.wieser@fhstp.ac.at)

## Zusammenfassung/Abstract

In diesem Paper wird das Konzept und ein Prototyp eines Step-by-Step basierten Inhouse-Navigationssystems vorgestellt, welches aus technischen und finanziellen Gründen auf eine kontinuierliche Positionserkennung verzichtet und mit vergleichsweise geringem Aufwand an neuen Orten eingeführt werden kann. Im Vorfeld wurden in einer intensiven Recherche bestehende Systeme zur Positionsbestimmung in Gebäuden analysiert und auf ihre Zuverlässigkeit und Flexibilität untersucht. Diese Parameter führten zur Entscheidung, die Positionsbestimmung auf der Basis von künstlich angebrachten, visuellen Landmarks in Form von QR (Quick Response)-Codes zu realisieren. Eine mögliche Erweiterung durch Echtzeit-Lokalisierungssysteme wird jedoch nicht ausgeschlossen. Die Routingberechnung basiert auf dem Setzen von Knoten an Start-, Endpunkten und Abzweigungen sowie Kanten, die diese Knoten verbinden. Jeder Kante wird dabei nach Länge und Art eine Gewichtung zugeordnet, aufgrund derer mit Hilfe des Dijkstra-Algorithmus der kürzeste Weg zwischen zwei Knoten berechnet wird. Weitere Parameter bieten die Möglichkeit, auf die Routenberechnung einzuwirken und ermöglichen so eine Prioritätensetzung und im Bedarfsfall Barrierefreiheit bei der Navigation. Mit Hilfe eines einfachen Backends für die Erstellung eines Routing-Netzwerkes für ein neues Gebäude, können die Einrichtungskosten auf einem Minimum gehalten werden. Durch Klicken in einer Karte des Gebäudegrundrisses können schnell Wegzüge erstellt und durch Auswahl aus vordefinierten Knoten- und Kantenkategorien einfach parametrisiert werden. Um die Navigation anhand der berechneten Route für Smartphone-BenutzerInnen verständlich zu machen, wird die Route in kleinen, übersichtlichen Schritten (Steps) dargestellt, die sowohl auf einer maßstabsgetreuen Karte, wie auch als dynamisch generierter Text angezeigt werden. Die Zielsuche wird dabei durch eine Auswahlliste anhand von Knotenkategorien (Büro, Seminarraum, WC, ...) erheblich erleichtert. Anhand eines Sets von Usabilitytests wird gezeigt, dass das System, bestehend aus den QR-Codes zur Positionsfindung und einer Smartphone-Anwendung zur Navigation, von BenutzerInnen ad hoc verstanden wird und zur Navigation innerhalb von den BenutzerInnen unbekanntem Gebäuden eingesetzt werden kann.

## 1 Einleitung

Mit der stark zunehmenden Verbreitung von Smartphones und durch deren technischen Möglichkeiten, wird das Thema der Inhouse-Navigation immer wichtiger. Im Gegensatz zur Lokalisierung im Freien, die grundsätzlich auf dem satellitenbasierten System GPS (Global Positioning System) aufbaut und durch andere Systeme unterstützt wird, ist die Positionserkennung innerhalb von Gebäuden nicht so einfach umsetzbar. Klassische Positionierungssysteme funktionieren dort nur mangelhaft und zusätzlich verliert der/die BenutzerIn, aufgrund von baulichen Gegebenheiten, schnell die Orientierung und weiß oft nicht, in welche Richtung er/sie gehen soll. Obwohl bereits einige Ansätze zur funkbasierten Inhouse-Lokalisierung existieren, sind diese Systeme meistens unzuverlässig oder aufwändig und teuer in der Erstinstallation. Ein weiterer Nachteil ist bei manchen Systemen die Anfälligkeit auf räumliche Veränderungen (Verschieben von Tischen, etc.). Hinzu kommt die gerätespezifische Hardware die unterschiedliche Genauigkeiten erlaubt. Daher sind solche Systeme für den schnellen Einsatz an stark variierenden Orten, wie es beispielsweise bei Messen und Ausstellungen oft der Fall ist, nicht geeignet.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, ein Konzept für ein technisch funktionsfähiges Indoor-Navigationssystem zu entwickeln, das unabhängig von den verschiedenen Smartphone-Betriebssystemen und existierenden Positionsbestimmungstechnologien einfach und kostengünstig an neuen und veränderlichen Orten eingesetzt werden kann. In Kapitel 2 werden die Erkenntnisse einer umfangreichen Recherche über bestehende Systeme zur Positionsbestimmung in Gebäuden präsentiert und auf ihre Zuverlässigkeit und Flexibilität untersucht. Diese Erkenntnisse flossen in die Erarbeitung eines eigenen Konzepts auf der Basis von künstlich angebrachten, visuellen Landmarks in Form von QR (Quick Response)-

