

Indoor Localization

Irene Ehrlich

Sentmaringer Weg 100, 48151 Münster

lais@uni-muenster.de

0251 – 97 43 59 9

EINFÜHRUNG

In diesem Vortrag werden zuerst verschiedene Basisverfahren und –techniken zur Lokalisierung von Teilnehmern in den Gebäuden (Indoor-Lokalisierung) erläutert. Dann werden ausgewählte Systeme vorgestellt, die bereits ihren breiten Einsatz in der Praxis gefunden haben. Abschließend wird auf die Vor- und Nachteile dieser Systeme eingegangen.

Wenn der Aufenthaltsort von einem Nutzer bekannt ist, dann können ihm ortsabhängige Dienste angeboten werden. Aus diesem Grund ist die Lokalisierung der Teilnehmer eine sehr wichtige Komponente. Wird ein Nutzer nicht richtig lokalisiert, dann sind in der Regel die ihm gelieferten ortsabhängigen Informationen wertlos.

Dabei muss man zwischen der Lokalisierung im Freien (Outdoor-Lokalisierung) und in Gebäuden unterscheiden. Im Freien bietet sich die Verwendung des Global Positioning System (GPS) an. GPS ist ein satellitengestütztes System zur Positions- und Geschwindigkeitsmessung von (bewegten) Systemen überall auf der Welt. Dieses System hat sich in den letzten Jahren weltweit als System zur Positionsbestimmung in Kraftfahrzeugen, in der Schifffahrt und in Flugzeugen durchgesetzt. Die Satellitennavigation erlaubt eine bequeme und für den Endbenutzer kostengünstige Positionsbestimmung.

Allerdings kann GPS nur außerhalb von Gebäuden genutzt werden, da die Signale Mauern nur ungenügend durchdringen [1]. In der Praxis haben einige Versuche mit GPS-Empfängern gezeigt, dass eine Abschattung der GPS-Signale auch schon bei Annäherung an ein Gebäude in einem Radius von mehreren Metern um das Gebäude zu beobachten ist. Beim Betrieb muss das GPS-Gerät wegen der geringen Sende-Leistung der Satelliten (nur ca. 20 bis 50 Watt) und den verwendeten Frequenzen jedoch stets einen freien Blick zum Himmel haben [6]. Es kann jedoch auch dazu kommen, dass das Signal eines oder mehrerer Satelliten an Bäumen oder Gebäuden reflektiert wird (Multipath- oder Mehrwege-Effekt). Dadurch werden die Laufzeitmessungen des GPS Empfängers verfälscht. Außerdem muss die Indoor-Lokalisierung genauer sein als im Freien und möglichst auch schnelle Veränderungen registrieren können.

Die Indoor-Lokalisierung ist ein relativ junges Verfahren und es gibt in diesem Fall eine Vielzahl von Anwendungen,

die eine Ortung im Innenraum benötigen: E-Commerce, Überwachung von Kindern und älteren Personen, Feuerwehr, Militär, Überwachung von Fahrzeugen in den Tiefgaragen.

TECHNOLOGIEN ZUR INDOOR-LOKALISIERUNG

Zu Beginn der Entscheidung über ein bestimmtes Indoor-Lokalisierungssystem legt man zuerst die erforderlichen Parameter fest. Anhand dieser Werte sollte eine Bewertung unterschiedlicher Verfahren möglich sein.

Genauigkeit

Das System sollte auf jeden Fall ein Mindestmaß an Genauigkeit garantieren. Die Genauigkeit eines Systems gibt die Abweichung zwischen einer durch das System ermittelten Soll-Position und der realen Ist-Position an. Es hängt von der gewünschten Anwendung ab, welche Genauigkeit für das System ausreichend ist, bzw. welcher Fehler noch tolerabel ist. Ein Nutzer dieses Systems sollte sich auf jeden Fall ohne fremde Hilfe in dem Gebäude bewegen können und auch sein angestrebtes Ziel ohne Probleme erreichen können.

Skalierbarkeit

Die Lokalisierungssysteme können in zwei Dimensionen skaliert werden: geographisch und in der Dichte. Die geographische Ausdehnung beschreibt die Fläche, die durch das System abgedeckt wird. Die Dichte beschreibt die Anzahl der gleichzeitig zu lokalisierenden Elemente pro Flächeneinheit [2].

