



Masterarbeit

Lighthouse Keeper

Ein neues Verfahren zur Planung und Evaluation von iBeacon Konfigurationen

von

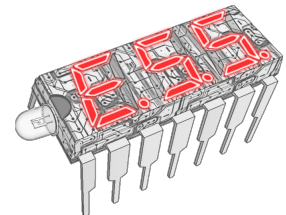
André Pieper

Geb. 28.03.1988 in Berlin

Matrikelnummer: 184960

31. März 2015

Erstprüfer: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Zug
Otto-von-Guericke-Universität
Fakultät für Informatik
Institut für Verteilte Systeme
Lehrstuhl Embedded Smart Systems
Universitätsplatz 2, D-39106, Magdeburg



Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Abbas Omar
Otto-von-Guericke-Universität
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Institut für Informations- und Kommunikationstechnik
Lehrstuhl für Hochfrequenz- und Kommunikationstechnik
Universitätsplatz 2, D-39106, Magdeburg



Kurzdarstellung

Satellitengestützte Navigationssysteme sind in der heutigen Zeit ein fester Bestandteil des alltäglichen Lebens. Sie ermöglichen zum Beispiel die Orientierung eines Autofahrers auf für ihn fremden Straßen und sind mittlerweile serienmäßig in Autos, Smartphones und sogar Kameras integriert. Aber die Signale der satellitengestützten Lokalisierungs-Systeme wie GPS, GLONASS und Galileo verlieren sich in Gebäuden, da sie durch deren Strukturen absorbiert, bzw. reflektiert werden. Dabei soll, so wie die „Outdoor“-Lokalisierungssysteme den Straßenverkehr revolutionierten, ein neues „Indoor“-System das Vorankommen von Menschen in Gebäuden verändern: die iBeacons. Während es viele Unternehmen gibt, die diese Technik bereits herstellen und vermarkten, gibt es jedoch noch keine zufriedenstellende Strategie, die nötige Infrastruktur für ein Lokalisierungssystem aus iBeacons effizient zu planen und zu testen. Gegenstand dieser Arbeit soll es sein, ein mögliches Verfahren dafür zu entwickeln und sich dabei verstärkt auf Automation mithilfe von Robotern zu konzentrieren, um das Potential dieser jungen Technologie weiter auszuschöpfen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik - Einführung in die Beacon-Technologie	3
2.1 Entwicklungsgeschichte	3
2.2 Aufbau und Funktionsweise von Beacons	4
2.3 Ortungsmethoden	5
2.3.1 Definitionen von Bereiche	6
2.3.2 Mikro-Lokalisierung	7
2.4 Anwendungsbereiche der Indoor-Lokalisierung	9
2.4.1 Mögliche Einsatzszenarien	9
2.4.2 Planungskonzepte für Beacon-Konfigurationen	10
Literaturverzeichnis	12
Anhang	14
A Bilder	14
B Tabellen	14
C App-Aufbau	14
Selbstständigkeitserklärung	15

Abbildungsverzeichnis

1.1	Skizze satellitengestütztes Lokalisierungssystem [9]	1
2.1	Offizielles Bluetooth Smart Logo [7]	3
2.2	Offizielles iBeacon Logo [5]	3
2.3	Explosionszeichnung Beacon [11]	4
2.4	Signalschwächung durch Objekte, zB. Wände [4]	5
2.5	Körper von Menschen blockieren zusätzlich die Signale [4]	5
2.6	Beispiel einer Trilateration zur Positionsbestimmung	7
2.7	Beacon Nutzung in Geschäften [1]	9
2.8	Beacon Nutzung im Flughäfen [23]	10
2.9	Demo der Estimote Indoor Localization App [10]	11

Tabellenverzeichnis

2.1 Beispiel der Informationsnutzung; in Anlehnung an: [4] 6

2.2 Beispiel der Bereichsdefinition; in Anlehnung an: [4] 7

Abkürzungsverzeichnis

BLE - Bluetooth Low Energy

WLAN - Wireless Local Area Network

RSSI - Received Signal Strength Indication

UUID - Universally Unique Identifier

1 Einleitung

Herkömmliche Navigationssysteme für den „Outdoor“-Bereich haben viele Bereiche des alltäglichen Lebens weitgehend erleichtert. Zurück liegen die Tage, in denen Fahrtstrecken über unbekannte Straßen und durch fremde Länder mit analogen Karten lange geplant wurden. Die Navigation, bzw. Lokalisierung basiert dabei auf einer Positionsbestimmung mithilfe von Funksignalen, die von Satelliten ausgesendet werden. Aus diesen Signalen können die Navigationssysteme ihre Position auf der Erde berechnen und schließlich die Information dem Nutzer zur Verfügung stellen. Die eigene Lokalisierung wäre nun auch für den Nutzer in einem Gebäuden hilfreich, damit er sich orientieren kann und beispielsweise in einem großen Kaufhaus schneller zu einem Geschäft findet. Um die Vorteile einer Lokalisierung im „Indoor“-Bereich anzuwenden, können die bisherigen satellitengestützten Systeme (GPS, GLONASS, Galileo) jedoch nicht genutzt werden, da die Strukturen der Gebäude ihre Signale absorbieren, bzw. reflektieren. Seit einigen Jahren arbeiten Forschungseinrichtungen und Unternehmen an einer Lösung für die Lokalisierung von Objekten in Gebäuden. Die Forschungsprojekte verfolgen dabei verschiedene Ansätze und Technologien um dieses Ziel zu erreichen, wie z.B. die Projekte „EVARILLOS“ [22], „Google Indoor Maps“ [13] und „Mobile Indoor Localization“ [18]. Jedoch existiert noch keine Lösung die sich bereits durchgesetzt hat und kommerziell nutzbar wäre.