Codes, welches in Kapitel 3 präsentiert wird. In Kapitel 4 werden die durchgeführten Usabilitytests mit dem entwickelten Prototyp erläutert. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 zusammengefasst und Kapitel 6 bietet einen Ausblick auf mögliche Verbesserungen und Erweiterungen des Systems.

## 2 Previous Work

### 2.1 Lokalisierungsmethoden

Es bestehen zahlreiche, unterschiedliche Ansätze, um die Position innerhalb von Gebäuden festzustellen. Die Lokalisierungsmethoden lassen sich in drei Kategorien einteilen:

1. funkbasierte,
2. magnetfeldbasierte und
3. Audio/Video-basierte.

Die Umsetzung eines dieser drei Systeme sind Smartphone auf dem derzeitigen Stand der Technik bereits möglich.

#### 2.1.1 Funkbasierte Lokalisierungsmethoden

Bei den funkbasierten Lokalisierungsmethoden können unterschiedliche Parameter für die Positionierung herangezogen werden. Dabei werden die triangulationsbasierten und die fingerprintbasierten Verfahren unterschieden.

Bei der ersten Kategorie (triangulationsbasiert) handelt es sich um mathematische Verfahren, die Mithilfe von Dreieckseigenschaften, die Position eines Objekts im Raum bestimmen. Hierbei gibt es zwei Ausprägungen, die Lateration und die Angulation. Bei der Lateration wird die Position des Objekts durch die Messung der Distanzen zu mehreren Referenzpunkten bestimmt. Die genutzten Messwerte sind meistens TOA (time of arrival), TDOA (time difference of arrival) und RTOF (roundtrip time of flight). Bei der Angulation wird die Position des Objektes mithilfe von Winkeln, die relativ zu Referenzpunkten stehen, berechnet. Ein möglicher Messwert ist der AOA (Angle of Arrival). Einen guten Überblick bietet die Arbeit von Liu et al. [1]

Bei der Fingerprint Methode wird das aktuell empfangene Signal mit einem, zu einem früheren Zeitpunkt aufgenommenen Signal verglichen und so die Position bestimmt. Das Verfahren besteht demnach aus zwei Schritten. Im Ersten wird eine Datenbank aufgebaut, also Signale gesammelt und mit deren Position abgespeichert. Im zweiten Schritt werden die neuen Signale mit den vorhandenen Daten verglichen und so die Position bestimmt. [2]

Auch bei der benutzten Funktechnologie gibt es eine große Auswahl. Es kann zum Beispiel Wi-Fi, Bluetooth, FM, RFID oder NFC als Quelle herangezogen werden. Die Arbeiten von Chen et al. [3], Ghannouchi et al. [4] und Wang et al. [5] haben gezeigt, dass eine Kombination aus mehreren Technologien zu einem besseren Ergebnis führt. Ein weiteres Faktum, das beim Vergleichen der verschiedenen Systeme auffällt, ist die Komplexität. So ist bei dem Triangulation-Verfahren in den meisten Fällen eine erhebliche Anpassung notwendig, da die gängigen Geräte, wie WLAN Router, nicht die notwendigen Eigenschaften von Grund auf unterstützen, wie das „TDOA basiertes System“ [6] aufzeigt. Der Vorteil ist jedoch, wenn ein solches System einmal eingerichtet ist und eine annehmbare Genauigkeit bietet, grundsätzlich über eine lange Zeit genau so gute Werte liefert. Die Fingerprint basierten Verfahren sind hingegen mit einer längeren Vorbereitungsphase verbunden, aber meistens muss keine Anpassung des Systems betrieben werden. Dadurch sind solche Systeme weniger komplex. Der Nachteil liegt aber darin, dass viele Signale sehr stark auf Änderungen, die durch Personen oder Gegenstände verursacht werden, reagieren und so die aufgenommenen Werte schon nach kurzer Zeit mit den abgespeicherten nicht mehr übereinstimmen. *In Hinblick auf unser System sind deswegen beide Arten nicht geeignet, da für die triangulationsbasierte Methode die Infrastruktur nicht gegeben ist und durch die Gegebenheiten des Gebäudes ist auch die zweite Methode ungeeignet, da die aufgenommenen Daten schon nach kurzer Zeit unbrauchbar wären.*

