

Positionsbestimmung in Gebäuden

Proseminar Technische Informatik
Freie Universität Berlin, Januar 2010
Verfasser: Michael Schmidt

Abstract. Die Positionsbestimmung in Gebäuden oder in überbauten Arealen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die nachfolgende Arbeit soll die derzeitigen technischen Möglichkeiten auf diesem Gebiet umreißen und einen Überblick über die momentan am Markt vorhandenen Positionierungssysteme liefern.

1. Einführung
2. Methoden der Positionsbestimmung
 - 2.1. Time Of Arrival
 - 2.2. Time Difference Of Arrival
 - 2.3. Angle Of Arrival
 - 2.4. Cell of Origin
 - 2.5. Scene Analysis
3. Realisierungsansätze
 - 3.1. Infrarot
 - 3.2. Ultraschall
 - 3.3. RFID
 - 3.4. WLAN / Bluetooth
 - 3.5. Ultra Wide Band
4. Indoor-Positionierungssysteme
 - 4.1. Laser Tracker & iGPS
 - 4.2. Assisted GPS
 - 4.3. Infrarot-Systeme (Active Bradge, WIPS)
 - 4.4. Ultraschall-Systeme (Cricket, IMAPS, Active Bat & DOLPHIN)
 - 4.5. SpotOn
 - 4.6. funknetzgestützte Positionierung (RADAR, HiPath DPS)
 - 4.7. Ultrabreitband-Systeme (Ubisense 7000)
5. Fazit
6. Quellen

1. Einführung

Durch die rasante Entwicklung der Kommunikations- und Informationstechnologien in den letzten Jahren gibt es einen immer weiter wachsenden Bedarf an Möglichkeiten der Lokalisierung. Für den Außenbereich hat sich GPS als Standard mit zahlreichen Anwendungen etabliert. Für den Innenbereich ist satellitengestützte Positionsbestimmung auf Grund von Signalabschottungen zu ungenau oder gar nicht verfügbar. Daran wird sich auch mit der Einführung des europäischen Galileo- und des russischen GLONASS-Systems nichts ändern. Aus diesem Grund gibt es für den Innenbereich zahlreiche alternative Realisierungen. Teilweise wird dabei bereits bestehende Infrastruktur, wie WLAN oder GSM, ausgenutzt. An denkbaren Anwendungen für solche Systeme mangelt es bei Weitem nicht. Bereits heute sind in Krankenhäusern Systeme auf Basis von Indoor-Positionierung in Benutzung, welche das Auffinden von Geräten und Patienten ermöglichen^[1]. Ähnliche Systeme werden auch in der Logistikbranche zur Lokalisierung von Gütern und Waren innerhalb von Lagerräumen verwendet. Es sind jedoch auch Anwendungen denkbar, die über die bloße Positionsbestimmung hinausgehen. Möglich wäre zum Beispiel die Nutzung von Positionsinformationen zur Umgebungssteuerung. In einem „intelligentem Haus“ könnten sich so Heizung, Klimaanlage und Licht bei Anwesenheit von Menschen aktivieren und bei Abwesenheit wieder deaktivieren. Auch in Zusammenhang mit „Augmented Reality“, der Anreicherung der realen Welt mit virtuellen Objekten, wären Anwendungen denkbar. Über eine halbtransparente Datenbrille würden diese Objekte sichtbar gemacht werden. So wäre es zum Beispiel möglich, dass ein Arzt während der Operation Knochen oder Organe sehen kann, um den Schnitt optimal anzusetzen. Die Menge der Anwendungsmöglichkeiten für solche Systeme ist unüberschaubar groß. Jedoch ist hierbei eine sehr genaue Positionierung des Blickbereichs und der Blickrichtung notwendig, weshalb es solche Systeme bislang kaum über die Entwicklungsphase hinaus geschafft haben. Bisher konnte sich im Bereich der Indoor-Positionierung auch noch keine Technik durchsetzen, weshalb es viele verschiedene Realisierungsansätze gibt und die Entwicklungsergebnisse auch weiterhin zu beobachten sind. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit sollen deshalb die bisher existierenden Systeme deshalb überblicksmäßig vorgestellt und verglichen werden.

2. Methoden der Positionsbestimmung

Im Allgemeinen ist die Position einer mobilen Station nicht bekannt, während mehrere feste Stationen zur Messung herangezogen werden. Im Folgenden werden Verfahren beschrieben, wie unter diesen Voraussetzungen eine Lokalisierung stattfinden kann. Durch Messung kann dies entweder durch Triangulation (Angulation), der Bestimmung von Winkeln, oder mit Hilfe von Trilateration (Lateration, Distanzmessung), der Messung von Strecken, geschehen. Des Weiteren kann die Positionsbestimmung auch auf Grundlage von Szenenanalyse (Scene Analysis) oder durch Bestimmung der Nachbarschaft (Proximity) erfolgen. Die verschiedenen Methoden werden im Folgenden näher erläutert.

2.1. Time Of Arrival

Bei dem Time Of Arrival-Verfahren (TOA) wird die Laufzeit der Signale gemessen. Dadurch kann die Entfernung zwischen Sender und Empfänger bestimmt werden. Erfolgt die Messung auf der einfachen Strecke, die Signale werden also beim Empfänger ausgewertet, muss eine Synchronisierung beider Stationen erfolgen. Bei der Distanzbestimmung über die doppelte Strecke, kann dies entfallen. Wird nun von drei verschiedenen Orten eine Distanzmessung durchgeführt, kann eine Trilateration durchgeführt werden (Abbildung 1).