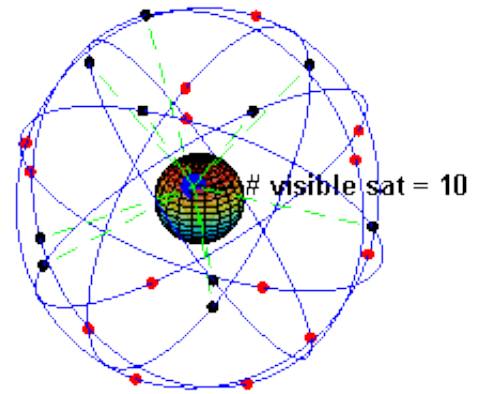


Abb. 1.1: Skizze satellitengestütztes Lokalisierungssystem [9]

Eine neue und vielversprechende Technologie zur innerräumlichen Lokalisierung stellt dabei die Entwicklung von iBeacons (z. Dt. Leuchtf Feuer) dar. Die Vorteile dieses Systems gegenüber bisherigen Lösungen sind zum einen die geringen Kosten, sowie die hohe Flexibilität und Autonomie der einzelnen Elemente. Viele bisherigen Technologien zur Indoor-Lokalisierung, wie z.B. in den Boden eingelassene künstlichen Magnetfeldern [17], RFID-Transponder [2] oder funkbasierten Lösungen[24] sind zwar erprobt und erzielen eine hohe Lokalisierungsge- nauigkeit, besitzen jedoch den Nachteil einer teuren und aufwendigen Infrastruktur, welche meist auch eine bauliche Änderung am Gebäude benötigt. Die Einfachheit der Anbringung der Beacons, die Kostenvorteile und die weitere Verbreitung des verwendeten Bluetooth-Protokolls auf mobilen Geräten sorgen dabei für ein weites Einsatzspektrum. Jedoch der größte Vorteil der iBeacons gegenüber den konkurrierenden Technologien ist die variable Verwendung der Beacons für beispielsweise einfache, rudimentäre Positionsbestimmungen bis hin zur hochpräzisen Ortung. Je nach Einsatzszenario könnten die Beacons problemlos angepasst und so für ihren Zweck hin optimiert werden.

Um mit den Beacons ein Lokalisierungssystem in Gebäuden aufzubauen, ähnlich dem im Outdoor-Bereich, benötigt es geeignete Verfahren die Beacons zu positionieren und entsprechend auf ihren Einsatzzweck anzupassen. Während für die Satelliten der Outdoor-Systeme Modelle vorhanden sind, die deren Anzahl, Flughöhe und Sendeleistung für eine

bestmögliche Lokalisierung berechnen, fehlen die Konzepte für den Indoor-Bereich. Zudem mangelt es an Verfahren die Gebäude mit Beacon-Systemen zweifelsfrei auf die Qualität der Lokalisierung und der räumlichen Abdeckung hin zu validieren. Gegenstand dieser Arbeit soll es dabei sein, ein geeignetes Konzept für die Erstellung von Beacon-Konfigurationen zu gestalten und die Konfiguration anschließend experimentell zu validieren. Dabei soll auf ein automatisiertes und strukturiertes Verfahren mithilfe von Robotern zurückgegriffen werden, um die Validierung weniger fehleranfällig zu designen und somit zu standardisieren.

Aus diesen Anforderungen stellen sich drei zentrale Zielstellungen:

- Entwicklung eines Frameworks und einer systematischen Versuchsplanung für die Messung von Beacon-Signalen
- Auswahl und Parameterbestimmung eines Modells für die Signalausbreitung von Beacons mit anschließender Erstellung einer Simulationsumgebung, sowie eine sich daraus konkludierenden optimalen Verteilung von Beacons in einem Raum
- Validierung des Modells und der Simulationsergebnisse in einem Testszenario mithilfe eines Roboters

Um die Problematik eines bisher fehlenden Planungskonzeptes darzulegen, wird zuerst der Stand der Technik von Beacons beschrieben und erläutert. Daraus schlussfolgern sich ersten Ansätze, wie ein mögliches Verfahren zur Beacon-Konfiguration aufgebaut sein muss. In Kapitel 2 werden für die erste Zielsetzung alle Werkzeuge zur Messung der Beacon-Signale vorgestellt und in Kapitel 3 diese ausgewertet. Mit den Messwerten werden anschließend die Parameter für die Signalausbreitung der Beacons in einem freien Raum bestimmt und damit die Grundlage für ein Simulationsprogramm gelegt. Da es keine Standards oder Richtlinien für die Lokalisierungsgenauigkeit gibt, werden zusätzlich aus den Messwerten eine Richterskala bestimmt und diese erklärt. Mithilfe der Simulation und eines Optimierungsalgorithmus werden anhand der selbstdefinierten Richterskala geeignete Beacon-Konfigurationen berechnet und diese experimentell in Kapitel 4 überprüft. Dabei wird besonders auf Art der Validierung eingegangen, da sie automatisiert und standardisiert von einem Roboter durchgeführt wird. Am Ende der Arbeit werden die drei gesetzten Ziele mit dem Erreichten verglichen, die Ergebnisse daraus diskutiert und anschließend wird das Konzept daran bewertet.

2 Stand der Technik - Einführung in die Beacon-Technologie

Der erste Teil in diesem Kapitel beschäftigt sich mit der Entstehungsgeschichte von iBeacons und nachfolgend mit deren Funktionsweise. Hier wird besonders auf die technischen Möglichkeiten der Technologie eingegangen. Im letzten Abschnitt wird erläutert, wo Beacon-Systeme zum Einsatz kommen und wie aktuelle Lösungsansätze für die Planung der dafür nötigen Infrastruktur aufgebaut sind. Anschließend wird aus den gegebenen Fähigkeiten der Beacons und der momentanen genutzten Fähigkeiten differenziert und eine Aussicht auf ein zukünftiges Konzept zu einer besseren Nutzung gegeben.