### 2.1.2 Magnetfeldbasierte Lokalisierungsmethoden

Magnetische Störungen eignen sich zur Orientierung, da sie räumlich einzigartig sind, sich mindestens im Dezimeter-Bereich variieren und über Monate, wenn nicht Jahre, stabil bleiben [7]. Voraussetzungen dafür sind eine gleichbleibende Bausubstanz und unveränderte Leitungen und Geräte. Dass diese Methode grundsätzlich zur Orientierung funktioniert, wurde unter anderem von Rahok und Ozaki [8], Gozick et al. [9], Storms et al. [10] und Chung et al. [7] in Versuchen nachgewiesen. Es bleibt allerdings unbeantwortet, wie stark sich andere elektronische Geräte, vor allem Verbraucher mit einem großen magnetischen Störfeld wie Elektromotoren und Vorschaltgeräte von Leuchtstoffröhren auf die Genauigkeit auswirken.

### 2.1.3 Audio/Video-basierte Lokalisierungsmethoden

Eine gängige Möglichkeit der Standortbestimmung ist auch das Erkennen eines Standortes via audiovisueller Einflüsse. Hier können die Herangehensweisen wiederum in zwei Teilbereiche gegliedert werden. Eine Möglichkeit besteht laut Azizyan et al. [11], Friedland et al. [12] und Kawaji et al. [13]. darin, vorhandene, natürlich vorkommende Landmarks, also möglichst eindeutige Eigenschaften eines Ortes, zu verwenden, um diesen zu identifizieren [12], [13]. Dabei wird grundsätzlich in allen Fällen versucht, möglichst viele Informationen zu sammeln, zu kategorisieren und auf einem Server als Datenbank anzulegen. Während Friedland et al. [12] versuchen, anhand verschiedener Daten eine möglichst genaue Ortsbestimmung durchzuführen, werden andere Projekte auf dem Versuch aufgebaut, mittels Smartphone die Umgebung semantisch zu erfassen, und die „Sinneseindrücke“ des Geräts zu nutzen [11]. So unterscheiden sich beispielsweise Helligkeit und Lautstärkepegel in einem Geschäft maßgeblich von denen, eines Pubs. Bei Nutzung von Mikrofonen, Accelerometer, Kamera und Wi-Fi konnte hierbei aus 51 Datensätzen eine Trefferrate des richtigen Shops von 87% erreicht werden, mit Wi-Fi alleine waren es nur 70%. Bei einem anderen, rein auf die Echocharakteristika von Räumen beschränkten, Projekt namens „Name that Room“ [14] wurden 40 echolose Sound Samples in verschiedenen Aufteilungen in Trainings- und Testgruppe verwendet, um einen aus sieben Räumen zu erkennen. Hier konnte bei Sprachsignalen eine Genauigkeit von 85% erreicht werden, für Musiksignale 61%. Einen Schritt weiter gehen dabei Tarzia et al. [15], die ein sogenanntes Acoustic background Spectrum – ABS verwenden, um einen Fingerprint von Räumen zu erstellen. Hier wurde auch in verschiedenen Umgebungssituationen getestet. Einerseits in leisen Zeiten, in Konversationszeiten (Vorlesungssituation) und während Gesprächszeiten, wenn viele Studierende anwesend waren. Dabei konnte festgestellt werden, dass während der Gesprächszeiten eine Genauigkeit von lediglich 3% erreicht werden konnte, in Konversationszeiten jedoch immerhin bis zu 63% unter der Voraussetzung, dass der Testfrequenzbereich auf 0-300Hz eingegrenzt wurde, was Sprachfrequenzen ausklammert [15].