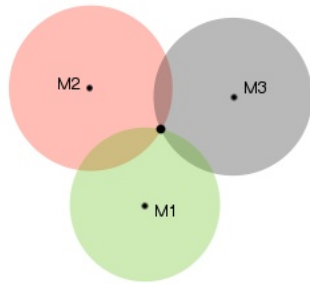


Abb. 1: Trilateration

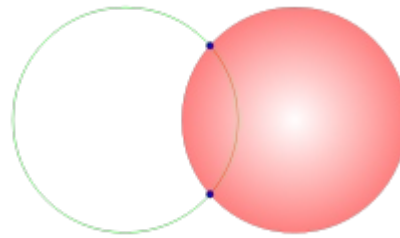


Abb. 2: Kugelschnitt

“Mit den 3 Festpunkten als Kugelmittelpunkte und den dazugehörigen Strecken zum Neupunkt als Radius lassen sich eindeutige Kugeln beschreiben. Der Schnitt zweier Kugeln liefert in der Regel einen Kreis (Abbildung 2). Die sich aus dem der Kugeln ergebenden Schnittkreise schneiden sich wiederum um 2 Punkte, die mögliche Lösungen für die Position des Neupunktes darstellten. Als Entscheidungskriterium für die richtige der beiden Lösungsmöglichkeiten wird die Orientierung des Dreiecks M1, M2, M3 benutzt.”^[2] Dieser Sachverhalt lässt sich formal durch die Kugelgleichung beschreiben, wobei s_i die Strecke zwischen fester Station und Neupunkt ist, x, y, z die Koordinaten des Neupunktes sind und x_i, y_i, z_i die Koordinaten der Festpunkte darstellen:

$$s_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

2.2. Time Difference Of Arrival

Dieses Verfahren basiert auf der Zeitdifferenzmessung zwischen mobiler Station und den festen Stationen. Sofern die mobile Station die Rolle des Senders übernimmt, empfangen mindestens drei Basisstationen dieses Signal, *“geben dem Signal einen Zeitstempel und leiten diese Information zur Berechnung der Position weiter. Aus den Differenzen der jeweiligen Zeitstempel kann dann die Position der mobilen Station mit Hilfe von Trilateration berechnet werden.”*^[3] Obliegt die Aufgabe des Sendes bei den Basisstationen, müssen diese zeitlich synchronisiert werden. In diesem Fall kann die Position des Empfängers über einen Hyperbelschnitt berechnet werden. *“Die Hyperbellinien sind die Orte aller Punkte N, bei denen die Streckendifferenz immer gleich groß ist. Der Schnitt dieser Hyperbeln liefert dann die eindeutige Lösung für N. Der Hyperbelschnitt lässt sich auf den dreidimensionalen Fall erweitern. Hier spricht man vom räumlichen Hyperbelschnitt oder auch Hyperboloidschnitt.”*^[2]

2.3. Angle Of Arrival

Bei diesem Verfahren wird der Eingangswinkel der Signale gemessen. Dies ist möglich, da an den Basisstationen spezielle Antennenarrays angebracht sind, auf denen mehrere Empfänger angebracht. Im zweidimensionalen Fall reichen zwei nebeneinander liegende Empfänger aus (Abbildung 3). "Der Eingangswinkel α kann über die Laufzeitdifferenz einer in den beiden Sensoren S_1 und S_2 auftreffenden Welle und der Bezugsrichtung durch die Normale zur Basislinie b ermittelt werden."^[2] Werden nun an zwei Basisstationen, deren Entfernung zueinander bekannt ist, die Eingangswinkel der Signale gemessen, kann aus diesen Werten mit dem Triangulationsverfahren die Position des Neupunktes berechnet werden (Abbildung 4).

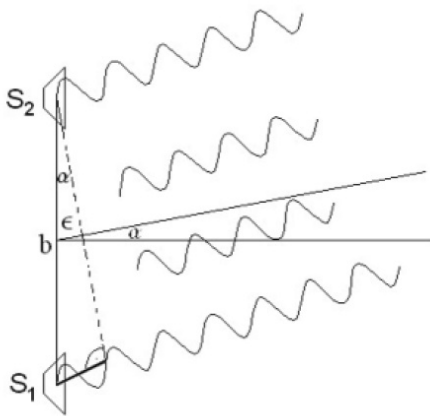


Abb. 3: Antennenarray^[2]

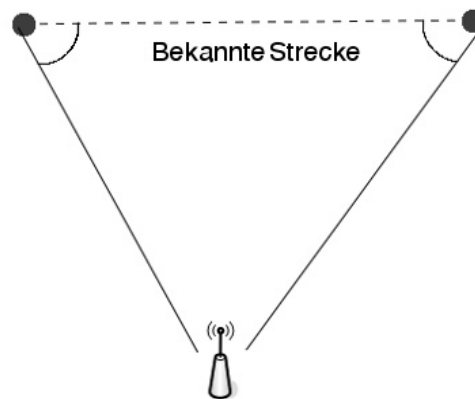


Abb. 4: Triangulationsverfahren

Zur Ermittlung einer Position im dreidimensionalen Raum müssen die Antennenarrays den Höhenwinkel messen. Dazu müssen sie zusätzlich eine vertikale Komponente besitzen. Auch wenn bei diesem Verfahren nur zwei Basisstationen ausreichen, um die Position der mobilen Station zu lokalisieren, kann durch die Nutzung von weiteren Basisstationen die Genauigkeit erhöht werden.