2.1 Entwicklungsgeschichte

Der Grundstein für die Beacon-Technologie legte die Firma Nokia im Jahre 2006. Damals entwickelte die Firma den neuen Standard *Wibree* für die Funkübertragung, der den alten Bluetooth-Standard ersetzen sollte. Mit der Neuentwicklung versprach man sich im Gegensatz zu Bluetooth einen geringeren Stromverbrauch und geringere Kosten, bei einem gleichbleibenden Kommunikationsbereich. Ab dem Jahr 2009 wurde der Bluetooth-Standard um *Wibree* ergänzt und erst unter den Bezeichnungen *Ultra Low Power Bluetooth* (ULP) und dann später als *Bluetooth Low Energy* (BLE) darin aufgenommen [6] und anschließend als *Bluetooth Smart* vermarktet.



Abb. 2.1: Offizielles Bluetooth Smart Logo [7]

Die Idee der Nutzung von Bluetooth Low Energy zur Indoor-Lokalisierung stammt dabei von der Firma Apple Inc. und wurde von ihr im Jahre 2013 auf der WWDC (Worldwide Developers Conference)[8] unter dem Namen *iBeacon* angekündigt. Obwohl zu dem Zeitpunkt noch kein fertiges Gerät zur Verfügung stand, wurde diese Technologie als Neuerung in Apples mobilen Betriebssystem iOS 7 vorgestellt. Jedoch verzichtet Apple seither auf die Produktion von iBeacons, was andere Unternehmen nutzen um selbst in den Markt einzusteigen. Deren Produkte unterstützen dabei zusätzlich die mobilen Betriebssysteme Android ab Version 4.3, Windows Phone 8 und neue die neueste Version von Blackberries OS [3]. Somit wäre die Beacon-Technologie mittlerweile in über 99,5% aller mobilen Geräte (Smartphones, Tablets, Smartwatches, etc.) weltweit nutzbar [19].



Abb. 2.2: Offizielles iBeacon Logo [5]

2.2 Aufbau und Funktionsweise von Beacons

Die Grundbausteine eines Beacon sind in der rechten Abbildung 2.3 ersichtlich, in der ein *Estimote Beacon* der Firma Estimote Inc. in seinen einzelnen Bestandteile dargestellt ist. Aufgrund der Verwendung der Estimote Beacons in dieser Arbeit, dienen hier zur Veranschaulichung. Zur Anbringung der Beacons dient die auf der Rückseite befindliche Silikonplatte. Diese haftet an nahezu jeder glatten Oberfläche und kann mithilfe von Wasser normal gereinigt werden. Somit können die Beacons im Grunde unbegrenzt angebracht und wieder abgenommen werden. Die äußere Schutzhülle besteht dabei ebenfalls aus einem Silikon und schützt die inneren Bauteile. Zu den inneren Komponenten gehören die Platine mit dem darauf verlöteten Nordic nRF51822 Chip (32-Bit ARM Cortex M0 CPU mit 256 kB Flash-Speicher und dem 2,4 GHz BLE-Sendemodul) [20], einer Antenne und eine Knopfbatterie zur autarken Stromversorgung. Die Beacons haben eine

variable Sendeleistung von 4dBm bis -30dBm (entspricht einer Leistung von 2,512 Milliwatt bis 1 Microwatt) und übertragen ihre Daten in Intervallen von 50 bis 0,5 Hertz. Die Kommunikation verläuft dabei bidirektional, d.h. vom Beacon zum Empfangsgerät und zurück. Während die Kommunikation von Beacon zu mobilen Gerät dazu dient, die Lokalisierung des Gerätes zu ermöglichen, dient die Kommunikation vom Smartphone, Tablet, etc. zum Beacon zur Überprüfung des Betriebszustandes und zur Programmierung der Beacons.

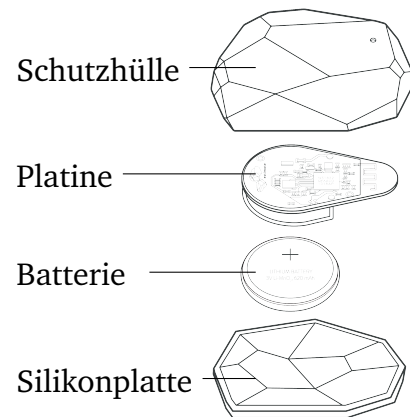


Abb. 2.3: Explosionszeichnung Beacon [11]

Die bei der Signalübertragung verwendete Protokoll-Architektur Bluetooth Low Energy sendet dabei im 2,4 Ghz Band, welches ebenfalls von den Protokollen 802.11 ac/a/b/g/n, älteren Bluetooth-Standards, ZigBee, NFC, etc. genutzt wird. Eine kleine Übersicht zu den einzelnen Varianten und deren Eigenschaften findet sich im Anhang in Bild A.1. Die Vorteile vom 2,4 Ghz Band gegenüber anderen Frequenzbändern ergeben sich aus einer großen Reichweite der Funksignale und einer geringen Größe der Antenne für deren Erzeugung. Jedoch besitzt dieses Band auch gewisse Nachteile, die bei der Auslegung von Beacon-Konfigurationen beachtet werden müssen. Die Verwendung des Protokolls im 2,4 Ghz Band ist dabei historisch bedingt und nahezu alternativlos, da sie zu den ISM-Bändern [15] zählt und nur diese somit frei nutzbar sind. Durch die Benutzung des 2,4 Ghz Bandes für die Datenübertragungen in WLAN oder Bluetooth treten bei vermehrter Nutzung des Bandes leicht Störungen in den Übertragungen auf. Somit hängt die Qualität der Signale und schlussendlich auch die Lokalisierungsgenauigkeit an der lokalen Auslastung des 2,4 Ghz Bandes. Weitere störende Faktoren für die Signalqualität können auch physische Objekte haben, die sich zwischen Sender und Empfänger befinden. In den Bildern 2.4 und 2.5 wird dies einmal dargestellt. Denn durch die physikalischen Eigenschaften des 2,4 Ghz Bandes werden die Funksignale durch Materialien wie Wasser und Stahl besonders gut absorbiert. Da die meisten Gebäude aus Stahlbeton gebaut sind und der menschliche Körper aus einem großen Anteil aus Wasser besteht, wirken sich diese Umstände besonders negativ auf die Qualität der Signale und am Ende auf die Anwendung der BLE-Technik für die Lokalisierung

von Menschen in Gebäuden aus. Jedoch sei dies nur am Rande erwähnt und würde unter zusätzlicher Betrachtung dieser Aspekte nur den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit sprengen. Festgehalten können hier als Gründe für eine Qualitätsminderung der Lokalisierung: die Schwächung der Signale an Objekten, die Phasenauslöschung durch andere Signalquellen und unberechenbaren Reflexionen.