Die zweite Herangehensweise ist das Erstellen künstlicher Landmarks. Laut Oschatz [16] kann hier beispielsweise durch das Anbringen und Scannen von QR-Codes kurzfristig eine sehr große Genauigkeit erreicht werden. Eine laufende Positionsbestimmung ist hier allerdings nicht möglich. Die sogenannte Koppelnavigation, oder Dead Reckoning, nimmt sich dieses Problems an und ermöglicht es, durch die Kombination von Accelerometer und Kompass, den NutzerInnen zu verfolgen und eine ungefähre Position zu bestimmen. Erweitert wurde die Bestimmung durch das Eintragen von Wänden, wodurch das Springen über Wände ausgeschlossen werden kann. So konnte in 20 Testläufen im Queens Medical Centre der Nottingham University ein Positionierungsfehler von 3,8% oder 1,52 Schritten auf 40 Schritte festgestellt werden. Durch das Miteinbeziehen von Luftaufnahmen und die Berechnung der Ausrichtung des Gebäudes konnte laut Oschatz [16] der Positionierungsfehler auf einer Strecke von 2700 Meter auf 2,3 Meter oder 0,1% reduziert werden. Eine weitere Möglichkeit ist laut Piontek et al. [17] das Erstellen von Ultraschall- und Funk-Landmarks, wobei in gewissen Abständen kombinierte Funk- und Ultraschallsender angebracht werden müssen. Ähnlich wie bei der Navigation via GPS können durch die unterschiedliche Zeit des Eintreffens gleichzeitig ausgesandter Signale die Entfernungen zu mehreren Punkten berechnet werden. Ab drei Landmarks kann dabei die Position genau bestimmt werden [17].

## 2.2 User-Experience von Navigationssystemen

Um User-Experience (UX) für ein Navigationssystem zu schaffen, existieren bereits verschiedene Lösungsansätze. Als häufig verwendetes Interface-Paradigma gelten „Points of Interest“ (POI). Durch POIs können für den User interessante Orte auf der Karte visualisiert werden. Dabei ist der relative Bezug zur aktuellen Position des Users relevant, damit sich der User in Gebäuden gut zurechtfinden kann. Eine genaue Positionsbestimmung ist notwendig. Im Indoor-Einsatz ist dies daher problematisch. Google Maps bietet momentan beschränkten Zugriff auf Indoor-Karteninhalte, welche auf dem POI-Prinzip basieren.

Mulloni et al. beschrieben Activity Based Instructions bzw. das Step-By-Step Navigationspattern (zB. „Gehe 30 Schritte gerade aus“ oder „Biege jetzt links ab“) als möglichen Lösungsansatz. Diese benötigen keine genaue Positionsbestimmung, sind jedoch fehleranfälliger, da schwer erkannt werden kann ob, wann und wo der User vom Pfad abweicht. Um diese Fehler zu vermeiden, helfen Checkpoints, welche an kritischen Schlüsselstellen platziert werden und dem User ermöglichen seinen Standort neu zu orten sowie genaues Feedback zu erhalten. Ein Checkpoint kann beispielsweise ein Marker oder ein QR-Code sein [18]. Die AMNH Explorer App stellt eine Navigationssystem für ein Museum bereit, welches auf dem Step-By-Step Navigationspattern basiert [19].

Taher et al haben eine Kombination aus Fixed Displays und mobilen Endgeräten genutzt, um ein effizientes Indoor-Navigationssystem zu bilden. Dabei wurden Displays vor Büros und an Weggabelungen im Gebäude installiert, um den User zu leiten [20].

## 3 Konzept

Auf Basis dieser umfangreichen Recherche wurde ein Konzept für eine Smartphoneanwendung zur Indoor-Navigation erarbeitet und auch prototypisch für die Fachhochschule St. Pölten umgesetzt, samt Datenhaltung in einer Datenbank und Dateneingabe über ein dazugehöriges Backend.