2.4. Cell of Origin

Unter dem Namen Cell of Origin (oder auch Access-Point-Monitoring^[4]) versteht man ein Verfahren, bei dem die Basisstationen eine Zellenstruktur aufweisen. Der Empfänger stellt immer zur am nächsten gelegenden Basisstation die Verbindung her. Ist der Empfänger mit einer Basisstation verbunden, muss er sich folglich im Einzugsbereich der Station befinden^[3]. Da die Positionen der Basisstationen bekannt sind, kann auch eine Positions-

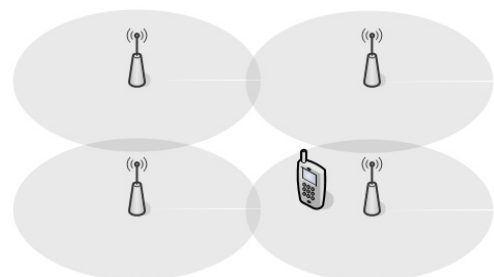


Abb. 5: Cell of Origin

bestimmung der mobilen Station erfolgen (Abbildung 5). Die Genauigkeit dieses Verfahren hängt von der Dichte der Basisstationen ab. Trotzdem findet dieses Verfahren zum Beispiel bei Location Based Services von Betreibern der Handynetzwerke (z.B. O2 Homezone) Anwendung,

da die gegebene GSM-Infrastruktur ohne weiteren Aufwand genutzt werden kann.

2.5. Scene Analysis

Unter Scene Analysis (dt. Szenenanalyse) versteht man Verfahren, bei denen die Umgebungseigenschaften vom System analysiert werden. Anschließend werden die erhobenen Daten mit Referenzwerten verglichen, welche zum Beispiel in einer Musterdatenbank hinterlegt sind. Der Charakter der gegebenen Muster kann jedoch vielfältig sein. Verfahren, bei denen die Umgebung optisch ausgewertet wird, werden unter dem Stichwort Object Matching zusammengefasst^[4]. In der gegebenen Szene wird dabei versucht bekannte Objekte zu identifizieren. Ist dies erfolgreich, kann daraus auf die eigene Position geschlossen werden. Ein weiteres Verfahren, welches ebenfalls Umgebungseigenschaften auswertet, wird als Fingerprint-Verfahren bezeichnet. Hierbei werden Signalstärken gemessen und mit Referenzwerten verglichen^[5]. Jeder Position ist eine gewisse Konstellation von Signalstärken zugeordnet, auch Fingerprint (dt. Fingerabdruck) genannt (Abbildung 6). Dieser Fingerprint wurde durch Vergleichsmessungen vorher bestimmt.

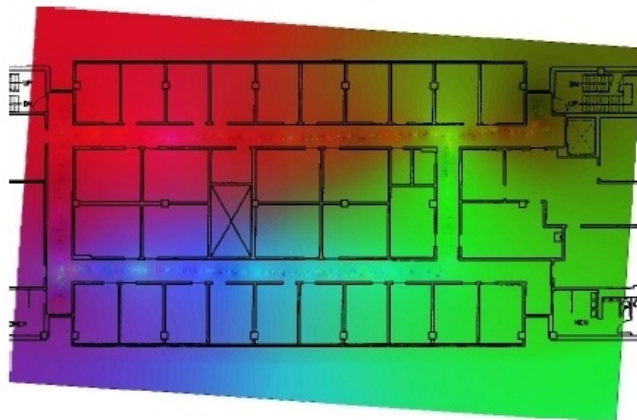


Abb. 5: Karte von Signalstärken^[4]

3. Realisierungsansätze

Die bisher vorgestellten Positionierungsmethoden können mit dem Einsatz verschiedener technischer Mittel realisiert werden. Daraus ergeben sich wieder spezifische Vor- und Nachteile. Deshalb werden einige Realisierungsansätze im Folgenden vorgestellt.

3.1. Infrarot

Ein bedeutender Ansatz der Ortserkennung im Innenbereich ist die Verwendung von Infrarot-Baken. Die Reichweite von Infrarot-Sender ist jedoch stark begrenzt. *“Diese senden ein meist statisches Signal, das vom Empfänger als Identifikation eines Ortes interpretiert werden kann. Ein wesentlicher Nachteil dieser Baken ist aber die Eigenschaft, daß die Erkennung des Signals Sichtkontakt zwischen Endgerät und Bake voraussetzt.”*^[6] Des Weiteren sind tote Winkel und der massgebliche Einfluss von Licht auf die Signale als Nachteil zu nennen. Infrarot-Laser, welche

stark gebündelte Infrarot-Strahlung abgeben, finden jedoch bei sehr präzisen Messsystemen Anwendung.