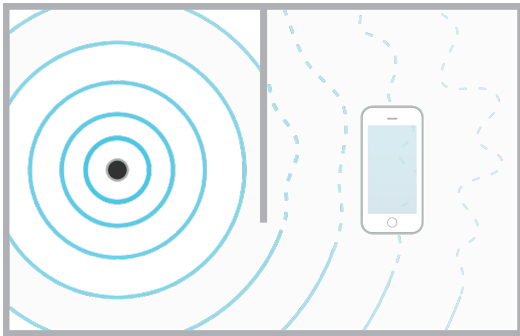


Abb. 2.4: Signalschwächung durch Objekte, zB. Wände [4]

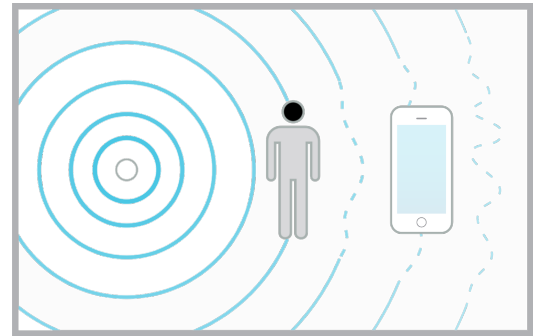


Abb. 2.5: Körper von Menschen blockieren zusätzlich die Signale [4]

Die Daten die bei der Kommunikation übertragen werden sind dabei essentiell für die Positionsbestimmung von Objekten und bestehen aus einer:

- Identifikationsnummer (Länge von 16 Bytes)
- eingestellten Sendeleistung (2 Bytes)
- zusätzlichen Information, beschrieben als Major und Minor (jeweils 2 Bytes)

Mithilfe geeigneter Software lassen sich diese Parameter ändern und den Bedürfnissen anpassen. Zusätzlich lässt sich noch die Intervalllänge der Sendefrequenz variieren. Im Falle der Estimote Beacons geschieht dies mit der kostenlosen Software „Estimote“ und ist für die Plattformen iOS und Android auf mobilen Geräten verfügbar. Mithilfe dieses Werkzeuges kann die Ortungsgenauigkeit signifikant erhöht, bzw. verringert werden. Da der genaue Einfluss dieser Parameter auf die Batterielebensdauer und die Ortungsgenauigkeit nicht erforscht wurde oder zumindest noch nicht öffentlich zugänglich ist, werden diese in Kapitel 3 untersucht und erklärt. Denn gerade der adaptive Aspekt für die Indoor-Lokalisierung lässt diese Technologie so attraktiv erscheinen.

2.3 Ortungsmethoden

Mit der Identifikationsnummer kann zwischen den einzelnen Beacons unterschieden werden, wodurch erst die Möglichkeit einer Lokalisierung entsteht. Denn die Technik setzt voraus, dass die Identitäten der Beacons in einer Datenbank mit Positionsangabe in einem Gebäude hinterlegt sind. Beim Empfang eines gültigen Signals wird der Beacon in der Datenbank gesucht und anschließend die Distanz von Empfangsgerät und Beacon berechnet. Die Berechnung findet auf der Grundlage eines Ausbreitungsmodells von Signalen in Abhängigkeit

zur eingestellten Sendeleistung des Beacons statt, in der die empfangene Signalstärke als RSSI-Wert interpretiert und dadurch eine Distanz geschätzt wird. Die Modelle der Hersteller sind typischerweise nicht frei zugänglich, deswegen sie auch hier nicht vorgestellt werden. Die als zusätzlichen Informationen gekennzeichneten Daten sind eine Erweiterung der Identifikationsnummer und bieten lediglich einen Komfort für die Entwicklung der Datenbanken. Im nächsten Abschnitt wird dies in Tabelle 2.1 noch einmal veranschaulicht.

Geschäftsstandort		Berlin	Magdeburg	München
UUID		U8T7V56I-4689-10U9-7G63B4GAR21M		
Sendeleistung		-12dBm	-6dBm	1dBm
Major		1	2	3
Minor	Kleidung	10	10	10
	Elektronik	20	20	20
	Küche	30	30	30

Tabelle 2.1: Beispiel der Informationsnutzung; in Anlehnung an: [4]

Bei dem obigen Beispiel nutzt eine Warenhauskette mit mehreren Geschäftsstandorten die Beacon-Technologie zur Lokalisierung in ihren verschiedenen Standorten. Zur Vereinfachung besitzen die Beacons nur eine *Universally Unique Identifier* (UUID) und unterscheiden sich jeweils nur in ihren zusätzlichen Informationen und der Sendeleistung. Die gezeigten Informationen liegen auf den mobilen Geräten der Nutzer vor, genauso wie eine Applikation auf den Geräten, die diese Daten verarbeiten kann. Die Information Major steht dabei für den jeweiligen Standort und Minor für die Abteilung in der die Signale der Beacons empfangen werden können der RSSI-Wert in einem definierten Bereich liegt. Abhängig vom Konzept der Ortung kann dieses Wissen unterschiedlich genutzt werden. Bei der Beacon-Technologie unterscheidet man daher in zwei Anwendungskonzepte der Ortung.