Im Hinblick auf eine mögliche Skalierung des Systems auf ein größeres Gebiet, muss aber eine Technik gefunden werden, mit der eine Erweiterung zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist.

Eine Skalierung des Systems kann sehr häufig mit Hilfe von zusätzlicher Infrastruktur durchgeführt werden. Ein System, mit dem in einem Gebäude die Position von Teilnehmern bestimmt wird, kann beispielsweise durch zusätzliche Sensoreninfrastruktur auf mehrere Gebäude erweitert werden. Eine Skalierung von Systemen verursacht deshalb in erster Linie zusätzliche Kosten. Neben den anfallenden Kosten für zusätzliche Hardware steigt bei der Skalierung auch sehr häufig die Komplexität von Systemen. Die Verwaltung z.B. von größeren Datenbanken kann problematisch werden [3]. Genau aus diesem Grund sollte der administrative Aufwand zur Verwaltung und Installation und Wartung der Soft- und Hardware-

Infrastruktur minimal gehalten werden. Die verwendeten Kommunikationsprotokolle sollten dazu in der Lage sein auch eine große Anzahl von Teilnehmern gleichzeitig verarbeiten zu können.

Für die Bestimmung des Aufenthaltsorts von Personen in den Gebäuden gibt es unterschiedliche Verfahren, die in der Abbildung 1 gezeigt sind [5]. Wobei die netzwerkgestützte Verfahren – wie GSM, UMTS, MPS und WLAN - gibt es dabei sowohl für den Innenbereich als auch für den Außenbereich. Auf diese Verfahren werde ich in meiner Seminararbeit nicht eingehen.

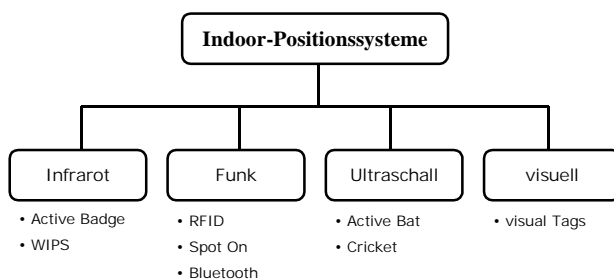


Abb. 1: Indoor-Positionssysteme

Diese Indoor-Positionssysteme (Abb.1) können grob in zwei Kategorien unterteilt werden [5]:

- **Tracking:** der Benutzer trägt eine Marke, die von einem Sensornetz erkannt und verfolgt wird. Die Marken werden häufig auch als Bat oder Badge bezeichnet. Vorerst kennt also nur das Sensornetz die Position des Benutzers. Für die Verarbeitung im Endgerät muss sie erst wieder an dieses zurück gefunkt werden. Problematisch ist hier, dass die Informationen zuerst im Netzwerk zur Verfügung stehen und deshalb potentiell jedem der Zugriff auf das Netzwerk hat zugänglich sind.
- **Positioning:** In diesem Fall empfängt das Endgerät Signale von einem Sender oder einem Netzwerk von Sendern und berechnet seine aktuelle Position selbst. Die Sender werden als Baken oder Beacons bezeichnet. Der Nachteil hierbei ist, dass die Berechnung im Gerät erfolgt, welches hierzu mehr Rechenleistung und Energie benötigt. Der Vorteil ist, dass die Information direkt im Gerät erzeugt wird und vorerst auch nur diesem zur Verfügung steht. Dies spart einerseits die Übertragung vom Netz zum Endgerät und erleichtert andererseits den Schutz der ermittelten Daten.

Die meisten Verfahren nutzen eine oder mehrere der folgenden Techniken [8]:

- **Cell of Origin (COO):** Beim Cell-ID-Verfahren liegt dem System eine Zellstruktur zu Grunde, so kann man durch die Position der Netzkomponenten, die ein Endgerät empfangen kann oder die es empfangen können, herausfinden, in welchem Bereich einer Zelle sich dieses Gerät befindet. Obwohl dieses Verfahren leicht zu implementieren ist, hängt die Genauigkeit von

Größe und Form der Funkzellen ab. Je kleiner die Funkzellen, desto genauer stimmen tatsächliche und ermittelte Position überein.