3.2. Ultraschall

Bei der Verwendung von Ultraschall als Positionierungssystem *“werden Laufzeitmessungen von ausgesendeten Ultraschallimpulsen genutzt und daraus Raumdistanzen ableiten zu können. Mit Hilfe dieser wird anschließend durch Trilateration eine Positionsbestimmung durchgeführt. Die Signale werden dabei entweder von einem mobilen Sender ausgesendet und von fest installierten Empfängern empfangen oder es werden umgekehrt von fest angebrachten Sendern Signale ausgesendet, die von beweglichen Empfängern detektiert werden.”*^[2] Hierbei wird in der Regel das Time of Arrival Verfahren verwendet. Oftmals wird auch ein Radiofrequenzsignal zur Hilfe genommen, um die mobile Station zu identifizieren. Da sich Radiofrequenzen mehr als hundert mal so schnell ausbreiten, wie es Ultraschall tut, können so mit dem Time Difference Of Arrival Verfahren ebenfalls Streckenlängen gewonnen werden^[7]. Ultraschallwellen besitzen eine Frequenz zwischen 20 kHz und 1 GHz. In Abhängigkeit von der Dichte des Materials werden sie entweder reflektiert, absorbiert oder passieren den Stoff. Dies muss bei der Verteilung der Sensorstationen bedacht werden. Innerhalb von Luft kommt es zu einer mit der Frequenz steigenden Dämpfung von Ultraschallwellen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist des Weiteren von der Temperatur des Mediums abhängig^[8]. Dieser Einfluss muss gegebenenfalls in die Positionsberechnung einbezogen werden und stellt einen großen Nachteil bei der Verwendung von Ultraschall dar.

3.3. RFID

Mit Hilfe von RFID (Radio Frequency Identification) lassen sich ebenfalls Positionierungssysteme konstruieren. Hierbei wird ein Transponder an das zu identifizierende Objekt angebracht, welcher von einem Lesegerät erkannt werden kann. Man unterscheidet zwischen passiven Transpondern, ohne eigene Energieversorgung, und aktiven Transpondern, welche mit einer Batterie ausgestattet sind. Passive Transponder bekommen ihre Energie aus dem Feld, welches das Lesegerät erzeugt. *“Ein Erfassungs-/Lesegerät (oft Reader genannt) beinhaltet ein Hochfrequenzmodul (Sender und Empfänger), eine Kontrolleinheit (ev. mit Schnittstelle) sowie ein Koppellement (Antenne) zum Transponder.”*^[3] RFID-Systeme benutzen auf Grund gesetzlicher Regelungen fünf Bereiche im Frequenzspektrum: Low Frequency (125 bis 134 KHz), High Frequency (13,56 MHz), Very High Frequency (433 MHz), Ultra High Frequency (868 oder 915 MHz) und der Bereich um 2.4 GHz, in dem auch WLAN-Signale gesendet werden. Reflektions- und Absorptionseigenschaften, sowie Reichweite und Energieverbrauch werden maßgeblich von verwendetem Frequenzbereich bestimmt. Elektromagnetische Wellen mit hohen Frequenzen werden so zum Beispiel von Metallen reflektiert. Des Weiteren erreichen aktive Systeme wesentlich größere Reichweiten als passive Systeme, weshalb sie wesentlich besser für den Einsatz als Positionierungssystem geeignet sind.

RFID-Systeme besitzen außerdem den Vorteil, dass die Anzahl der zu verwendenden RFID-Transpondern nahezu unbegrenzt ist. Auf Grund der möglichen hohen Dichte der Lesegeräte kommt ein signalstärke-basiertes Verfahren zur Lokalisierung der mobilen Stationen in Frage. *“Durch die reduzierte Sendeleistung der Short Range Tags sind an wichtigen Positionen Ortungsgenauigkeiten unter 1m möglich. Insgesamt zeigen die Messungen mit der verwendeten Long Range Hardware aber, dass im flächendeckenden Durchschnitt eine höhere Ortungsgenauigkeit als 5m nicht zu erwarten ist.”*^[3]

3.4. WLAN / Bluetooth

Bluetooth und WLAN nutzen hochfrequente elektromagnetische Wellen im ISM-Band zur Datenübertragung. Bluetooth nutzt hierbei Frequenzen zwischen 2,402 GHz und 2,480 GHz. WLAN-Anwendungen senden hingegen auf Frequenzen von 2,4 GHz bis 2,4835 GHz und 5,15 GHz bis 5,725 GHz^[9]. Je nach Sendeleistung und Umgebung sind bei beiden Systemen Reichweiten bis zu 100m möglich, wobei auch Wände kein größeres Problem darstellen. Dies erweist sich jedoch auch als großer Nachteil bei der Positionsbestimmung auf bloßer Grundlage von Annäherung. Bei zusätzlicher Messung der Signalstärke und Einsatz von Trilateration kann die Genauigkeit allerdings erhöht werden. In der Praxis wird darüber hinaus oftmals das Fingerprint-Verfahren (siehe 2.5) unterstützend eingesetzt. *“Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Signalstärke aufgrund verändernder Umgebungsparameter sehr schnell variiert, wodurch die Korrelation zwischen dem Empfangspegel und dem Abstand sehr unzuverlässig ist.”*^[2] Die Messungsgenauigkeit kann je nach Umgebung und Dichte der festen Stationen bis zu einigen Metern betragen.^[7]

3.5. Ultra Wide Band

Ultra Wide Band bezeichnet eine Drahtlostechnologie, welche an keine Frequenzen gebunden ist. Bisher befindet sich UWB-Technologie noch im Entwicklungsprozess, wird aber künftig für den Einsatz am Massenmarkt verfügbar sein. Die Übertragung der Daten kann auf einem sehr breiten Frequenzspektrum erfolgen, weshalb bereits bestehende Frequenzbänder genutzt werden können. Dabei beträgt die Bandbreite mindestens 500 MHz oder aber eine Bandbreite, die mehr als ein Fünftel der Transmission beträgt. Wenn die Realisierung von UWB mittels des sogenannten Impulse Radio stattfindet, wird im Gegensatz zu herkömmlichen Technologien eine definierte Folge kurzer Impulse über ein breites Frequenzband übertragen. Auf Grund der Kürze der Impulse und der daraus resultierenden geringen Arbeitszyklen weisen UWB-Systemen einen sehr geringen Energieverbrauch auf und sind in der Lage hohe Datenraten auf kurze Distanz zu übertragen.^[10] *“Aufgrund der starken Leistungsbeschränkung sind UWB-Sender derzeit jedoch nicht in der Lage, ein Signal über große Entfernungen zu versenden. Die maximale Reichweite liegt daher etwa bei 30 bis 50 m.”*^[2] Von Vorteil ist allerdings, dass UWB in der Lage ist Materialien zu durchdringen. Experimente, bei denen UWB als Positionierungssystem auf Basis von Trilateration verwendet

wurde, legen nahe, dass unter günstigen Verhältnissen Genauigkeiten bis zu 1,5cm erreicht werden können. Selbst unter sehr harten Bedingungen konnten Genauigkeiten um einen Meter erreicht werden.^[11] Wegen der hohen Genauigkeit, dem großen Frequenzspektrum und der hohen Datenübertragungsrate ist UWB eine vielsprechende Technologie für den Einsatz als Indoor-Positionierungssystem.

4. Indoor-Positionierungssysteme

In diesem Unterkapitel sollen die am Markt erhältlichen Positionierungssysteme vorgestellt werden. Anspruch auf Vollständigkeit ist auf Grund der unübersichtlichen Markt- und Forschungssituation jedoch schwer möglich. Die im Folgenden vorgestellten verwenden im Wesentlichen in den vorausgegangenen Unterkapiteln angerissen Techniken und Verfahren (Abbildung 6).

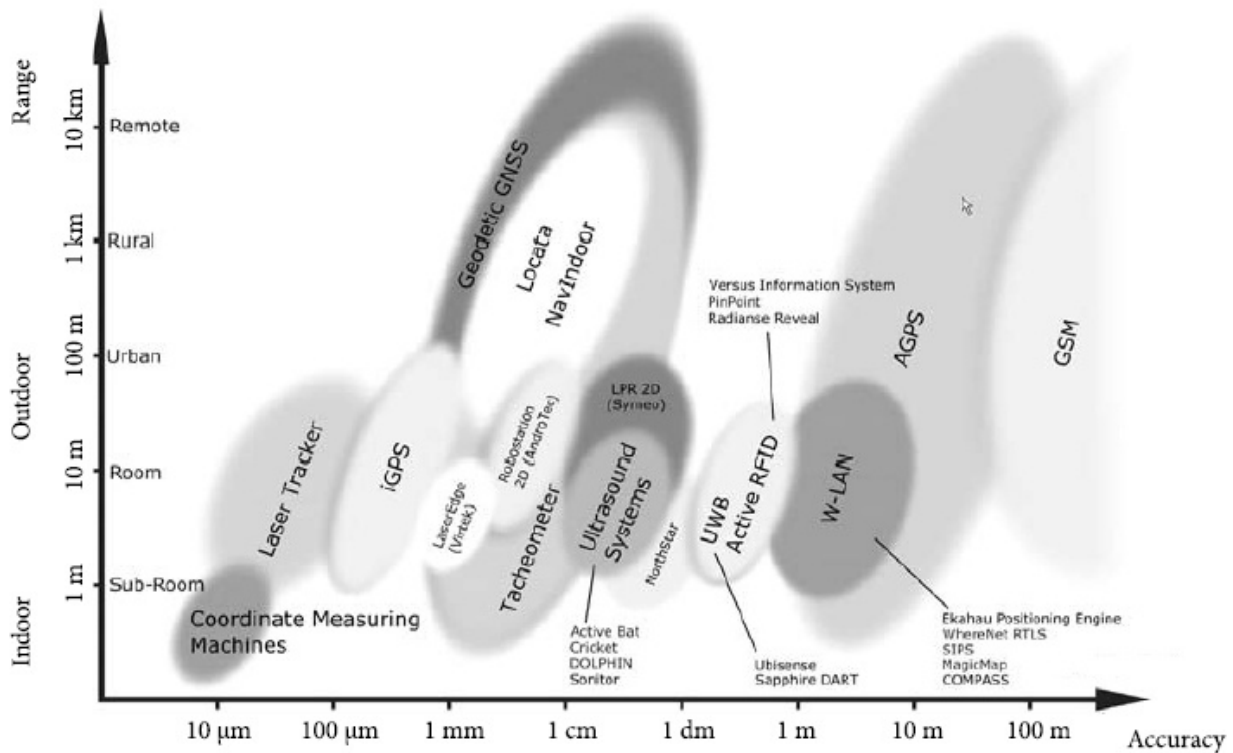


Abb. 6: Übersicht der Positionierungstechnologien^[7]

4.1. Laser Tracker & iGPS

Lasertracker-Systemen kombinieren zur Erfassung von 3D-Koordinaten Winkelmessungen und Distanzmessungen, welche durch Phasenverschiebungen ermittelt werden. Das Grundprinzip besteht darin, dass mehrere tausend Laserpulse pro Sekunde ausgesendet werden und ein Reflektor sie an der zu lokalisierenden Stelle reflektiert. Ein rotierender Sensor erfasst die reflektierten Strahlen und wertet sie in Bezug auf Winkel und Distanz aus. Typischen Reichweiten liegen zwischen 15 und 70 Metern. Bei Entfernungen von wenigen Metern beträgt die Messungengenauigkeit oft unter 100 µm.^[7] Eine dynamische Zielverfolgung ist ebenfalls möglich. Lasertracker-Systeme werden von Automated Precision Inc, Leica Geosystems und Faro

Technologies Inc. vermarktet. Sie finden jedoch eher in der Vermessungstechnik Anwendung. Eine Ausnahme stellt hierbei das iGPS-System von Metris (Nikon Group) dar. Mehrere sogenannte Satelliten emittieren hierbei fächerförmige Laserpulse in den gesamten Raum. Zwei Satelliten sind für die Funktionsfähigkeit minimal notwendig. Sensoren in Zylinderform nehmen dieses Licht auf und können daraus ihre Position bestimmen. Nach Herstellerangaben liegt die maximale Reichweite im Innenbereich bei 30m, die Genauigkeit bei Verwendung von 4 Satelliten bei 2mm.^[12]

4.2. Assisted GPS

GSNN-Systeme sind für den Außenbereich konzipiert. Bei GPS findet die Messung mittels der Time-of-Arrival-Methode statt, wobei die Signale von mindestens 4 Satelliten empfangen werden müssen. Im Innenbereich werden diese Signale jedoch von Wänden reflektiert oder absorbiert. Um auf die weltumspannende Verfügbarkeit von GPS jedoch nicht verzichten zu müssen, wurde das sogenannte Assisted GPS entwickelt. Hierbei versucht der Empfänger schwache GPS-Signale zu empfangen, sofern dies möglich ist. Zusätzliche Positionsinformationen werden über das Mobiltelefonnetz bezogen, wodurch der Empfang der GPS-Signale erleichtert werden soll. Unter Anwendung des Satellite Based Augmentation System (SBAS) ist so eine Genauigkeit von 10m bei der Positionsbestimmung möglich.^[7]

4.3. Infrarot-Systeme (Active Badge, WIPS)

Mit Active Badge wurde 1989 von AT&T in Cambridge das erste Indoor-Positionierungssystem entwickelt. Dabei wurden Personen und Objekte mit einem Infrarotsender versehen, der alle 10 Sekunden ein Signal aussandte. Die Auswertung wurde von einem Sensorennetzwerk übernommen, welches die Daten an einen zentralen Server übertrug (Abbildung 7).

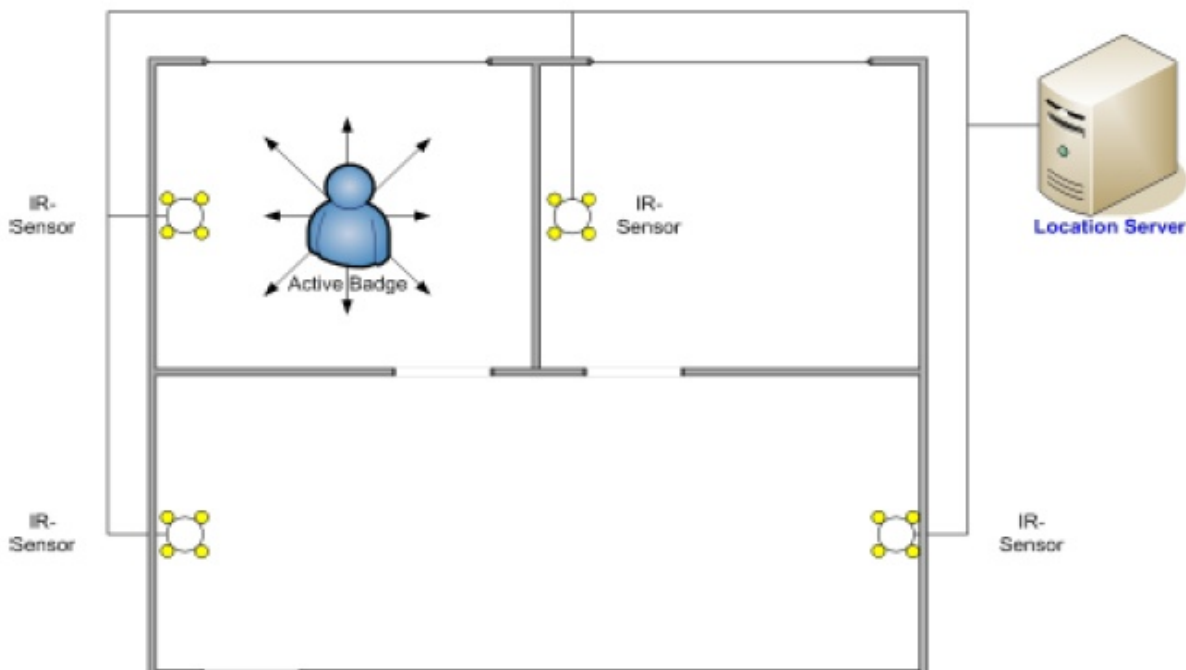


Abb. 7: Active Badge System^[14]

Als Verwendungszweck sollten ursprünglich eingehende Telefonate auf den dem Mitarbeiter jeweils am nächsten gelegenen Telefonapparat umgeleitet werden.^[13] Obwohl eine präzise Lokalisierung möglich war, kamen auch die Nachteile von Infrarot zum Tragen. Durch die begrenzte Reichweite mussten mitunter mehrere Sensoren pro Raum angebracht werden. Des Weiteren waren die Signale für Störungen durch Licht oder tote Winkel anfällig. Von Vorteil war jedoch der geringe Wartungsaufwand. Als Negativpunkte sind anzumerken, dass die Batterie durch das kontinuierliche Senden stark belastet wurde und keinerlei Informationsfluss zurück zum Benutzer möglich war.^[14]

Dieser Umstand führte zur Entwicklung von WIPS (Wireless Indoor Positioning System). Dieses System ist dem Active Badge System sehr ähnlich, wobei jedoch die IR-Sender fest installiert sind und der Empfänger mobil ist. Dieser leitet sein ID mit seiner Positionsangabe per WLAN an einen Server weiter. So sind die Positionsdaten, wie bei Active Badge, auf einem Server zentral gespeichert, auch wenn ein Informationsfluss zurück zum Benutzer möglich ist. Die grundsätzlichen Nachteile von Infrarot-Technik konnte aber auch WIPS nicht ablegen.

4.4. Ultraschall-Systeme (Cricket, IMAPS, Active Bat & DOLPHIN)

Das Cricket System wurde 1997 vom MIT Computer Science Laboratory entwickelt. Es basiert auf fest installierten Ultraschall-Sendern und mobilen Empfängern unter Anwendung des Time of Arrival Verfahrens. Die Ultraschallsender sind mit Funksendern kombiniert. Die schnelleren Funkwellen werden mit den Ultraschallsignalen versandt, so dass eine Laufzeitbestimmung möglich ist. Die Auswertung erfolgt beim Empfänger. Von Vorteil ist die hohe Genauigkeit von 1 bis 2cm bei optimalen Bedingungen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit von Real-Time-Tracking bei einer maximalen Rate von 1 Hz.^{[7][14]} Von Nachteil ist der hohe Kostenaufwand, da eine große Dichte an Sendern notwendig ist. Zudem sind die Ultraschallsignale temperaturanfällig und ein Auftreten von Multipath-Signalen kann nicht ausgeschlossen werden.

Ein weiteres System auf Basis von Ultraschall ist das 2006 an der HAW Hamburg entwickelte IMAPS (Indoor Distance Measurement And Positioning System). Der Aufbau und die Funktionsweise ist nahezu identisch mit dem Cricket System. Auch die Vor- und Nachteilen sind wesensgleich. Beachtlich ist jedoch der geringe Messfehler von unter 55mm bei einem Abstand von 6m zwischen Sender und Empfänger.^[14]

Das Active Bat System wurde 1997 an den AT&T Laboratories Cambridge entwickelt. Es war als Nachfolgesystem von Active Badge gedacht. Die mobilen Stationen (Active Bats) sind mit Funkempfängern und Ultraschallsendern ausgestattet. Die Ultraschallempfänger sind mit einem Abstand von 1,2m an der Decke montiert und per WLAN mit einem zentralen Server verbunden. *„Jeder Active Bat meldet sich bei einem der Access Points des drahtlosen Netzwerks an und übermittelt seine GID (Global Identität). Der Access Point sendet periodisch alle GIDs, die bei ihm angemeldet sind. Empfängt ein Active Bat seine GID, sendet dieser einen Ultraschallimpuls aus. Dieser Ultraschallimpuls wird von den Ultraschall-Empfängern an der Decke, welche ebenfalls*

durch den GID-Broadcast angesteuert wurden, aufgefangen.”^[14] Diese Senden ihr Messergebnis zum zentralen Server, wo das Ergebnis mittels des Time Of Arrival Verfahrens ausgewertet wird. Die Genauigkeit liegt in 95% der Fälle unter 5cm.^[7] Als Nachteile sind der hohe Aufwand, da eine große Dichte an Empfängern notwendig ist, und die zentralisierte Struktur des Systems zu werten. Ein weiteres Positionierungssystem auf Basis von Ultraschall ist DOLPHIN (Distributed Object Locating System for Physicalspace Internetworking). Auch hier werden Funk- und Ultraschallsignale wieder kombiniert. Es erreicht eine Auflösung von 2cm bei einem Abstrahlradius von 3m.^[15]

4.5. SpotOn

SpotOn wurde 2000 an der University of Washington entwickelt. Bei diesem System sendet die mobile Station Funksignale, während fest installierte Stationen diese empfangen. Die Lokalisierung findet über die Signalstärkemessung statt, an der mehrere Empfänger beteiligt sind. Das Funksignal dient außerdem der Identifizierung. Die Auswertung der Daten erfolgt auf einem zentralen Server. Dabei wird angenommen, dass die Signalstärke mit dem Quadrat des Abstandes fällt. Diese Messtechnik ist jedoch nicht sehr genau, wodurch nur eine Genauigkeit von 4 Metern zu erwarten ist.^[14] Des Weiteren ist ein Informationsrückfluss zum Benutz nicht möglich.

4.6. funknetzgestützte Positionierung (RADAR, HiPath DPS)

Als erstes Positionsbestimmungsverfahren seiner Art entwickelte Microsoft Research das Radar-System im Jahr 2000. Es nutzt vorhandene WLAN-Infrastruktur und braucht keine zusätzliche Hardware. Vor der eigentlichen Nutzung werden Referenzmessungen der Signalstärken durchgeführt. In der Nutzungsphase senden dann die Access Points Datenpakete, sogenannte Funk-Beacons, an die mobilen Empfänger. Dabei wird die Funkstärke gemessen und mit den Referenzwerten in einer Datenbank verglichen. Sofern es keine direkte Übereinstimmung gibt, wird der Datensatz mit der geringsten euklidischen Abstand genommen. Leider beträgt die Messgenauigkeit nur 2 bis 3 Meter, was sich aus den Eigenschaften von Funkwellen erklären lässt (siehe Kapitel 3.2).

Das von 2007 von Siemens entwickelte HiPath DPS verwendet DECT-Netze (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) zur Lokalisierung von schnurlosen Telefonen. Die Funktionsweise ähnelt dem des RADAR-System. Vor Inbetriebnahme werden Referenzmessungen durchgeführt, die während des Betriebs zur Signalstärkeauswertung genutzt werden. Die Genauigkeit liegt bei bis zu 5m.^[14]

4.7. Ultrabreitband-Systeme (Ubisense 7000)

Bei Ubisense 7000 handelt es sich um ein Real-Time-Positionierungssystem auf Basis von Ultrabreitband. Dabei senden Transmitter, sogenannte Active Tags, kurze Impulse, die durch die Basisstationen empfangen werden. Die Position der Tags wird daraufhin mittels des AOA-

und/oder TDOA-Verfahrens bestimmt. Die einzelnen Basisstationen sind mittels eines Netzwerkes auf Basis von WLAN oder Ethernet verbunden, wobei ein sogenannter Master Sensor die Aktivität überwacht und koordiniert. Die Tags senden ihre Signale bis zu 20 mal in der Sekunde. Die Kontrollinformationen werden vom Sensornetzwerk mittels 2,4 Ghz-ISM-Funk an die Tags übertragen. Die Tags senden also erst auf Anforderung ihr Signal. Die Genauigkeit der Messung kann bis zu 15cm betragen. Die UWB-Signale sind jedoch nicht in der Lage Metalle oder Flüssigkeiten zu durchdringen, weshalb eine hohe Dichte an Sensoren je nach räumlichen Gegebenheiten nötig ist.^[16]

5. Fazit

Während für den Außenbereich GNSS-Systeme als Standard akzeptiert und rege genutzt werden, gibt es für den Innenbereich bisher kein System, welches in jeder Hinsicht überzeugen kann. Alle vorgestellten Systeme sind in einem oder mehreren Bereichen (Positionierungsgenauigkeit, Störanfälligkeit und Installationsaufwand) noch vom gewünschtem Optimum entfernt. Es gilt jedoch Forschungs- und Entwicklungsergebnisse weiterhin genau zu beobachten, da sich dieser Umstand vielleicht auch schon in näherer Zukunft ändern könnte.

6. Quellen

- [1] Sonitor Technologies Inc., www.sonitor.com, Bothell WA 98011, Januar 2010
- [2] J. Blankenbach, A. Norrdine, H. Schlemmer, V. Willert, Indoor-Positionierung auf Basis von Ultra Wide Band, AVN 5/2007
- [3] Michael Menz, RFID-basierte Positionsbestimmung, Studienarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, 2005
- [4] Hendrik Lemelson, In- und Outdoor Positionierungssysteme, Mobile Business Seminar, Universität Mannheim
- [5] K. Kaemarungsi, P. Krishnamurthy, Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique, ISBN: 0-542-31142-9, University of Pittsburgh, 2005
- [6] Drechsler, K., Realisierung einer Bluetooth-basierten Bake zur Ortserkennung mobiler Endgeräte, TU Darmstadt, Diplomarbeit, 2003
- [7] Rainer Mautz, Overview of Current Indoor Positioning Systems, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich, Switzerland, September 2008
- [8] Brockhaus in zehn Bänden: Rund 150 000 Stichwörter, ISBN: 978-3765324505, Oktober, 2004
- [9] Bundesnetzagentur, Frequenznutzungsplan, Stand April 2008, www.bundesnetzagentur.de/media/archive/17448.pdf
- [10] Faranak Nekoogar, Ultra-Wideband Communications, ISBN: 9780131463264, Prentice Hall International, 2006
- [11] Maria-Gabriella Di Benedetto, UWB Communication Systems, A Comprehensive Overview, ISBN: 978-9775945105, Mai 2006
- [12] Metris, http://de.metris.com/industries/application_case_studies/igps/igps/
- [13] Andreas Herglotz, Lokalisierung und Orientierung in Gebäuden - IMAPS und Headmounted Display im Einsatz als Museumsführer, Bachelorarbeit, HAW Hamburg, 2006
- [14] Thomas Steinberg, Erstellung eines Frameworks für eine positionsabhängige Auftragsverwaltung in mobilen Netzwerken, Masterarbeit, HAW Hamburg, 2007
- [15] Masateru Minami etc., DOLPHIN: A Practical Approach for Implementing a Fully Distributed Indoor Ultrasonic Positioning System, ISBN: 978-3-540-22955-1, 2004
- [16] Ubisense, www.ubisense.de, Januar 2010