2.3.1 Definitionen von Bereiche

Die einfachste Form einer Lokalisierung ist die Aufteilung eines Raumes in Bereiche, in der die Position eines Nutzer zu einem Beacon dadurch angegeben wird, ob er im Nah- oder Fernbereich zu einem Beacon steht. Diese Art der Ortung ist dabei sehr ungenau, da die Distanzinformationen nicht explizit vorliegen, sondern nur ein homogener Distanz-Bereich um ein Beacon definiert ist. Die Distanz zu einem Beacon wird dabei durch die empfangene Signalstärke von einem Beacon geschätzt und diese Einschätzung beruht derzeit noch auf den Erfahrungen des Beacon-Programmierer, bzw. des Installateurs der Beacon-Systeme. Als Beispiel für eine solche Definition wurden einmal vier Zustände in der Tabelle 2.2 festgelegt und deren Bereiche in Abhängigkeit zu der empfangenen Sendeleistung eines Beacon eingegrenzt. In einem fiktiven Einsatzszenario könnte somit ein Kunde in einem Supermarkt oder Warenhaus gezielt auf ein Sonderangebot in seiner Nähe aufmerksam gemacht, oder zusätzliche Informationen zu einem Produkt in einer entsprechenden Applikation angezeigt werden.

Lagebeschreibung	Definition
Sehr nah	Dieser Bereich besitzt eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit, dass der Nutzer direkt vor einem Beacon steht. Dies gilt für einen Bereich der in einer Distanz von unter 1 Meter zum Beacon liegt.
Nahbereich	Hier befindet sich der Bereich in einer Sichtlinie zu einem Beacon in einer Distanz von 1 bis 5 Metern. Da es aufgrund von Störungen, wie vorbeilaufende Menschen oder anderer Objekte zur Signalbeeinträchtigung kommen kann, könnte dieser Zustand nicht angezeigt werden, obwohl das Empfangsgerät in diesem Bereich liegt.
Fernbereich	Hier werden zwar die Signale von einem Beacon empfangen, jedoch kann aufgrund der Signalschwäche nicht eindeutig ein Bereich dem Empfangsgerät zugeordnet werden. Dies impliziert jedoch nicht gleichzeitig eine große Entfernung zum Beacon, da wegen den genannten Störungen das Signal möglicherweise verfälscht wurde. Hier müssen weitere Verfahren und Strategien angewendet werden, um den Nutzer und sein Empfangsgerät genauer zu lokalisieren. Beispielsweise kann dem Nutzer empfohlen werden sein Empfangsgerät höher zu halten oder das er sich ein wenig herumläuft.
Kein Empfang	Hier wurde ein Beacon nicht erkannt und somit liegt keine physische Nähe zum Beacon vor.

Tabelle 2.2: Beispiel der Bereichsdefinition; in Anlehnung an: [4]

2.3.2 Mikro-Lokalisierung

Im Gegensatz zur relativen Lokalisierung mittels Lagebeschreibung, existiert noch die Methode der Mikro-Lokalisierung. Diese berechnet eine genaue Distanz zu einem Beacon und letztlich kann mithilfe von zusätzlichen Signalen mehrerer Beacons eine genaue Lokalisierung mit Koordinaten im Raum durchgeführt werden. Für die Bestimmung einer Position aus den empfangenen Beacon-Signalen existieren mehrere Verfahren. Ein gängige Methode ist die Tri-, bzw. Multilateration die aus der Entfernung eines Punktes zwischen drei oder mehreren Orientierungspunkten dessen Position in einem Koordinatensystem bestimmt. In diesem Fall wären es die Positionen der Beacons die Orientierungspunkte und die Entfernungen ließen sich aus den Signalen der Beacons berechnen. Mit einem Modell der Signalausbreitung wird dabei die Signalsstärke, die durch den

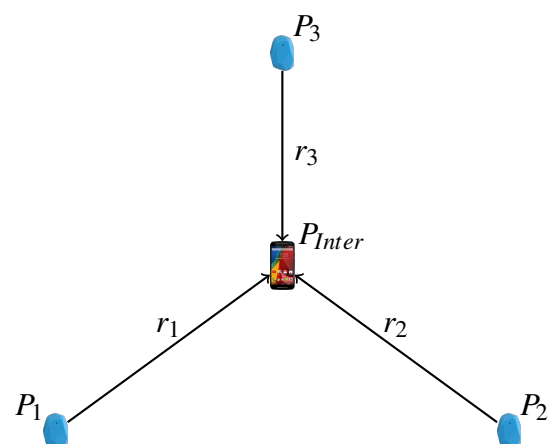


Abb. 2.6: Beispiel einer Trilateration zur Positionsbestimmung

Mit einem Modell der Signalausbreitung wird dabei die Signalsstärke, die durch den

Weg vom Beacon zum Empfangsgerät geschwächt wurde, direkt in eine Distanz umgerechnet werden. Im nächsten Kapitel wird ein solches Modell dafür beschrieben. An dieser Stelle soll noch einmal auf die Vorgehensweise zur Lokalisierung mittels Trilateration eingegangen werden. Im ersten Schritt werden dazu die Positionen der Beacons zur Vereinfachung in ein neues Koordinatensystem transformiert. Dabei wird ein Beacon in den Koordinatenursprung verlegt und ein zweiter durch Rotation um die Z-Achse auf die X-Achse gesetzt.