- **Messung der Signalstärke:** Die Signalstärke fällt quadratisch im Verhältnis zum Abstand vom Sender. Damit kann aus der bekannten Ausgangsleistung und der ermittelten Empfangsleistung der Abstand zum Sender errechnet werden. Probleme hierbei sind, dass Mauern und Gegenstände das Signal zusätzlich abschwächen und dass die Sender häufig über eine adaptive Signalanpassung verfügen und somit die gesendete Leistung nicht ermittelt werden kann.
- **Angle of Arrival (AOA):** Durch den Einsatz von gerichteten Antennen kann man die Richtung aus der ein Signal kommt bestimmen. Hierzu sind die empfangenden Basisstationen in der Regel mit einem ganzen Array von Antennen ausgestattet.
- **Time of Arrival (TOA):** Jedes Signal unterliegt einer endlichen Signalausbreitungsgeschwindigkeit. Kennt man nun Sende- und Empfangszeit und also auch die Signallaufzeit, so kann man die Entfernung des Empfängers vom Sender ermitteln. Voraussetzung ist eine sehr genaue Zeitmessung, sowie eine exakte Synchronisation zwischen Sender und Empfänger.
- **Time Difference of Arrival (TDOA):** Bei Time Difference of Arrival wird die Signallaufzeit zu drei verschiedenen Basisstationen gemessen. Durch Auswertung der Laufzeitunterschiede kann man nun durch Triangulation die ungefähre Position des Endgerätes bestimmen. Das Verfahren erzielt eine höhere Genauigkeit.

Infrarot

Mit einem Infrarot-System kann ein Gebäude sehr leicht in Bereiche unterteilt werden, denn die abgestrahlten Signale können sehr leicht eingegrenzt werden [4]. Eine Positionsbestimmung auf Zimmerniveau der Teilnehmer könnte somit erreicht werden. Mehrere Infrarotsender können sich nur dann stören, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe befinden. Durch die gerichtete Abstrahlung der Infrarotsignale wäre es sogar möglich Rückschlüsse auf die Ausrichtung der Person zu ziehen. Infrarotlicht kann massive Gegenstände nicht durchdringen. Somit ist die Reichweite von Infrarotsendern begrenzt.

Bei Infrarot muss zwischen Sender und Empfänger Sichtkontakt vorliegen. Sehr häufig kann es vorkommen, dass Sender oder Empfänger verdeckt sind, z.B. wenn der Teilnehmer von anderen Personen umringt ist. Vor allem in Gebäuden mit sehr viel Personenverkehr erscheint diese Vorstellung nicht abwegig. Das System sollte aus der Information, dass ein bestimmtes Signal nicht empfangen wurde, nicht automatisch den Schluss ziehen, dass sich der Teilnehmer nicht in einem bestimmten Raum aufhält. Vielmehr könnte er genauso in ein Gespräch mit einem hilfsbereiten Studenten verwickelt sein, der den Empfänger

verdeckt. Aber nicht nur Verdeckung kann der Grund für einen gestörten Empfang sein, auch direkte Sonneneinstrahlung stört den Empfang von Infrarotübertragungen. In Gebäuden mit vielen Fenstern kann dies ein durchaus ernstzunehmendes Problem sein. Im Gegensatz dazu ist die Infrarotkommunikation unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen, wie sie durch Maschinen oder Funksender entstehen können.

Active Badge: Active Badge ist eines der ersten und bekanntesten Forschungsprojekte zur Lokalisierung. Jede Person trägt dabei offen sichtbar einen kleinen Infrarotsender (Badge), welcher alle 15s die kurzen, 0,1s langen Infrarotsignale aussendet. Diese werden anschließend von dem im Gebäude installierten Sensor-Netzwerk aufgenommen und von einem Location Server zu Ortungsinformationen für andere Anwendungen aufbereitet [6]. Die kurze Signaldauer im Verhältnis zur Sendepause macht Kollisionen sehr unwahrscheinlich und erhöht die Lebensdauer der verwendeten Batterien stark. Das „Active Badge“ System ist ein Tracking System mit den entsprechenden Nachteilen. Es kann den Aufenthaltsort nur raumgenau auflösen, hat aber den Vorteil, dass die Sensoren wesentlich weniger auffällig, und als Standardbauteil auch deutlich billiger sind.