Als zentrales Element der Applikation steht ein smartes Suchfeld, über welches auf alle vorhandenen Standorte des FH-Gebäudes zugegriffen werden kann (vgl. Abbildung 1: Suchfeld). Dies inkludiert Personen, Räumlichkeiten sowie Gebäudetypen (beispielsweise WC oder Essen). Optional kann ein Standort auch über die Kategorieübersicht gefunden werden. Im Mittelpunkt der App stehen die Inhalte selbst. Wird ein Standort angewählt, werden mittels eines Akkordeon-Patterns Zusatzinformationen und ein Button für „Hierhin navigieren“ angezeigt (vgl. Abbildung 3: Akkordeon). Der/die BenutzerIn benötigt also zwei Schritte, um die Navigation zu starten. Dies verhindert die Auswahl eines ungewollten Ortes und ermöglicht den Usern den Ort zu korrigieren und Zusatzinformationen einzufordern. Wird die Navigation gestartet, verschmälert sich das Suchfeld, um Platz für die Step-By-Step UI-Elemente zu machen (vgl. Abbildung 4: Stepansicht). Das Suchfeld verbleibt allerdings im Kopfbereich der Anwendung und ist nach wie vor aktiv. So kann der User jederzeit sein Ziel korrigieren und eine neue Suche starten. Das Feld dient dabei gleichzeitig auch als Überschrift für den Screen, dadurch ist ein Screen-Wechsel nicht notwendig. Dies bietet zudem den Vorteil, dass dem User die Funktionsweise des Suchfeldes bereits bekannt ist. Sobald die Navigation zum ausgewählten Ziel gestartet wurde, wird der User aufgefordert seine aktuelle Position zu bestimmen. Dies geschieht über das Scannen eines QR-Codes (vgl. Abbildung 2: QR-Code scannen). Diese Marker wurden für das Testsetting an allen relevanten Punkten konsistent platziert. Anschließend startet die Navigation und gibt dem/der BenutzerIn ausgehend vom Startpunkt die erste Step-Anweisung. Fortan muss er/sie manuell zu den nächsten Steps weiterschalten (vgl. Abbildung 4: Stepansicht). Der/die NutzerIn kann seine Position mit dem Button rechts oben jederzeit mittels Scan eines Codes neu bestimmen. Dies ist wichtig, damit der/die NutzerIn jederzeit seine/ihre Route korrigieren kann. Die Navigation stellt eine zweidimensionale Kartenansicht in den Mittelpunkt, welche via Zoom manipuliert werden kann. Diese verzeichnet den Weg, den der/die BenutzerIn pro Step zurücklegen muss. Im unteren Bereich gibt eine Textanweisung zusätzliche Informationen.



Abbildung 1: Suchfeld

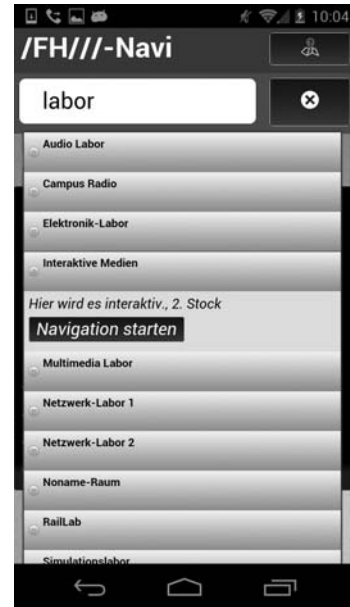


Abbildung 3: Akkordeon



Abbildung 2: QR-Code scannen

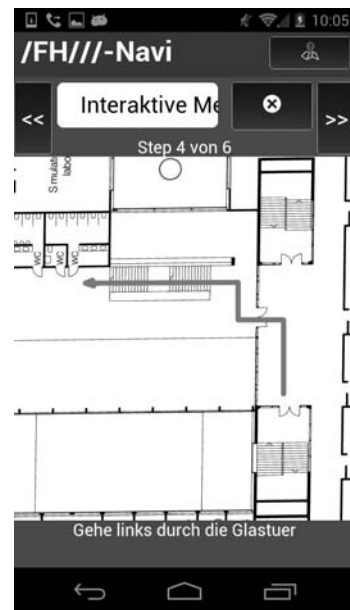


Abbildung 4: Stepsicht

Ein erster Prototyp wurde als einfacher Paper-Prototyp umgesetzt, die Umsetzung des funktionalen Prototypen erfolgte als HTML-WebApp, welche mit Hilfe des Phonegap-Frameworks<sup>1</sup> in eine native Smartphone-Anwendung umgewandelt wurde. Mit Hilfe eines entsprechenden Plugins wurde ein Codescanner zum Scannen der QR-Codes direkt in die Anwendung integriert.