Translation:

$$\begin{aligned} T &= -P_1 \\ P'_1 &= P_1 + T = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ P'_2 &= P_2 + T \\ P'_3 &= P_3 + T \end{aligned}$$

Rotation:

$$\begin{aligned} \alpha &= -\arcsin\left(\frac{y_2}{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}\right) \\ R_z(\alpha) &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \\ P''_1 &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ P''_2 &= R_z(\alpha) \cdot P'_2 \\ P''_3 &= R_z(\alpha) \cdot P'_3 \end{aligned}$$

Anhand zweier Formeln lassen sich dann die Koordinaten des Empfangsgerät aus den einzelnen Distanzen berechnen und schließlich ins ursprüngliche Koordinatensystem zurück transformiert werden [21]. Die Distanzen sind dabei gegeben als r_1 , r_2 und r_3 und die Koordinaten entsprechen der Nummerierung der Punkte nach der Transformation.

$$\begin{aligned} x_{Inter} &= \frac{r_1^2 - r_2^2 + x_2^2}{2x_2^2} \\ y_{Inter} &= \frac{r_1^2 - r_3^2 + x_3^2 + y_3^2}{2y_3^2} - \frac{x_3}{y_3} \cdot x_{Inter} \end{aligned}$$

Rücktransformation:

$$P_{Inter} = R_z(-\alpha) \cdot \begin{pmatrix} x_{Inter} \\ y_{Inter} \end{pmatrix} - T$$

Ein großer Nachteil von dieser Methode ist die große Fehleranfälligkeit der Signalübertragung. In der Anwendung in Gebäuden werden die Signale oftmals von Wänden reflektiert oder gedämpft, während die hohe Dichte von Signalquellen weitere Interferenzen verursacht.

Um diese Nachteile auszugleichen wird statt der Trilateration eine Multilateration angewendet. Durch die Nutzung mehrerer Beacons können Messrauschen und Störungen zum Teil ausgeglichen und die Genauigkeit der Lokalisierung somit erhöht werden. Jedoch kann in dieser Arbeit nicht auf dieses Verfahren eingegangen werden, da lediglich drei Beacons zur Verfügung standen.

2.4 Anwendungsbereiche der Indoor-Lokalisierung

Der Bedarf an einer innerräumlichen Ortung ist normalerweise dort vorhanden, wo es für den Besucher schwer ist sich zu orientieren. Dies können große Gebäudekomplexe sein, oder verwinkelte und unüberschaubare Gänge. Infolge der Digitalisierung der Gesellschaft, oft bezeichnet als „Digitale Revolution“ oder auch unter anderem Kontext „Industrie 4.0“ [12], entstehen durch den großen Grad der Verbreitung von mobilen „smarten“ Geräten riesige Netzwerke mit einer schier unendlichen Datenflut. Dies eröffnet folglich eine Möglichkeit zur Kommunikation zwischen Mensch und Gebäude, in der die Beacons als „Sinne“ des Gebäudes verstanden werden können.

2.4.1 Mögliche Einsatzszenarien

Viele Unternehmen nutzen hier die Möglichkeiten einer vernetzten Welt, um besser das Verhalten der Kundschaft zu verstehen. Um wieder auf das Beispiel von der Warenhauskette zurück zu kommen, wäre es für das Unternehmen von Vorteil zu wissen, wie viele Kunden am Tag eine Filiale besuchen, wie ihr Bewegungsprofil aussieht und was sie am Ende kaufen. Nützlich wären die Informationen für die Preisgestaltung, den Aufbau der Abteilungen im Warenhaus und dies könnte auch



Abb. 2.7: Beacon Nutzung in Geschäften [1]

zu einer besseren „Just-In-Time“ Lieferkette führen und somit Lagerkapazitäten einsparen. Natürlich wäre dies auch mit herkömmlichen Methoden möglich, indem Umfragen stattfinden und die Mitarbeiter eines Geschäftes die Kunden genau beobachten. Dies wäre aufgrund hoher Personalkosten nicht nur unrentabel, sondern würde auch den Kunden ein Gefühl der Überwachung vermitteln. Mit der Beacon-Technologie wäre dies kostengünstig und voll automatisiert möglich. Damit potentielle Kunden auch die dafür nötige Software für ihr mobiles Endgerät installieren und an der Auswertung ihrer Daten zustimmen, können die Kunden mit einer entsprechenden Applikation an exklusiven Gewinnspielen, Rabattaktionen oder Punktesystemen teilnehmen, so wie es heute schon durch einige Unternehmen angeboten wird (z.B. DeutschlandCard¹, Payback², etc.). Die gesellschaftliche Akzeptanz wäre sicherlich gegeben, da es schon mit den modernen Stauwarnsysteme einen Vergleichfalls im Outdoor-Bereich gibt. Da die Position eines Fahrzeuges entweder durch das eingebaute Navigationssystem bekannt, oder durch die Mobilfunkgeräte der Fahrzeuginsassen ermittelt werden kann, werden

¹www.deutschlandcard.de

²www.payback.de

schon heute diese Systeme zur Erschaffung von Bewegungsprofilen und damit zur Stauvorhersage genutzt [14]. Für ein solches Szenario im Indoor-Bereich würde hauptsächlich die kontextbezogene Lokalisierung in Betracht gezogen werden, da hier die meisten Geschäfte überschaubar sind und schon gute Strukturen zur Orientierung der Kundschaft genutzt werden. Extreme Ausnahmen wie die „Golden Resources Mall“ in Peking mit 557,419 m² Ladenfläche, wo eine genauere Lokalisierung zur Navigation sicherlich sinnvoll wäre, bilden hier eher die Ausnahme.