WIPS (Wireless Indoor Positioning System): WIPS ist ein zu Active Badges umgekehrtes Infrarot-Verfahren. Die Sender (Baken) sind nicht mehr mobil, sondern fest installiert. Die mobilen Badges empfangen das Signal der Baken und geben die jeweiligen Ortungsinformationen (z.B. über ein WLAN) an den Location Server weiter. Die aufbereiteten Daten werden dann wiederum via WLAN an die Badges zurückgegeben [5]. Mit dem WIPS kann eine zimmergenaue Positionsbestimmung realisiert werden. Im Vergleich zum „Active Badge“ System sind hier die Badges komplexer aufgebaut, denn sie benötigen neben einem Infrarotempfänger auch WLAN-Unterstützung. Die Infrarotsender sind diesem Konzept die passiven Elemente, eine aufwändige Vernetzung, wie beim „Active Badge“ System wird hier nicht benötigt. Eine Erweiterung des Systems auf mehrere Gebäude sollte deshalb mit dem WIPS leichter zu realisieren sein.

Funk

Ähnlich dem „Active Badge“ System werden beim Funk von einer Marke Signale ausgesendet. Da es sich allerdings um Funksignale handelt, welche Wände und feste Gegenstände zu einem gewissen Grad durchdringen, können auch Sensoren in benachbarten Räumen die Signale noch empfangen. Durch Messung der Signalstärke kann nun die Entfernung zwischen Sender und Empfänger berechnet werden. Die stärkere Dämpfung durch Wände und andere Objekte muss dabei berücksichtigt werden. Dazu müssen Sensoren mit einem Server vernetzt werden. Nach J. Schiller und A. Voisard erreichen implementierte Systeme eine Genauigkeit von etwa 3m [8].

Das System lässt sich auch umkehren, so dass die Baken die Signale aussenden und diese dann im Endgerät verarbeitet werden. Das hat den Vorteil, dass die Informationen direkt dem Benutzer zur Verfügung stehen ohne den Umweg über das Netz zu nehmen. Interessante Möglichkeiten ergeben sich durch die Kombination von Funk und Ultraschall, bei der die exakte Positionsbestimmung bis zu 15cm erreicht werden kann [9].

RFID: Radio Frequency Identification bezeichnet die kontaktlose Identifikation durch Funkübertragung. RFID benötigt keinen Sichtkontakt zwischen Tag und Leser und überschreitet somit die Grenzen der Infrarotsysteme. RFID-Systeme bestehen aus einer Lesestation und Transpondern. Transponder können aktiv (eigene Stromversorgung) oder passiv (drahtlose Energieversorgung über Lesestation) sein. In einem passiven RFID-System sendet ein RFID-Lesegerät Energie zu einem RFID-Tag, das sich an dem zu lokalisierenden Objekt befindet. Der Tag nimmt die Energie über eine Antenne auf, verarbeitet das Signal und sendet eine Antwort an das Lesegerät. Die Kommunikation zwischen Tag und Leser findet auf einer Funkfrequenz (bis zu 30MHz) statt. Der Tag kann Daten über das Objekt speichern, z.B. welcher Typ, zu welchem Zeitpunkt es in einer bestimmten Gegend war. Diese Information kann in der zurückgesendeten Antwort mit beinhaltet sein [8]. Die Funkkommunikation bietet aber gegenüber Infrarot einige Vorteile. Funksignale durchdringen nichtmetallische Objekte und werden deshalb auch nicht von Wänden aufgehalten. Im Vergleich zu Infrarot bietet Funkkommunikation eine höhere Bandbreite und geringere Kosten.

RFID Systeme bestimmen nicht kontinuierlich die Position der Teilnehmer, sondern registrieren nur, ob die Tags (die Teilnehmer) gewisse Wegpunkte passiert haben. Wenn sich ein Tag im Erkennungsbereich des Lesers befindet, dann wird es gelesen, unabhängig von der Blickrichtung des Teilnehmers. Dies macht es schwierig zu unterscheiden, ob ein Objekt, dass ein Tag trägt, nur zufällig das Lesegerät passiert oder wirklich das Zimmer betreten will. Nach Roth wird mit RFID-Transpondern jedoch keine Positionsbestimmung durchgeführt. Es dient lediglich zur Verfolgung von Objekten anhand von Wegpunkten (z.B. Lager, Transport, Produktion) [5].

SpotON: Eine weitere Möglichkeit mit Funksignalen Objekte zu lokalisieren sind SpotOn-Systeme. Das ist ein Konzept zur Positionsbestimmung mit aktiven RFID-Tags. Beim „SpotOn“ trägt jeder Teilnehmer einen Funksender am Körper. Im Gebäude aufgestellte Sensoren nehmen das Signal der Funksender bis zu einer gewissen Entfernung auf und übermitteln die Signalstärke an einen Server. Im Gegensatz zu Infrarot-basierten Systemen ist hier die Auswertung der Daten komplexer. Es muss eine Position gefunden werden, die zu allen gemessenen Signalstärken passt. Der Server schätzt die Position der Teilnehmer ab [5].

Der Vorteil ist, dass größere Entfernungen mit kleineren Antennen überbrückt werden können. Trotzdem sind auch diese Systeme nicht uneingeschränkt zur Positionsbestimmung geeignet, denn auch hier die Reichweite nicht größer als zwei bis drei Meter ist. Es wird ausgenutzt, dass die verwendeten RFID-Sensoren die Möglichkeit einer Signalstärkemessung bieten. Durch Messen der Signalstärke lässt sich ein Maß für den Abstand zwischen Sender und Empfänger gewinnen (s.o.).

Bluetooth: Bluetooth ist ein Kommunikationsstandard für kurze Distanzen. Verschiedene mit einem Bluetooth-Modul (Mikrochip) ausgerüstete Geräte erkennen sich automatisch, indem sie im Standby-Modus in kurzen Abständen nach Nachrichten lauschen bzw. nach neuen Geräten suchen. Nach erfolgter Verbindung tauschen sie ihre Daten miteinander aus [5]. Personen, welche mit Bluetooth-Geräten einen Raum betreten, werden von fixen Bluetooth-Stationen erkannt, wodurch die Daten zu einem Location-Server gelangen. Daneben ist es mittlerweile sehr kostengünstig möglich einen Computer mit einer Bluetooth-Schnittstelle auszustatten.

Ultraschall

Ultraschall hat die Eigenschaft sich um ca. den Faktor 10^6 langsamer auszubreiten als Funk. Sendet man also gleichzeitig ein Funk und ein Ultraschallsignal aus, so kann die Laufzeit des Funksignals vernachlässigt werden. Es kommt quasi sofort an, während das Ultraschallsignal mit einiger Verzögerung eintrifft. Misst man nun die Zeit, die zwischen dem Empfang der beiden Signale verstreicht, so kann man die Entfernung zum Sender sehr genau bestimmen (Laufzeitmessung). Hat man nun mehrere Empfänger oder Sender, so kann man die Position im Raum bestimmen [5]. Das größte Problem der Entfernungsberechnung mit Laufzeitmessung ist, dass das gesendete Signal und reflektierte Signale nicht zu unterscheiden sind (Multipath- oder Mehrwege-Effekt). Diese indirekten Signale haben einen längeren Weg zurückgelegt und der gemessene Abstand ist daher falsch. Gegenmaßnahmen beinhalten den Vergleich von Messungen mehrerer Empfänger, um Signalverfälschungen aufzudecken.

Etwas drastischer wirken sich Temperatursprünge aus. Beim Ansteigen der Temperatur von 0° auf 30° verändert sich die Schallgeschwindigkeit um 3% [2]. Bei der Verwendung von Ultraschallsignalen in Gebäuden sind aber derartig große Temperaturunterschiede nicht zu erwarten.

Active Bat: Jeder Teilnehmer trägt ein Gerät, das sogenannte Bat. An der Decke sind Empfänger in einem Raster von 1,2 m montiert. Zur Positionsbestimmung wählt ein Server immer genau ein Bat aus, damit sich keine Kollisionen ereignen können. An diesen Bat wird mit einem Funksignal eine Anfrage gesendet. Gleichzeitig wird vom Server an alle Empfänger ein synchronisiertes Reset-Signal geschickt. Der Bat antwortet auf die Anfrage mit einem Ultraschallimpuls. Jeder Empfänger bestimmt nun die Zeit,

die zwischen dem Reset-Signal und dem Eintreffen des Ultraschallsignals vergeht. Diese Information wird über ein Netzwerk an den Server weitergegeben. Der Server verfügt nun über alle notwendigen Informationen zur Positionsbestimmung des entsprechenden Benutzers. Aus den Signallaufzeiten können Rückschlüsse auf die Entfernung gezogen werden. Mit dem „Active Bat“ System kann die Position einer Bat mit einer Genauigkeit von 14cm bestimmen werden. Das zentralisierte Modell des „Active Bat’s“ mit den vernetzten Ultraschallsensoren verursacht aber extrem hohe Kosten. Für jedes Gebäude, in dem eine Positionsbestimmung erfolgen soll, ist ein Empfängernetzwerk erforderlich. Die Empfänger müssen vernetzt und die Antennen-Positionen exakt ausgemessen werden [2].

Cricket: Im Vergleich zum „Active Bat“ kehrt das „Cricket“ die Funktionen von Sender und Empfänger um. Die fest installierten Systeme, die Baken, senden hier den Ultraschallimpuls aus, der von mobilen Geräten empfangen wird [7]. Beim „Cricket“ wird die Position von den mobilen Geräten ermittelt. Um die Laufzeit des Schalls zu messen, sendet die Bake zeitgleich mit dem Ultraschallsignal ein Funksignal ab. Bei Erhalten des Funksignals aktiviert der Empfänger seinen Ultraschallempfänger, um den Ultraschallimpuls kurze Zeit später zu empfangen [5]. Der Empfänger ermittelt aus dem Zeitunterschied zwischen dem Empfang des ersten Bit des Funksignals und dem Ultraschallsignal die Entfernung zum Baken. „Cricket“ verwendet wie „Active Bat“ die Laufzeitinformation von Ultraschallsignalen, sowie ein Funksignal zur Kontrolle der Messungen. Da aber alle Berechnungen auf dem mobilen Endgerät durchgeführt werden, ist kein aufwendiges Empfängernetzwerk erforderlich [5].

Visuelle Positionsbestimmung

Verfahren in diesem Bereich basieren auf der rechenintensiven Auswertung von Videoaufnahmen. Hilfreich sind hier z.B. so genannte Visual Tags (Muster aus roten, grünen, weißen und schwarzen Quadraten), welche, ähnlich einem Barcode, die Identifikation des Trägerobjektes ermöglichen.

BEWERTUNG DER VERFAHREN

Von den hier vorgestellten Lokalisierungsverfahren wurden zwar einige sehr interessante Ansätze gefunden, aber keine dieser Lösungen kann die gewünschten Kriterien allumfassend erfüllen (Tabelle 1). Vielmehr gilt es nun die einzelnen Vor- und Nachteile abzuwägen.

	Erreichbare Genauigkeit	Skalierbarkeit
Active Badge	Raum	Sensoren-Netzwerk; ein Sensor pro Zimmer, ein Badge pro Person
WIPS	Raum	Ein Sender pro Zimmer, ein Empfänger pro Person

RF-ID	Abhängig von der Sensor-reichweite	RF-ID-Lesegeräte an wichtigsten Stellen des Gebäudes; Badges für Teilnehmer
SpotOn	3m	Aktive RF-ID-Tags und -Leser
Bluetooth	2m	Bluetooth-Geräte im max. Abstand von 8m
Active Bat	10cm	Sensoren-Netzwerk, Bat's
Cricket	1,2m x 1,2m	Ein Sensor pro 1,44m ²

Tabelle 1: Indoor-Positionsverfahren (Überblick)

Infrarotsysteme sind in der Praxis die am weitesten verbreiteten Verfahren zur Indoor-Lokalisierung [8]. Sie bieten den Vorteil einer klaren Abgrenzung der Signale. Die Grenzen der Signale korrespondieren mit den physikalischen Begrenzungen des Gebäudes. Aus diesem Grund kann mit diesen Systemen eine recht eindeutige zimmergenaue Positionsbestimmung durchgeführt werden. Eine höhere Genauigkeit, die von der Anwendung des Systems abhängt, kann nur durch den Einsatz von zusätzlicher Hardware erreicht werden.

Ein interessanter Ansatz sind RFID-Systeme, die immer weitere Verbreitung finden. Ein großer Vorteil ist hier die große Auswahl an Hardware. Vor allem die Tags sind in den verschiedensten Varianten kostengünstig erhältlich. Was aber sicherlich gegen diese Systeme spricht, das ist der geringe Leseabstand von meist weniger als einem Meter.

Der große Vorteil von Bluetooth-Systemen ist die Verwendung von standardmäßig verfügbarer Hardware. Die erreichbare Genauigkeit wird mit zwei Metern angegeben. Voraussetzung ist dafür eine ausreichende Anzahl von Bluetooth-fähigen Endgeräten im Gebäude. Für einen flächendeckenden Einsatz des Systems wird der Erwerb zusätzlicher Bluetooth-Geräte nicht zu vermeiden zu sein.

Mit dem „Active Bat“ - Verfahren ist es möglich, die Position eines Teilnehmers bis auf 10 cm genau zu bestimmen. Diese Genauigkeit ist aber teuer erkaufte. Das zentralisierte Modell der „Active Bats“ mit den vernetzten Ultraschallsensoren verursacht extrem hohe Anschaffungs- und Installations-Kosten. Bei einer Skalierung des Systems wäre dieser Aufwand aber nicht mehr zu bewältigen. Wenn eine vollständige Abdeckung realisiert werden soll, ist der Aufwand selbst für ein Gebäude schon fast zu groß.

TECHNISCHE ZUKUNFT

Die vorgestellten Verfahren haben gezeigt, dass die verschiedenen Techniken zur Indoor-Lokalisierung bereits heute ein sehr großes Potential für LBS bieten. Dennoch steht dieser Bereich erst am Anfang seiner Entwicklung. Noch sind diese Verfahren für viele Anwendungen zu ungenau, die notwendige Infrastrukturen nicht

flächendeckend verfügbar, die benötigten Hardware-Komponenten zu teuer.

Mehrere Verfahren haben eine Schwäche bei der Positionsbestimmung z.B. in Treppenhäusern und anderen offenen Bereichen des Gebäudes aufgezeigt. Eine Überlegung für die Verbesserung des Systems geht in die Richtung von Hybridsystemen. Schon beim „Active Badge“ System wurde die Verwendung zusätzlicher Funksender zur Erhöhung der Genauigkeit vorgeschlagen. Eine Technologie, die verwendet werden sollte, hängt von der gewünschten Anwendung ab, aber denkbar wäre z.B. die Verwendung von RFID-Tags in den Eingangsbereichen der Gebäude, um z.B. ein Betreten des Gebäudes zu registrieren. Möglich wäre z.B. auch die Verwendung von Bluetooth-Geräten. Insgesamt könnte durch die Kombination verschiedener Verfahren grundsätzlich nicht nur die Genauigkeit der Werte verbessert, sondern die Ausfallsicherheit erhöht werden.

Alles in allem bleibt es wohl nur eine Zeitfrage, bis Navigationssysteme als Basis vieler neuer Anwendungen eine bedeutende Rolle spielen werden. In einigen Jahrzehnten werden sie, wie viele andere Innovationen, aus unserem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken sein.

LITERATURVERZEICHNIS

1. P. Bahl, V. N. Padmanabhan: RADAR - An In-Building User Location and Tracking System
2. J. A. Tauber: "Indoor Location Systems for Pervasive Computing"
3. J. Hightower, G. Borriello: Location Systems for Ubiquitous Computing
4. G. Schiele: "Positionierung von Benutzern innerhalb eines Gebäudes"
5. J. Roth: Mobile Computing Grundlagen, Technik, Konzepte. (in German); Dpunkt Verlag, 2002
6. R. Zimmermann: Lokalisierung mobiler Geräte, Seminar Mobile Computing, ETH Zürich, 2001, Abrufbar unter: <http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2001/MC/beitraege/07-location-rep.pdf>
7. T. Drosdol: Unterstützung symbolischer Koordinaten im Lokationsmanagement, Diplomarbeit, Universität Stuttgart, 2003
8. J. Schiller, A. Voisard: Location-Based Services; Morgan Kaufmann Verlag, 2004
9. A. Ward, A. Jones, A. Hopper: A New Location Technique for the Active Office. IEEE Personal Communications, 4, October 1997