Für die Datenhaltung wurde eine eigene Datenbankstruktur auf einem Server angelegt, in der Wegpunkte (Knoten) und deren Verbindungen (Kanten) zusätzlich zu Name und Beschreibung mit weiteren Informationen zu Barrierefreiheit und Schwierigkeit (Lift schneller als Stufen) versehen werden. Jeder Knoten ist

<sup>1</sup> <http://phonegap.com/>





rInnen auf, dass die Karte nicht von Hand drehbar war. Diese Funktion könnte das Zurechtfinden erleichtern. Probleme traten auch bei den Stepumschaltungen auf. Hier könnte eine Kombination mit Techniken wie Bluetooth LE (Tags an Transitionen) dafür sorgen, dass das Gerät erkennt, wenn man sich bei einer Transition befindet und automatisch zum nächsten Step umschaltet. Der Prototyp hatte eine Schwäche in Bezug auf die Verfügbarkeit der Daten. Da sehr viele Serverzugriffe nötig waren, musste ständig eine Internetverbindung verfügbar sein. Es empfiehlt sich daher, für zukünftige Implementierungen, mehr Daten lokal zu speichern.

Diese Überlegungen und weitere Erkenntnisse aus den Usabilitytests können für eine weitere Überarbeitung des Prototypen und Überführung in eine ausgereifte Smartphone-Anwendung herangezogen werden.

## 6 Future Work

Um eine bessere Navigation zu gewährleisten, gibt es zahlreiche Methoden und Erweiterungen, die angewandt werden können. Zum Einen können Richtungsinformationen in die QR-Markierungen integriert werden. Dadurch können Anweisungen generiert werden, welche die Blickrichtung der AnwenderInnen berücksichtigen. Um den BenutzerInnen ein besseres Bild zu vermitteln, könnten manche QR-Markierungen mit Fotos verknüpft werden. Diese visuelle Rückmeldung kann den AnwenderInnen zusätzliche Hilfsmittel und die Sicherheit, sich auf den richtigen Weg zu befinden, geben.

Auch an der textuellen Wegbeschreibung können Verbesserungen durchgeführt werden. Eine Möglichkeit hier, ist es Beschreibungen anzubieten, welche die nächsten Schritte miteinbeziehen. Aus „Gehen Sie durch die Glastür“ und „Gehen Sie den Gang entlang“ würde „Gehen Sie durch die Glastür und dann nach links den Gang entlang“. Aus der Verknüpfung wird klar, dass es links weitergeht, sonst müsste sich der/die BenutzerIn selbst anhand der Karte drehen.

Zu jedem System gehört eine funktionierende Fehlererkennung mit anschließenden Informationen zu deren Behebung. Im Fall eines Navigations-Programmes, ist dies die Erkennung, wenn sich der/die BenutzerIn verlaufen hat. Hierzu bieten sich Signale wie NFC oder Bluetooth LE an, welche mit der Route abgeglichen werden können. Sollte sich der/die BenutzerIn verlaufen, könnten ihm/ihr so Wege zu seinem/ihrer Ziel angeboten werden.

Es gibt zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten, die auf Programme im Allgemeinen angewandt werden können. Hierzu zählt die Entscheidung, ob eine native Oberfläche den zusätzlichen Aufwand durch ein flüssigeres Nutzungserlebnis rechtfertigen würde. Von größerer Tragweite ist jedoch die Möglichkeit zu implementieren, das Programm ohne bestehende Internetverbindung zu nutzen. Hierdurch würde das System robuster gegen Server- und Internetausfälle. Zudem können die Anfragen der BenutzerInnen und das Einlesen der Markierungen zentral aufgezeichnet werden. Durch diese Daten lassen sich statistische Auswertungen erstellen. Man könnte die Raumbelagungen dahingehend optimieren, um bspw. den Studierenden einen möglichst kurzen Weg zu sichern oder sicherstellen, dass sich Klassenbewegungen nicht kreuzen, um Engpässe zu vermeiden. Außerdem lassen sich so Fragen an die Datenbank stellen, zum Beispiel welche Räume am schwersten aufzufinden sind, um die Gründe hierzu zu erforschen und sie leichter auffindbar zu machen.

Eine weitere Überlegung ist, das System für Equipment zu erweitern. Dadurch kann man erfahren, wo es sich aufhält und so einer Person zu gestatten, es schneller zu finden.

Eine Frage, die zusätzlich geklärt werden muss, ist jene der Integration in das Gebäude der FH St. Pölten. Die Menge an QR-Markierungen könnte einen negativen Einfluss auf das Erscheinungsbild haben. Hier bedarf es einer fachmännischen Gestaltung und Einbindung in das bestehende Design, nicht nur der QR-Markierungen, sondern auch der Broschüren und Informationstafeln, welche die Aufmerksamkeit möglicher NutzerInnen auf das Navigationssystem lenken soll.



## 7 Literaturverzeichnis

- [1] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *Ieee Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, Nov. 2007.
- [2] S. Soonjun, S. Promwong, and P. Chertanomwong, "Improvement of RFID based location fingerprint technique for indoor environment," in *9th International Symposium on communications and Intormation echnology*, Icheon, 2009, pp. 916–921.
- [3] Y. Chen, D. Lymberopoulos, J. Liu, and B. Priyantha, "FM-based indoor localization," in *10th International conference on Mobile Systems, applications, and services*, New York, NY, USA, 2012, p. 169.
- [4] F. M. Ghannouchi, D. Wang, and S. Tiwari, "Accurate wireless indoor position estimation by using hybrid TDOA/RSS algorithm," in *2012 IEEE Interantional Conference on Vehicular Electronics and Safety*, Istanbul, 2012, pp. 437–441.
- [5] R. Wang, F. Zhao, H. Luo, B. Lu, and T. Lu, "Fusion of Wi-Fi and bluetooth for indoor localization," in *1st international workshop on Mobile location-based service*, New York, NY, USA, 2011, pp. 63–66.
- [6] R. Yamasaki, A. Ogino, T. Tamaki, T. Uta, N. Matsuzawa, and T. Kato, "TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN," in *Wireless Communications and Networking Conference*, 2005, vol. 4, pp. 2338–2343.
- [7] J. Chung, M. Donahoe, C. Schmandt, I.-J. Kim, P. Razavai, and M. Wiseman, "Indoor location sensing using geo-magnetism," in *9th international conference on Mobile systems, applications, and services*, New York, NY, USA, 2011, pp. 141–154.
- [8] S. A. Rahok and Ozaki Koichi, "Odometry correction with localization based on landmarkless magnetic map for navigation system of indoor mobile robot," in *4th International Conference on Autonomous Robots and Agents*, Wellington, 2000, pp. 572–577.
- [9] B. Gozick, K. P. Subbu, R. Dantu, and T. Maeshiro, "Magnetic Maps for Indoor Navigation," *Ieee Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, no. 12, pp. 3883–3891, Dec. 2011.
- [10] W. Storms, J. Shockley, and J. Raquet, "Magnetic field navigation in an indoor environment," in *Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Services*, Kirkkonummi, 2010, pp. 1–10.
- [11] M. Azizyan and R. R. Choudhury, "SurroundSense: mobile phone localization using ambient sound and light," *Acm Sigmobile Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 13, no. 1, p. 69, Jun. 2009.
- [12] G. Friedland, O. Vinyals, and T. Darrell, "Multimodal Location Estimation." International Computer Science Institute, 08-May-2010.
- [13] H. Kawaji, K. Hatada, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Image-based indoor positioning system: fast image matching using omnidirectional panoramic images," in *1st ACM international workshop on Multimodal pervasive video analysis*, New York, NY, USA, 2010, p. 1.
- [14] N. Peters, H. Lei, and G. Friedland, "Name that room: room identification using acoustic features in a recording," in *20th ACM international conference on Multimedia*, New York, NY, USA, 2012, p. 841.
- [15] S. P. Tarzia, P. A. Dinda, R. P. Dick, and G. Memik, "Indoor localization without infrastructure using the acoustic background spectrum," in *9th international conference on Mobile systems, applications, and services*, New York, NY, USA, 2011, pp. 155–168.
- [16] A. Oschatz, "Indoor-Positionierung mittels Smartphone," Seminararbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, München, 2011.
- [17] H. Piontek, M. Seyffer, and J. Kaiser, "Improving the accuracy of ultrasound-based localisation systems," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 11, no. 6, pp. 439–449, 2007.
- [18] A. Mulloni, H. Seichter, and D. Schmalstieg, "Handheld augmented reality indoor navigation with activity-based instructions," in *13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, New York, NY, USA, 2011, p. 211.
- [19] American Museum of Natural History, "Explorer: The American Museum of Natural History for iPhone, iPod touch, and iPad on the iTunes App Store," 2011. [Online]. Available: <https://itunes.apple.com/us/app/amnh-explorer/id381227123?mt=8>. [Accessed: 15-Dec-2012].
- [20] F. Taher, K. Cheverst, M. Harding, and D. Fitton, "Formative studies for dynamic wayfinding support with in-building situated displays and mobile devices," in *8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, New York, NY, USA, 2009, pp. 1–10.