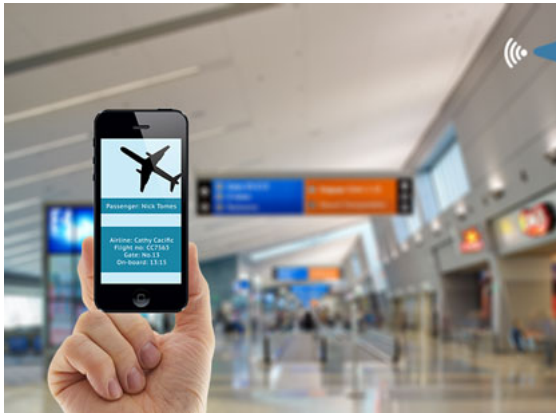


Abb. 2.8: Beacon Nutzung im Flughäfen [23]

Im Gegensatz dazu stellt die Mikro-Lokalisierung ein weiteres mögliches Szenario dar. Sie soll dazu dienen Menschen oder Objekte genau zu lokalisieren, um unter Verwendung von speziellen Applikationen eine bessere Orientierung zu gewährleisten. Daran interessiert sind meist Branchen, die ihre Kundschaft gerne schnell und ohne Umwege zu dem führen möchte, weswegen sie in die Einrichtung des Unternehmens gekommen sind. Als Beispiele können hier Messehallen- und Flughafenbetreiber genannt werden. In diesen Branchen sind die Gebäude meistens sehr komplex und die Kundschaft ist meistens ortsfremd. Der Vorteil den die Unternehmen aus dem System ziehen können, ist eine bessere Verteilung der Kunden durch eine intelligente Pfadplanung. So können die Platzkapazitäten der Einrichtungen besser genutzt und die Gäste somit schneller abgefertigt werden. Wenn zudem ein Unternehmen in seinen Gebäuden eine ähnliches System wie ein Navigationssystem für die Straße bieten kann, bedeutet dies auch einen Wettberbsvorteil und fördert die Kundenzufriedenheit.

Grundsätzlich sind dies hier nur Annahmen für mögliche Szenarien. Da es noch keine praktikablen Anwendungen der Indoor-Lokalisierung gibt, können keine genauen Vorhersagen diesbezüglich getroffen werden. Viele Unternehmen schrecken noch davon ab, weil kein einheitlichen Standard existiert und nur wenige Menschen mit der Technik vertraut sind.

2.4.2 Planungskonzepte für Beacon-Konfigurationen

Bisherige Ansätze um ein Lokalisierungssystem in einem Raum zu realisieren beruhen auf fachmännischen Einschätzungen des Beacon-Installateurs. Das bedeutet, dass das Konzept lediglich auf Erfahrungswerten setzt. Die Beacons werden dabei an strategische Punkte gesetzt und manuell an jeder Position neu konfiguriert. Wie schon oben beschrieben, werden die Befestigungen der Beacons im Raum vermessen oder grob geschätzt und so zur Positionsbestimmung in eine Lokalisierungs-Applikation ebenfalls wieder manuell eingepflegt. Von der Firma Estimote gibt es seit neuem eine neue Applikation namens „Estimote Indoor Location“, die den Entwicklern einer Lokalisierungs-Applikation unterstützen soll. Der Entwickler installiert dazu an jeder der vier Wände eines Raumes ein Beacon der Firma und ausgehend vom Eingang startet der Entwickler die App und läuft anschließend den ganzen Raum ab. Dabei

werden die Signale der Beacons an den Wänden aufgezeichnet und mithilfe der inertialen Sensoren des Smartphones zusätzlich die Bewegungsinformationen gespeichert. Daraus errechnet die App eine Karte vom Raum und liefert auch gleich eine Positionsbestimmung mithilfe der genannten Sensordaten in Echtzeit. Diese Karte kann auch in Eigenentwicklungen für das Smartphone verwendet werden, jedoch ist dafür eine Migration der Daten notwendig. Da für diese Arbeit nur drei Beacons zur Verfügung standen und diese App erst in der späten Phase der Arbeit veröffentlicht wurde, kann hier nicht mehr auf dieses Konzept eingegangen werden. Jedoch lassen die noch engen Begrenzungen der Anwendung (konstante Anzahl von vier Beacons, Einstellung der Parameter wieder manuell nach Erfahrungswert) keinen Handlungsspielraum für die Optimierung der Beacon-Konfigurationen zu. Zudem muss immer ein Entwickler die Räume ablaufen und später die Daten vom Smartphone in die eigene Entwicklung migrieren. Für kleine Räume ist diese Strategie sicherlich hilfreich, jedoch wird sie bei Großprojekten, wie z.B. die Schaffung eines Ortungssystems in einem Flughafen schlicht nicht verwendbar.



Abb. 2.9: Demo der Estimote Indoor Localization App [10]

Literaturverzeichnis

- [1] 5280MOBILE.NET: What is iBeacon. <http://5280mobile.net/ibeacon-proximity/>
- [2] A. ATHALYE ; V. SAVIC ; M. BOLIC ; P. M. DJURIC: Novel Semi-Passive RFID System for Indoor Localization,. In: IEEE Sensors Journal 13 (2013), Nr. 2, 528-537. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6310003>
- [3] A. CAVALLINI: iBeacon Bible 2.0. <https://meetingofideas.files.wordpress.com/2014/06/ibeacon-bible-2-0.pdf>. Version: 2015
- [4] APPLE INC.: Getting Started with iBeacon. <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>
- [5] APPLE INC.: iBeacon Logo. <https://developer.apple.com/ibeacon/>. Version: 2015
- [6] BLUETOOTH SIG, INC.: SIG INTRODUCES BLUETOOTH LOW ENERGY WIRELESS TECHNOLOGY, THE NEXT GENERATION OF BLUETOOTH WIRELESS TECHNOLOGY. In: bluetooth.com (2009). <http://www.bluetooth.com/Pages/Press-Releases-Detail.aspx?ItemID=4>
- [7] BLUETOOTH SIG, INC.: Bluetooth Smart Logo. <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Brand.aspx>. Version: 2014
- [8] D. E. DILGER: Inside iOS 7: iBeacons enhance apps' location awareness via Bluetooth LE. In: appleinsider.com (2013). <http://appleinsider.com/articles/13/06/19/inside-ios-7-ibeacons-enhance-apps-location-awareness-via-bluetooth-le>
- [9] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AConstellationGPS.gif>
- [10] ESTIMOTE INC.: Estimote Indoor Localization. <http://estimote.com/indoor/>
- [11] ESTIMOTE INC.: Estimote Beacon Illustration 2. <http://estimote.com/assets/gfx/press/press-beacon-illustration-2.cd71f93a.png>. Version: 2015
- [12] G. BRAUNBERGER: Macht der Maschinen. <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/menschen-wirtschaft/digitale-revolution-macht-der-maschinen-12910372.html>
- [13] GOOGLE INC.: Google Indoor Maps. <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>
- [14] H.-C. DIRSCHERL: Stau-Warnung - Diese Verkehrslage-Dienste gibt es für Autofahrer. In: <http://www.pcwelt.de> <http://www.pcwelt.de/ratgeber/Stau-Warnung-Google-Maps-Tomtom-Verkehrslage-Echtzeitverkehrsinformationen.html>

-
- [15] http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2003_76_ISM_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- [16] HTTP://WWW.ITWISSEN.INFO: Übersicht über die verschiedenen Funktechnologien. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/ultra-low-power-Bluetooth-ULP-ULP-Bluetooth.html>
- [17] J. BLANKENBACH ; A. NORRDINE: Indoor-Positionierung mit künstlichen Magnetfeldern. In: zfv 1 (2013). geodaesie.info/sites/default/files/privat/zfv_2013_1_Blankenbach_Norrdine.pdf
- [18] MICROSOFT RESEARCH: Mobile Indoor Localization. <http://research.microsoft.com/en-us/projects/indoorloc/>
- [19] MOBILE-STUDIEN.DE: Marktanteile mobiler Betriebssysteme Q1 2014. <http://mobile-studien.de/marktanteile-betriebssysteme/marktanteile-mobiler-betriebssysteme-q1-2014/>. Version: 2014
- [20] NORDIC SEMICONDUCTOR: nRF51822 Datasheet. <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-Smart-Bluetooth-low-energy/nRF51822>
- [21] R. MARDENI ; S. N. OTHMAN: Node Positioning in ZigBee Network Using Trilateration MethodBased on the Received Signal Strength Indicator (RSSI). In: European Journal of Scientific Research http://godieboy.com/wp-content/uploads/2012/05/ejsr_46_1_05.pdf
- [22] TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN ; ADVANTIC SISTEMAS Y SERVICIOS S.L. ; IMINDS ; SICS SWEDISH ICT AB ; TELEVIC HEALTHCARE: Evaluation Of RF-Based Indoor Localization Solutions For The Future Internet (EVARILOS). <http://www.evarilos.eu>
- [23] WWW.CONTECHLAB.COM: iBeacon Airport. <http://www.contechlab.com/ibeacon-application-in-airport/>
- [24] Y. CHEN ; D. LYMBEROPOULOS ; J. LIU ; B. PRIYANTHA: FM-based Indoor Localization. <http://research.microsoft.com/pubs/163038/sys029fp-Chen.pdf>

Anhang

A Bilder

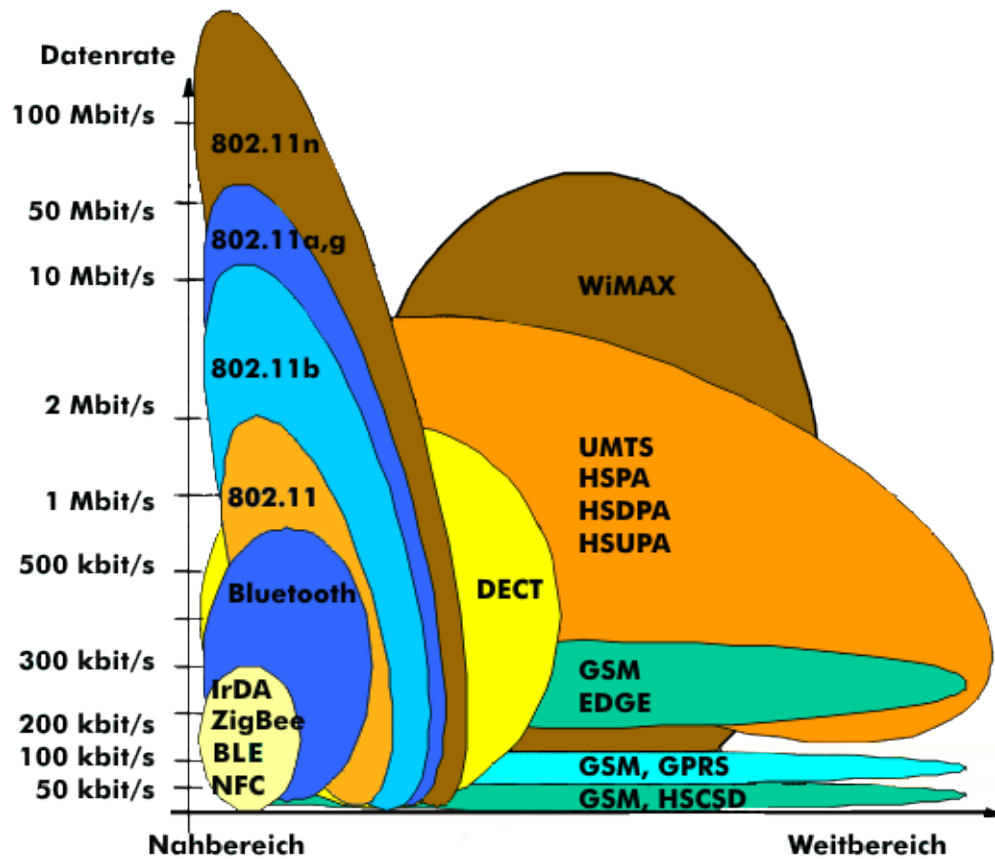


Abb. A.1: Überblick zu heutigen Funktechnologien [16]

B Tabellen

C App-Aufbau

Anhang für die einzelnen App-Bestandteile.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich,

.....
(Name, Vorname) (Matrikel-Nr.)

dass ich die vorliegende Masterarbeit mit dem Thema:

.....
.....
.....

selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Alle verwendeten Hilfsmittel und Quellen sind im Literaturverzeichnis vollständig aufgeführt und die aus den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift