

Robert Hickmann

**Entwicklung eines mobilen Messsystems zur
Positionsbestimmung und
Signalstärkemessung in Wireless-LAN-Netzwerken**

eingereicht als

BACHELORARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE

Fakultät für Informations- und Elektrotechnik

Mittweida, Oktober 2009

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Volker Delport
Zweitprüfer: Dipl. Informatiker (FH) Toni Großmann

Bibliographische Beschreibung

Robert Hickmann:

Entwicklung eines mobilen Messsystems zur Positionsbestimmung und Signalstärkemessung in Wireless-LAN-Netzwerken. – 2008. – 49 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Informations- & Elektrotechnik, Bachelorarbeit, 2009.

Referat

Für die Simulation der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in einem WLAN-Netz wird an der Professur Kommunikationstechnik/Funktechnik die Prognosesoftware WinProp eingesetzt. Im Rahmen der Bachelorarbeit soll ein mobiles Messsystem entstehen, mit folgenden Grundfunktionen:

- Bestimmung der Signalstärke der empfangbaren WLAN-Basisstationen,
- Bestimmung der Position des mobilen Endgeräts mit Hilfe der Signalstärken mehrerer WLAN-Basisstationen,
- Erzeugen einer Liste mit zu den Positionen korrespondierenden Signalstärken in einem zu WinProp kompatiblen Datenformat.

Insbesondere soll das zentrale Problem der Positionsbestimmung mit Hilfe eines WLAN-Netzwerkes untersucht werden. Im Anschluss ist ein Programm zu entwickeln und zu implementieren, mit dessen Hilfe zahlreiche Trainingsdaten mit den Koordinaten (x, y), der Ausrichtung des Benutzers sowie der zugehörigen Signalstärken der erreichbaren WLAN-Basisstationen aufgenommen werden können. Anhand der gesammelten Trainingsdaten kann später mit Hilfe von geeigneten Algorithmen eine Tabelle mit den Koordinaten und Signalstärken erzeugt werden. Diese Tabelle wird in dem ebenfalls zu implementierenden Messsystem eingesetzt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
1. Einführung	3
1.1 Vorwort	3
1.2 Grundlagen der Ortung und Positionsbestimmung	4
1.3 Klassifizierung von Infrastrukturen zur Positionsbestimmung	7
1.3.1 Netzwerk- und Terminalbasierte Infrastrukturen	7
1.3.2 Integrierte und Standalone-Infrastrukturen	8
1.3.3 Satelliten	8
1.3.4 Zellulare Infrastrukturen	9
1.3.5 Infrastrukturen in Gebäuden	10
2. WLAN-basierte Ortungsverfahren	12
2.1 Das Wireless LAN	12
2.1.1 Betriebsarten	12
2.1.2 Reichweite und Antennen	13
2.2 Methoden der Ortung über WLAN	15
2.2.1 Cell of Origin	15
2.2.2 Time of Arrival / Time Difference of Arrival	16
2.2.3 Angle of Arrival	16
2.2.4 Fingerprint-Methode	17
2.2.5 Trilateration	18
3. Konzept und Entwurf des mobilen Messsystems	21
3.1 Vorbetrachtung	21
3.2 Überblick	22

Inhaltsverzeichnis

3.3	Das Konzept.....	23
3.3.1	Offline-Phase – Radiomap erstellen	23
3.3.2	Online-Phase – Lokalisierung	24
3.4	Entwurf des mobilen Messsystems	25
3.4.1	Verwendete Technologien	25
3.4.2	Das Mess-Tool „Wireless Network Utility“	28
4.	Test und Auswertung.....	35
4.1	Testumgebung	35
4.2	Radiomap erstellen	35
4.3	Positionsbestimmung – Näherung	36
4.4	Zusammenfassung.....	40
4.5	Schlussfolgerung.....	44
4.6	Optimierungsmöglichkeiten	44
5.	Ausblicke	46
5.1	weitere Anwendungsmöglichkeiten	46
5.2	andere Programme	48
6.	Anlagen	50
	Literaturverzeichnis.....	51
	Selbstständigkeitserklärung.....	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mittel der Ortungsverfahren	4
Abbildung 2: Klassifizierung der Infrastrukturen	7
Abbildung 3: Prinzip der Triangulation	16
Abbildung 4: Radiomap mit Messpunkten	18
Abbildung 5: Trilateration mit 3 Access Points	19
Abbildung 6: Tatsächlicher Verlauf der Signalstärkelinien.....	19
Abbildung 7: Signalstärkeverlauf anhand Referenzmessungen	20
und Dreiecksbildung	
Abbildung 8: Schema der Positionsbestimmung über Radiomap.....	24
Abbildung 9: Startbildschirm von WNU.....	28
Abbildung 10: vereinfachtes Klassendiagramm von WNU	29
Abbildung 11: Prüfen von übereinstimmenden APs	32
Abbildung 12: Berechnung der Koordinaten durch Interpolation	33
Abbildung 13: Radiomap der Etage.....	35
Abbildung 14: Grundriss der Etage mit Messpositionen.....	36
Abbildung 16: Positionsbestimmung an P19	38
Abbildung 18: Häufigkeiten der berechneten Positionen an P3	41
Abbildung 19: Bereich der durchschnittlichen Abweichung an P3.....	41
Abbildung 20: Häufigkeiten der berechneten Positionen an P19	42
Abbildung 21: Bereich der durchschnittlichen Abweichung an P19.....	42
Abbildung 22: Häufigkeiten der berechneten Position an P31	43
Abbildung 23: Bereich der durchschnittlichen Abweichung an P31	43
Abbildung 24: WinProp - Network-Berechnung mit Dominant-Path	46
Abbildung 25: Zigbee WLAN Modul.....	47
Abbildung 26: Netzwerk aus WLAN Modulen.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messwerte für einen Punkt.....	23
Tabelle 2:	Positionsbestimmung an P3.....	37
Tabelle 3:	Positionsbestimmung an P19	38
Tabelle 4:	Positionsbestimmung an P32	39

1. Einführung

1.1 Vorwort

Mit dem Start des ersten Erdsatelliten „Sputnik“ begann die Entwicklung von Ortungssystemen und darauf beruhende Navigationssysteme, die entsprechende funktentechnische Einrichtungen besaßen, wie sie in Bodenstationen eingesetzt wurden. Ursprünglich nur für militärische Zwecke vorgesehen, kamen im Laufe der Zeit Satellitenortungssysteme auch im zivilen Bereich zum Einsatz. Die Vorteile von solchen Systemen waren die weltweite ständige Nutzbarkeit, ein relativ geringer Geräteaufwand beim Nutzer und eine von Zeit und Ort unabhängige hohe Genauigkeit der Ortung. Dadurch kam es schnell dazu, dass satellitengestützte Ortungs- und Navigationssysteme in allen Bereichen, wie dem Verkehrswesen auf Land, See und in der Luft und im Vermessungswesen eingesetzt wurden. Das heute bekannteste und bedeutendste System auf diesem Gebiet ist das vom amerikanischen Verteidigungsministerium entwickelte *Global Positioning System (GPS)*. (Mansfeld, 1998)

Der nächste Schritt dieser Entwicklung ist die Anwendung von Ortungssystemen in Gebäuden, wie sie heutzutage auch immer öfters eingesetzt werden. Dabei gewinnen die sogenannten *Location Based Services (LBS)* mehr an Bedeutung. Diese IT Dienste stellen in Abhängigkeit der Position des Nutzers oder mobiler Objekte Informationen bereit. Beispielsweise bei Museums- und Messeführungen, wo Informationen, abhängig vom aktuellen Standort, über Exponate oder Aussteller auf einem mobilen Endgerät (Laptop, Handy, PDA) zur Verfügung stehen. (Großmann, 2006) Hierbei kann GPS, aufgrund der fehlenden Sichtverbindung zu den Satelliten, nicht verwendet werden. Andere Technologien, wie das WLAN-Funknetz, Bluetooth, Infrarot oder auch ZigBee¹ kommen hier zum Einsatz. Aufgrund der großen, teilweise flächendeckenden, Verbreitung von WLAN ist diese Technologie am besten für Ortungsverfahren und Positionsbestimmung in geschlossenen Räumen geeignet. Ein großer Vorteil von WLAN ist die Verwendung von Standardhardware und somit sehr kostengünstig. Desweiteren lassen sich Ortung und Datentransfer über das gleiche Medium realisieren, was auch die Vielseitigkeit von WLAN zeigt.

¹ Zigbee – Drahtloses Funknetz basierend auf dem IEEE-802.15.4 Standard für Kurzstrecken von 10 - 100 m

1.2 Grundlagen der Ortung und Positionsbestimmung

Zuerst einmal ist zu klären, was die Begriffe Ortung und Positionsbestimmung bedeuten. Bei der Ortung spricht man von der Bestimmung des momentanen Standortes eines ruhenden oder sich bewegenden Objektes. Dabei unterscheidet man die Eigenortung und die Fremdortung. Eigenortung wird durch das Objekt selbst durchgeführt, entweder autonom oder kooperativ mit Einsatz von technischen Einrichtungen um somit den eigenen Standort zu bestimmen. Bei der Fremdortung übernimmt ein System außerhalb des Objekts die Aufgabe der Ortsbestimmung.

Die Ortung wird entsprechend der benutzten Verfahren und Systeme durch elektromagnetische und akustische Wellen oder statischen und dynamischen Kräften durchgeführt:

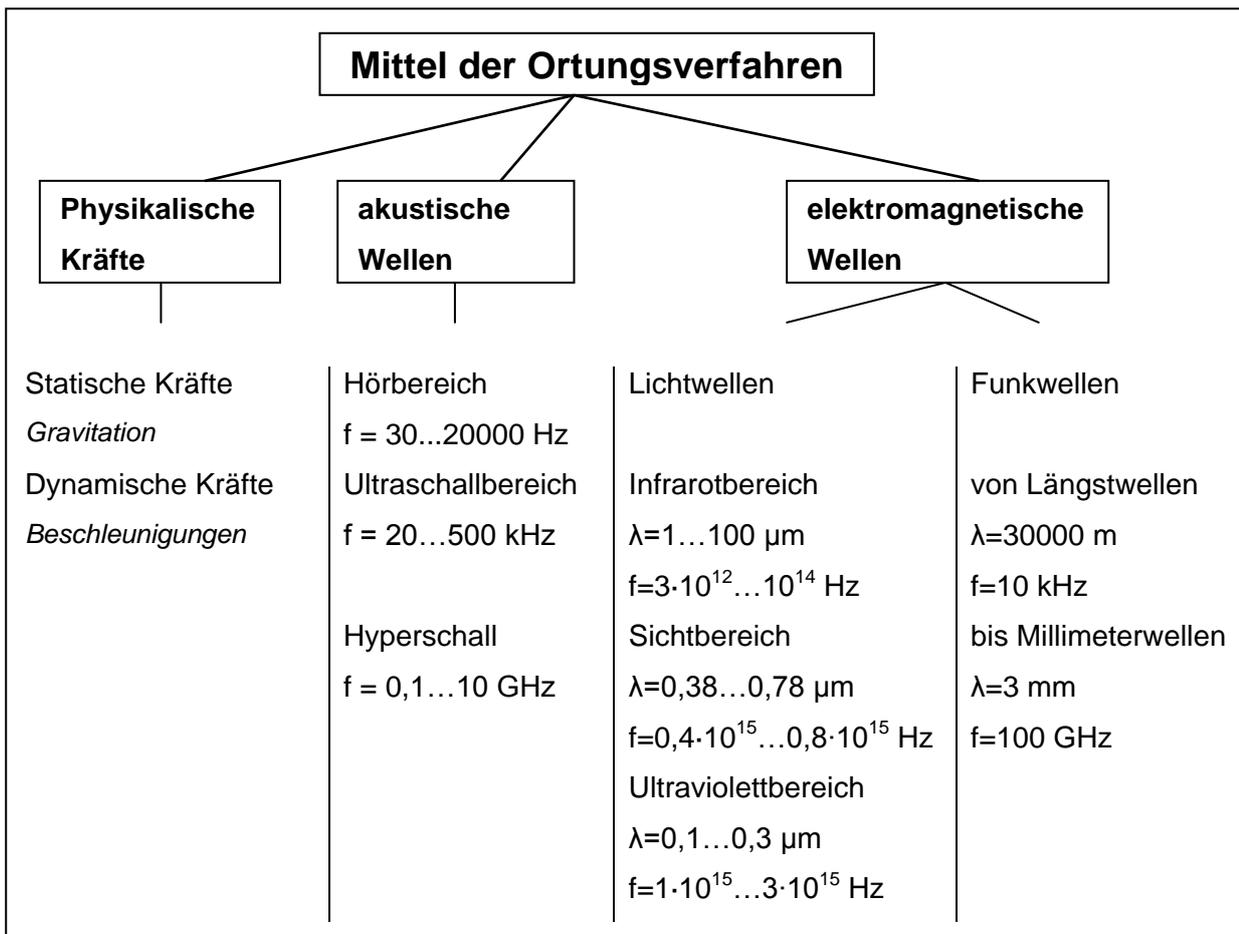


Abbildung 1: Mittel der Ortungsverfahren

Die Ortung mit Satelliten und Funkstationen auf der Erde erfolgt überwiegend durch elektromagnetische Wellen, für geodätische¹ und besondere wissenschaftliche Aufgaben werden auch Laser im optischen Bereich verwendet. (Mansfeld, 1998) Akustische Wellen werden in der Schallmesstechnik mithilfe des Sonars zum Orten von Gegenständen unter Wasser eingesetzt.

Die Positionsbestimmung ist eine praktische Anwendung der Ortung. Der Kern jeder Positionsbestimmung ist die Vermessung von ein oder mehreren Parametern, wie zum Beispiel Winkel, Entfernungen oder Geschwindigkeiten, wodurch sich Objekte räumlich zu einem Bezugspunkt durch Koordinaten bestimmen und darstellen lassen. Aufgrund der Tatsache, dass ein Objekt nicht selbständig seine Position bestimmen kann, ist eine verteilte Infrastruktur mit implementierter Positionsbestimmung notwendig. Das können Satellitennetzwerke sein, oder auch zellulare Netze und Gebäude-interne Netze. Dabei fungieren Satelliten, GSM/UMTS Funkeinrichtungen oder WLAN Access Points als Basisstationen, während Mobiltelefone, Notebooks, Organizer oder Sensoren als Terminals oder Clients dienen. Zusätzlich werden Komponenten, wie Datenbanken, Server oder Kontrolleinheiten eingesetzt, um die Positionsbestimmung zu koordinieren und Messdaten zu verwalten. Die Qualität der auszuwertenden Daten für bestimmte Positionierungsmethoden hängt von verschiedenen Kriterien ab:

- **Genauigkeit und Präzision**

Dies sind die wichtigsten Parameter für die Qualität der Positionsbestimmung, welche fälschlicherweise oft als ein und dasselbe betrachtet werden. Genauigkeit bezieht sich auf den Mittelwert der Entfernung von Messpunkten zur echten, aber unbekannt Position eines Ziels. Je weiter weg die Messpunkte von der eigentlichen Position sind, desto ungenauer wird das Ergebnis. Präzision andererseits beschreibt die Abweichung bzw. Streuung einer Menge von Messpunkten von ihrem Mittelwert.

- **Effizienz und Konsistenz**

Die meisten Anwendungen sollen, unabhängig von ihrer Umgebung (in Gebäuden, Stadt, Land, Gebirge), zuverlässig Positionsdaten verarbeiten. Allerdings sind nicht alle Methoden der Positionsbestimmung überall einsetzbar. Die Effizienz bezeichnet dabei, inwiefern es möglich ist Positionsdaten in bestimmten Umgebungen zu

¹ Geodäsie – Wissenschaft zur Vermessung und Abbildung der Erdoberfläche; Wird in der Land- und Erdvermessung eingesetzt.

erfassen, während die Konsistenz ein Maß für Stabilität und Zuverlässigkeit in verschiedenen Umgebungen ist.

- **Aufwand**

Positionsbestimmung ist unweigerlich mit einem gewissen Aufwand verbunden, welcher sowohl das Terminal als auch die Infrastruktur betrifft. Man kann unterscheiden zwischen Signalgebungsaufwand und Rechenaufwand. Das erste bezeichnet die Menge an Signalen, die zwischen Terminal und Basisstation ausgetauscht werden und die zur Prozesssteuerung an das Netzwerk geliefert werden. Der Rechenaufwand beschreibt den Verbrauch an Rechenleistung der Kontrolleinheiten im Netzwerk und dem Terminal. Der Aufwand für die Positionsbestimmung muss immer unter Berücksichtigung der Genauigkeit und Präzision berechnet werden. Allgemein gilt, ein hohes Maß an Genauigkeit und Präzision beinhaltet auch einen großen Aufwand an Rechenleistung und Ressourcen und umgekehrt.

- **Energieverbrauch**

Der Energieverbrauch kann als eine zusätzliche Kategorie des Aufwandes gesehen werden. Es ist ein wichtiges Kriterium bei mobilen Geräten, aufgrund ihrer begrenzten Ressourcen (Prozessor, Speicher, Batterie).

- **Latenz**

Die Latenz bezieht sich auf die Zeit, die benötigt wird um Positionsdaten zu erfassen, auszuwerten und weiterzuleiten. Dabei müssen ein oder mehrere Basisstationen ausgewählt werden, die den internen Positionierungsprozess zwischen den beteiligten Komponenten koordinieren durch Signalgebung, Ressourcenverwaltung, Messungen und schließlich die Berechnung der Position mithilfe der Messergebnisse. Wenn ein Ziel über längerer Zeit durch mehrere hintereinander folgende Positionsbestimmungen ausfindig gemacht wurde, sind die meisten dieser Schritte nur am Anfang zu machen. Dafür gibt es einen wichtigen Indikator für die erste Positionsfindung, den sogenannten *Time To First Fix* (TTFF). Heute beträgt die Zeit des TTFF einige Sekunden. Die Größe des TTFF hängt von der verwendeten Infrastruktur ab.

- **Einführungs- und Unterhaltskosten**

Natürlich sind auch die Kosten für die Installation und Unterhaltung der Infrastruktur, von Basisstationen, Datenbanken und Kontrolleinheiten ein wichtiges Kriterium bei der Wahl des idealen Ortungs- und Positionierungssystems. Die Unterhaltskosten sind stark von der Komplexität und dem Einsatzgebiet der Infrastruktur abhängig.

Während Gebäude-interne Netzwerke, wie WLAN, kaum Kosten verursachen, sind Satellitennetzwerke sehr wartungsaufwendig und kostspielig. (Krüpper, 2005)

1.3 Klassifizierung von Infrastrukturen zur Positionsbestimmung

Bei den Infrastrukturen zur Positionsbestimmung unterscheidet man *Terminal-* und *Netzwerk-basierte* Systeme, die wiederum in *integrierte* und *standalone-* Positionierungssysteme unterteilt werden. Jedem System lassen sich noch *Satelliten-*, *Zellular-* und *Gebäudeinfrastrukturen* zuordnen. Die Abbildung 2 veranschaulicht die Konstellationen, die heute verwendet werden (graue Boxen).

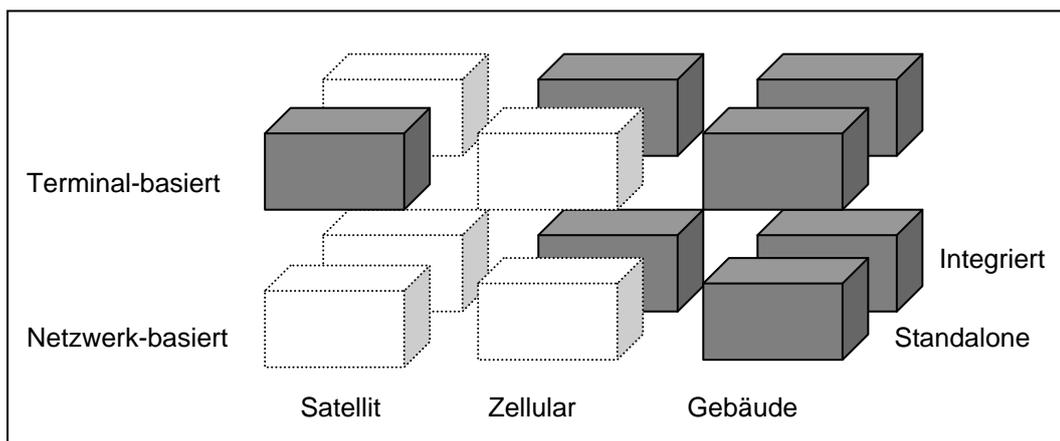


Abbildung 2: Klassifizierung der Infrastrukturen

1.3.1 Netzwerk- und Terminalbasierte Infrastrukturen

Desweiteren gibt es eine Einteilung in Netzwerk- und Terminalbasierte Positionierungssysteme, was sich auf die Seite bezieht, die die Messungen und Berechnungen der Positionen ausführt. Bei der Netzwerk-basierten Positionsbestimmung übernimmt das Netzwerk die Berechnungen, bei der Terminalbasierten Positionsbestimmung das Terminal, oder der Client. Es gibt hybride Systeme, bei der das Terminal die Messungen vornimmt und die Ergebnisse dann an das Netzwerk übermittelt und daraus die Position berechnet wird. Dies nennt man dann *Terminal-untersützte-*

Netzwerk-basierte Positionierung. Die Entscheidung, welche Methode primär eingesetzt wird, hängt von der Art des verwendeten Dienstes ab. Mobilfunkanbieter verbessern ständig ihre Netze zur Positionsbestimmungen und lehnen es eher ab ihre Mobilgeräte auszutauschen oder zu verändern, um die neuen Dienste des Netzes zu nutzen. Deshalb sind Netzwerk-basierte Methoden im Vorteil, aufgrund der Möglichkeit, dass auch herkömmliche Mobilgeräte lokalisiert werden können ohne eine Veränderung am Gerät vornehmen zu müssen.

1.3.2 Integrierte und Standalone-Infrastrukturen

Eine integrierte Infrastruktur bezeichnet ein drahtloses Netzwerk, das für kommunikative und Positionierungs-Zwecke verwendet wird. Ursprünglich waren diese Netzwerke ausschließlich für die Kommunikation konzipiert und werden jetzt zur Lokalisierung ihrer Nutzer mithilfe von mobilen Standardgeräten, was speziell für zellulare Netzwerke gilt, erweitert. Dabei können Komponenten, sowohl Basisstationen und mobile Geräte, als auch Protokolle und die mobile Direktion, wiederverwendet werden. Dies hat den Vorteil, dass das Netzwerk nicht von Grund auf neu aufgebaut werden muss und die Betriebskosten überschaubar bleiben. Auf der anderen Seite belastet es die Kapazität des Netzwerks zusätzlich zum Datenverkehr der Nutzer. Messungen müssen in den meisten Fällen auf demselben Übertragungsweg gemacht werden, der jedoch nicht für Positionierungsprozesse optimiert ist.

Standalone-Infrastrukturen arbeiten unabhängig vom verwendeten Kommunikationsnetzwerk. Im Gegensatz zu integrierten Systemen sind die Infrastruktur und die Übertragung nur für Positionierungszwecke ausgelegt und sind sehr spezifisch in ihrem Aufbau. Ein Beispiel für eine Standalone-Infrastruktur ist GPS. Nachteile sind hohe Betriebskosten und die Tatsache, dass keine Standardgeräte für die Lokalisierung verwendet werden können, sondern spezielle Einrichtungen notwendig sind.

1.3.3 Satelliten

Mit Satelliten lassen sich große Teile der Erdoberfläche abdecken und dadurch eine zielgenaue Position auf einem Kontinent oder sogar auf der ganzen Welt bestimmen. Das beweist das bekannte Positionierungssystem GPS, welches mit 24 Satelliten (mittlerweile

sind es ein paar mehr um die Verfügbarkeit zu verbessern) eine weltweite Abdeckung ermöglicht. Ähnliche Systeme sind das russische *GLONASS* (Globalnaya Navigacionnaya Sputnikovaya Sistema) und das europäische *Galileo*.

Neben den anfangs erwähnten Vorteilen von Satellitengestützten Positionierungssystemen, wie der weltweiten Verfügbarkeit und Genauigkeit hat es auch Nachteile in Bezug auf die LBS. Erstens sind von Satelliten ausgesendete Signale durch Abschirmungs- und Streuungseffekte beeinträchtigt und können leicht von Gebäuden, Wänden oder Gebirgen absorbiert werden. Deshalb funktioniert dieses System nur einwandfrei, wenn eine direkte Sichtverbindung zwischen Satellit und Empfänger besteht. Zweitens leiden heutige Satellitenortungssysteme unter einem vergleichsweise hohen Energieverbrauch der Satellitenempfänger. Navigationssysteme, die zum Beispiel im Fahrzeug integriert sind, kompensieren dieses Problem dadurch, dass sie mit dessen Elektrik direkt verbunden sind. Anders ist es jedoch bei batteriebetriebenen Geräten, bei denen sich das negativ auf Standby- und Sprechzeiten auswirkt. Drittens sind die Einführung und der Betrieb von Satellitensystemen mit enormen Geldinvestitionen verbunden. Zum Beispiel hat das US amerikanische Verteidigungsministerium schätzungsweise \$ 12 Mrd. für GPS ausgegeben und wird noch weitere hunderte Millionen Dollar in den nächsten Jahren investieren. Ein Grund für die hohen Kosten ist die kurze Lebensdauer der Satelliten, welche typischerweise fünf bis sieben Jahre beträgt, verbunden mit der permanenten Notwendigkeit, sie zu ersetzen.

1.3.4 Zellulare Infrastrukturen

Zellulare Infrastrukturen beziehen sich auf die Mechanismen von zellularen Netzen wie GSM¹ oder UMTS², um die Position des Teilnehmers herauszufinden. Allerdings ist die Positionsbestimmung ohne die Erweiterung der Netze, durch Hinzufügen unterstützender Komponenten und Protokolle, unzureichend genau. Für gewöhnlich sind die Netzbetreiber dazu geneigt, bestimmte Methoden der Positionsbestimmung zu implementieren, gleichzeitig die Verfügbarkeit zu verbessern und sie abhängig von den gegebenen Anforderungen, der aktuellen Netzauslastung und des Teilnehmerverhaltens einzusetzen.

¹ GSM – *Global System for Mobile Communications*; Ist ein Standard für digitale Mobilfunknetze, der hauptsächlich für Telefonie aber auch für paketvermittelte Datenübertragung genutzt wird

² UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*; Mobilfunkstandard der 3. Generation (3G) mit dem wesentlich höhere Übertragungsraten (384 kbit/s bis 7,2 Mbit/s) als mit GSM (9,6 kbit/s bis 220 kbit/s) möglich sind

Die verschiedenen Methoden sind durch Standardisierungsgremien, wie 3GPP¹, festgelegt. Manche sind netzwerkbasierend und können somit herkömmliche Geräte, ohne die Möglichkeit der Positionsbestimmung, einfach und leicht integriert werden. Zellulare Netze arbeiten flächendeckend, wodurch die Erreichbarkeit für Teilnehmer in einem hohen Maß gewährleistet wird. Anders als bei der Satellitenortung, ist dies auch in Gebäuden möglich. Jedoch bedarf es hier ebenfalls eines höheren Aufwandes an Ressourcen auf dem Übertragungsweg (Bandbreite) und seitens des Netzwerks. Die zellulare Positionsbestimmung kann sehr teuer werden in Bezug auf den Signalgebungsaufwand. Insbesondere wenn eine hohe Genauigkeit gefordert wird und zusätzliche Kapazitäten dafür benötigt werden, die dann für die Übertragung von Daten und Gesprächen fehlen. Obwohl dies heutzutage wenig Sorgen bereitet, da nur eine kleine Gruppe von Teilnehmern diese Dienste nutzen, kann es in Zukunft zu einem ernst zu nehmenden Problem werden, wenn Millionen von Teilnehmern weltweite und komplexe Navigationsdienste und Gemeinschaftsanwendungen nutzen.

1.3.5 Infrastrukturen in Gebäuden

Die Ortung und Bestimmung der Position in Gebäuden rückt immer mehr in den Mittelpunkt der Entwicklung von positionsbasierten Diensten an Universitäten und in Geschäftsgebäuden. Von Beginn an ist diese Methode durch Tätigkeiten auf dem Gebiet der allgegenwärtigen Computerwissenschaft gebildet worden und wird häufig auch als *Umgebungsabtastung* benannt.

Basierend auf Funk-, Infrarot-, oder Ultraschalltechnologien hat es eine beschränkte Reichweite. Ortung und Positionsbestimmung erfolgen entweder über eine Standalone Infrastruktur, wie zum Beispiel dem *Active Badge System*, oder in Verbindung mit dem Wireless LAN. Beim Active Badge System besitzt das Ziel einen Mikrochip, der auf der Basis von Infrarot, Ultraschall oder der *Radio Frequency Identification (RFID)* Technologie arbeitet und ein Erkennungssignal an die nächste Basisstation sendet oder davon empfängt. Ein Computer, der an das Netzwerk angeschlossen ist verarbeitet die Signale und kann über verschiedene Algorithmen die Position des Ziels bestimmen. Beim Wireless LAN kommen die schon genannten Standardkomponenten zum Einsatz.

¹ 3GPP – 3rd Generation Partnership Project; weltweite Kooperation zur Standardisierung des Mobilfunks

Die Vorteile der Positionsbestimmung in Gebäuden sind der niedrige Energieverbrauch der eingesetzten Geräte und die vergleichsweise hohe Genauigkeit durch die kurze Distanz in Zusammenhang mit der Funk- und Ultraschalltechnologie. Nachteile sind die Signalschwankungen, die durch sogenanntes *Fading*, oder Signalschwund, auftreten. Die ausgesendeten Funkwellen kommen auf verschiedenen Wegen, zu unterschiedlichen Zeiten beim Empfänger an (*Multipath-Fading*), wodurch es zu Interferenzen in der Feldstärke kommt. (Circuit Design Inc, 2009) Mithilfe von Antennen mit hoher Empfangsleistung, lässt sich dieses Phänomen kompensieren.

Diese Art der Positionsbestimmung ist heute noch nicht sehr verbreitet, jedoch könnte es bald eine hoch entwickelte und universell einsetzbare Technologie werden, wie zum Beispiel GPS. Die Grundlage dafür ist eine kostengünstige, überall anwendbare und mit einheitlichen Standards betriebene Plattform. Das Wireless LAN erfüllt diese Bedingungen und könnte damit die ideale Technologie für Positionsbestimmung in Gebäuden werden.

2. WLAN-basierte Ortungsverfahren

2.1 Das Wireless LAN

Das Wireless LAN, oder kurz WLAN, ist ein Funknetzwerk, das auf dem IEEE 802.11¹ Standard basiert. Es entstand in den 90er Jahren und wurde vor allem im Industriebereich verwendet. Dabei arbeitete man mit hohen Übertragungsraten bis zu 100 Mbit/s in weitestgehend störunanfälligen Frequenzbereichen um die 60 GHz. Später wurde die Übertragung in einen niedrigeren Frequenzbereich zwischen 2,4 und 5 GHz gelegt, damit die Technik auch im kommerziellen Bereich nutzbar wurde. (Schwarz, 2008) Neben den 802.11 Standards gibt es noch alternative Standards, wie dem HomeRF² und dem HIPERLAN³, welche auch das lizenzfreie 2,4 GHz Band benutzen. Heute gibt es verschiedene Erweiterungen des 802.11 Standards, die sich durchgesetzt haben. 802.11a arbeitet im 5 GHz Bereich mit einer Übertragungsrate von 54 Mbit/s. 802.11b ist ebenfalls eine alternative Spezifikation, welche im 2,4 GHz Bereich arbeitet und eine Übertragungsrate bis zu 11 Mbit/s zulässt. 2003 kam dann noch der 802.11g Standard dazu, der auch im 2,4 GHz Bereich arbeitet und mit maximal 54 Mbit/s Daten übertragen kann. Aufgrund der kostenlosen Nutzung des 2,4 GHz Frequenzbandes sind die letzten beiden Standards bis heute weit verbreitet.

2.1.1 Betriebsarten

Bei WLAN gibt es zwei Betriebsarten, den „Ad-Hoc“- und den „Infrastructure“-Modus. Ad-Hoc sind Computer-zu-Computer-Netzwerke, also eine direkte Verbindung der Clients ohne zentrale Verwaltungsstelle (Host). Dabei können zwei oder mehr Endgeräte zu einem vermaschten Netz (engl. Mesh, Masche, Netz) miteinander verbunden sein. Die Daten werden dann über die einzelnen Netzknoten zum Empfänger gesendet, was einmal eine hohe Sicherheit bietet, da bei Ausfall eines Netzknotens die Verbindung über andere Netzknoten umgeleitet werden kann, aber andererseits ein komplexes Routingverfahren

¹ IEEE 802.11 – Bezeichnet eine IEEE-Norm für Kommunikation in Funknetzen herausgegeben vom *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE)

² HomeRF – Funkstandard für Privathaushalte und kleine Büros mit einer maximalen Übertragungsrate von 10 Mbit/s

³ HIPERLAN – Alternative Technologie um Funknetze zwischen Rechnern aufzubauen

benötigt. (Wik08) Infrastructure bezeichnet eine Struktur, bei der ein oder mehrere Clients mit einem Host, dem *Access Point* (AP), verbunden werden. Dabei sendet der AP durch ein Broadcast-Signal, den sogenannten *Beacon*, zur Identifizierung eine eindeutige Information, wie den Namen, auch *Service Set Identifier* (SSID) genannt, oder auch seine MAC-Adresse.

2.1.2 Reichweite und Antennen

Mit einer effektiven Strahlungsleistung von 100 mW bei 2,4 GHz bzw. 500 mW bei 5 GHz lassen sich mit den heute erhältlichen 802.11 Endgeräten Entfernungen von 30 bis 100 Meter im Freien, ca. 40 Meter in geschlossenen Räumen überbrücken. Bei einigen Geräten lassen sich externe Rundstrahlantennen anbringen, mit der die maximale Reichweite noch mal um ca. 200 Meter erhöht werden kann. (Wik081)

Die Reichweite des Signals ist stark von der Umgebung abhängig. Verschiedene Störeinflüsse beeinträchtigen die Ausbreitung der Funkwellen. Bei Wänden aus Stein oder Beton kommt es zur Dämpfung des Signals, was die Reichweite mindert. Vor allem mit Feuchtigkeit durchzogene Materialien haben eine stark dämpfende Wirkung, da die Resonanzfrequenz¹ von Wasser dieselbe ist, wie die des WLAN Signals. Metalle und Stahl blockieren die Funkwellen, bei Glas werden sie teilweise reflektiert. Somit wird das vom AP ausgesendete Signal in verschiedene Richtungen gestreut, verstärkt und abgeschwächt, so dass die Signalstärke ständig variiert, auch wenn sich der Empfänger nicht bewegt. (Circuit Design Inc, 2009)

Um diesen Störungen entgegen zu wirken werden spezielle Antennen verwendet, die je nach Qualität und Größe Signalschwankungen ausgleichen. Es gibt Richtfunkantennen, mit denen sich bei Sichtkontakt mehrere Kilometer überbrücken lassen. Diese Antennen haben einen hohen Sende- bzw. Empfangsgewinn indem sie elektromagnetische Wellen in eine bestimmte Richtung bündeln. Man spricht dabei vom sogenannten Antennengewinn, der in [dBi] angegeben wird. Der Antennengewinn basiert auf der äquivalenten isotropen

¹ Resonanzfrequenz – Ist die Frequenz eines schwingfähigen Systems, mit der das System nach einmaliger Anregung schwingen kann. Man spricht dann von Resonanz. Bei gleicher Phase von Resonanz- und Eigenfrequenz des Systems kommt es zur Verstärkung, bei 90° verschobener Phase zur Auslöschung des Signals.

Strahlungsleistung (EIRP¹). Die äquivalente isotrope Strahlungsleistung ist die Leistung, die ein fiktiver Kugelstrahler (Gewinnfaktor $G_K = 1$) abstrahlen müsste, um am Empfangsort die gleiche Leistungsflussdichte zu erzeugen, wie eine Sendeantenne mit dem Gewinn G_S . Die EIRP setzt sich aus der realen Sendeleistung P_s der Antenne und dem Gewinnfaktor G eines isotropen Strahlers zusammen, ohne Berücksichtigung von Störeinflüssen:

$$EIRP [W] = P_s [W] \cdot G$$

Der Gewinn wird entweder in Gewinn gegenüber einem Halbwellendipol [dBd] oder in Gewinn über isotropen Strahler [dBi] angegeben:

$$G [dBi] = G [dBd] + 2,16 \text{ dB}$$

Der Zahlenwert 2,16 ist der Gewinn eines Halbwellendipols gegenüber einem isotropen Strahler. Der Gewinnfaktor G kann nun durch Umrechnung des Gewinns G [dBi] berechnet werden:

$$G = 10^{\frac{G[dBi]}{10}}$$

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

WLAN Antenne G [dBi] = 5 dBi, Sendeleistung $P_s = 10$ mW

Der Gewinnfaktor G beträgt: $G = 10^{\frac{5 \text{ dBi}}{10}} = 3,162$

Äquivalente isotrope Strahlungsleistung: $EIRP = 10 \text{ mW} \cdot 3,162 = 31,62 \text{ mW}$

Typische EIRP-Werte heutiger WLAN Geräte liegen zwischen 20 und 40 mW (13-16 dBm²). Die maximal zugelassene EIRP von 100 mW (20dBm) ist durch zusätzlich angebrachte Dipolantennen, die den Gewinnfaktor erhöhen, möglich.

¹ EIRP – equivalent isotropically radiated power

² dBm – logarithmische Leistungsangabe bezogen auf 1 Milliwatt (mW)

2.2 Methoden der Ortung über WLAN

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Arten der Positionsbestimmung, unabhängig von den verwendeten Frequenzbändern. Da wäre einmal die Abstandsmessung mithilfe der Signalstärke und der Signallaufzeit und zwischen Sender und Empfänger zum anderen die Bestimmung der Winkel zwischen Sender und Empfänger. Beim winkelbasierten Verfahren werden präzise arbeitende Richtfunkantennen eingesetzt, um die Winkel zu erfassen. Zur Bestimmung der Signalstärke ist hingegen keine spezielle Hardware notwendig. Jedes Gerät mit einer WLAN Antenne misst über eine Software die Stärke des ausgesendeten Signals. Ab drei Bezugspunkten ist eine zweidimensionale Positionsbestimmung mittels Trilateration möglich. Dieses Verfahren wird im folgenden Abschnitt näher erklärt. Verfahren, welche die Signallaufzeit zur Ortung nutzen, benötigen hochgenaue Messgeräte zur Bestimmung der Zeitdifferenz zwischen gesendetem und empfangenem Signal. Bei kurzen Distanzen (30 bis 100 Meter) und einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ der Funkwellen liegen die Zeitunterschiede nur bei wenigen Nanosekunden. Bei unzureichend genauer Synchronisation von Sende – und Empfangsgerät werden die Positionsschätzungen unbrauchbar.

2.2.1 Cell of Origin

Das Prinzip der zellgenauen Lokalisierung, wie sie auch im Mobilfunk eingesetzt wird, ist ein simples Verfahren zur Positionsbestimmung. Dabei wird der Standort des Senders (im Mobilfunk ist es die Funkzelle, bei WLAN der Access Point), an dem der Teilnehmer angemeldet ist, als dessen Position deklariert. (Krüpper, 2005) Dies ist jedoch sehr ungenau, da angenommen in einem Raum mit drei Access Points nur drei Positionen bestimmt werden können. Aber im Freien, in größeren Städten, wo die Konzentration von Access Points höher ist und in Kombination mit anderen Ortungsverfahren, wie GPS oder *Time of Arrival (TOA)*, ist dieses Verfahren eine schnelle und einfache Art der Lokalisierung.

2.2.2 Time of Arrival / Time Difference of Arrival

Hierbei wird die Signallaufzeit zwischen Sende- und Empfangsstation gemessen, was exakt synchronisierte Uhren voraussetzt. Damit Sender bzw. Empfänger wissen ob das Signal gesendet wurde, wird ein Zeitstempel mitgeschickt. Die Entfernung wird dann aus der Zeitdifferenz und der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit errechnet. Funkwellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, nämlich mit ca. $3 \cdot 10^8$ m/s.

$$D = v \cdot t$$

D: Distanz

v: Geschwindigkeit

t: Zeit

2.2.3 Angle of Arrival

Für Angle of Arrival braucht man mindestens zwei Antennen mit Richtfunkcharakteristik und einen Winkelmesser, mit dem die Winkel der Antennen zum angepeilten Punkt ermittelt werden. Die Entfernung der Antennen zueinander ist bekannt und es kann nun aus den Winkeln per *Triangulation*¹ die Entfernung zum Sender berechnet werden. Anhand der zweidimensionalen Positionsbestimmung durch zwei Punkte lässt sich das Prinzip der Triangulation vereinfacht erklären:

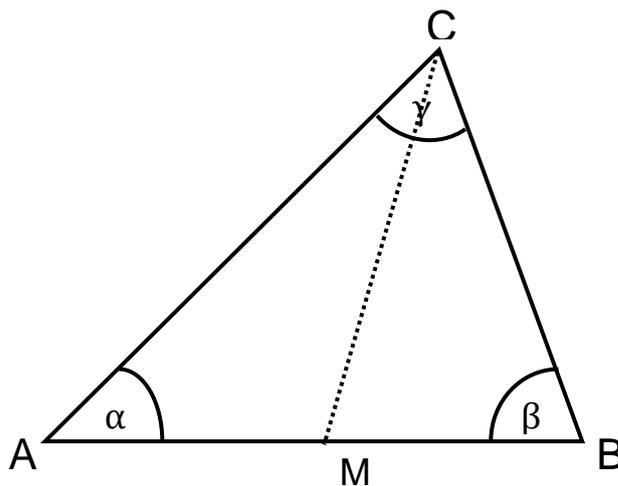


Abbildung 3: Prinzip der Triangulation

¹ Triangulation – „dreieckig machen“, von lat. Triangulum, „Dreieck“; In der Messtechnik ist es eine Methode zur Entfernungsmessung mit Licht.

A und B sollen die Antennen darstellen, C ist der gesuchte Sender und die Strecke AB ist bekannt. Weiterhin sind die Winkel α und β durch Messungen mithilfe eines Theodolits¹ bekannt.

Der Winkel γ ist über die beiden bekannten Innenwinkel durch den Ausdruck

$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$ bestimmbar. Mithilfe des Sinussatzes erhält man die Strecken AC bzw. BC .

$$\overline{AC} = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \beta}{\sin \gamma} \quad \overline{BC} = \frac{\overline{AB} \cdot \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

Nun lässt sich die Entfernung des Punktes C vom Mittelpunkt M der Strecke AB über den Kosinussatz berechnen.

$$\overline{MC} = \sqrt{\overline{AC}^2 + \left(\frac{\overline{AB}}{2}\right)^2 - \overline{AC} \cdot \overline{AB} \cdot \cos \alpha}$$

2.2.4 Fingerprint-Methode

Bei der Fingerprint-Methode werden Messungen an vorher definierten Punkten durchgeführt und somit eine Signalstärkekarte, eine sogenannte Radiomap, erstellt. Somit erhält man ein Koordinatensystem, das 1-, 2-, oder 3-dimensional sein kann und die Signalstärke in Abhängigkeit der Entfernung zum Access Point anzeigt. Je mehr Punkte gemessen werden, desto genauer wird auch die Positionsbestimmung. Dabei sollten die Punkte sowohl in regelmäßigen Abständen, als auch an Points of Interests (POI) definiert werden. Dieses Verfahren ist relativ einfach in der Anwendung, erfordert jedoch einen erheblichen Arbeitsaufwand in der Vorbereitung, da die Messpunkte möglichst eng beieinander liegen sollten. Um diesen Aufwand entgegen zu wirken, kann das Netz aus Referenzpunkten grobmaschiger gewählt und dann zwischen den Punkten interpoliert werden.

¹ Theodolit – Ist ein Winkelmessinstrument, was in der Geodäsie eingesetzt wird.

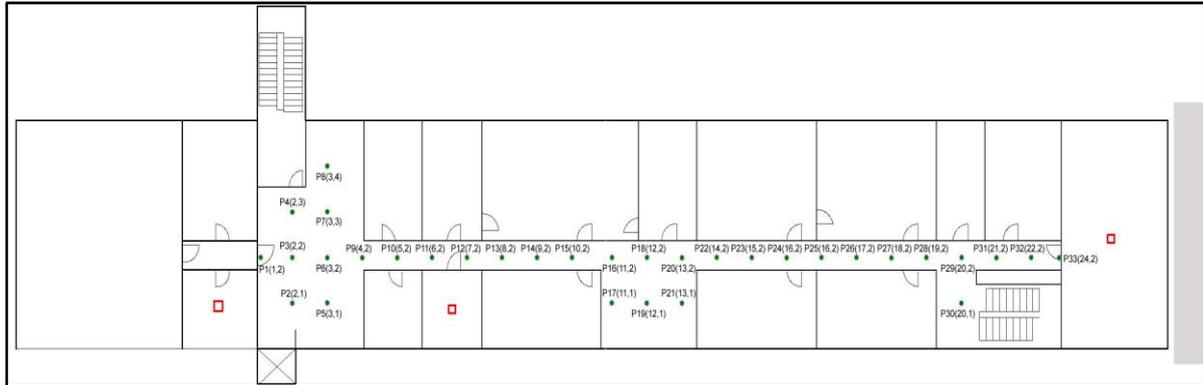


Abbildung 4: Radiomap mit Messpunkten

Euklidischer Abstand

Eine gebräuchliche Methode die Position über eine Radiomap zu bestimmen ist die Berechnung des Euklidischen Abstands zwischen beobachteten und gemessenen Punkt. Der Abstand beschreibt hierbei kein Längenmaß, sondern ein Fehlermaß im Sinne der Abweichung zwischen gegebenen und gemessenen Punkt.

$$d_k = \sqrt{(RSS_{a,1} - RSS_{g,1})^2 + (RSS_{a,2} - RSS_{g,2})^2 + \dots + (RSS_{a,n} - RSS_{g,n})^2}$$

RSS = Received Signal Strength

Der Abstand (d_k) ergibt sich aus der Wurzel der Summe der Quadrate der Differenzen des aktuellen Signals ($RSS_{a,n}$) und des vorher gemessenen Signals ($RSS_{g,n}$) an einer bestimmten Position. Von allen Referenzmessungen in der Radiomap ist die Messung mit dem kleinsten Abstand zur aktuellen Messung die Zielposition. (Krüpper, 2005)

2.2.5 Trilateration

Die Trilateration beschreibt allgemein ein Verfahren zur Lagebestimmung von Festpunkten durch ein Netz von Dreiecken, in denen sämtliche Dreieckseiten durch elektronische Entfernungsmessungen bestimmt werden.

WLAN-basierte Ortungsverfahren

Bei der WLAN-basierten Ortung bedeutet das konkret, dass die Entfernung zu den Access Points über die Signalstärke und ihren Signalstärkelinien ermittelt wird. Dabei wird die Entfernung zum Access Point als Radius, zur Aufstellung einer Kreisfunktion, angenommen.

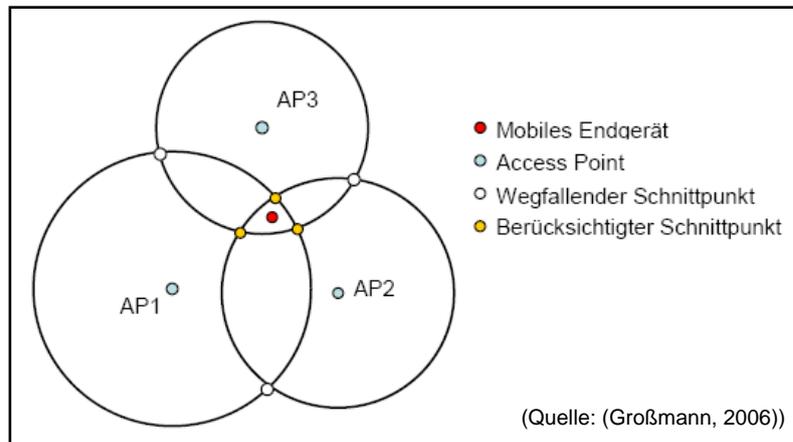


Abbildung 5: Trilateration mit 3 Access Points

Bei mindestens drei Access Points lassen sich durch Gleichsetzen der Kreisfunktionen die Schnittpunkte ermitteln, die den Aufenthaltsort des Teilnehmers eingrenzen. Im Idealfall ergeben sich drei identische Schnittpunkte, die die exakte Position angeben. Allerdings sind die Signalstärkelinien in der Realität nicht kreisförmig, sondern unregelmäßige Kurven, verursacht durch die Störeinflüsse.

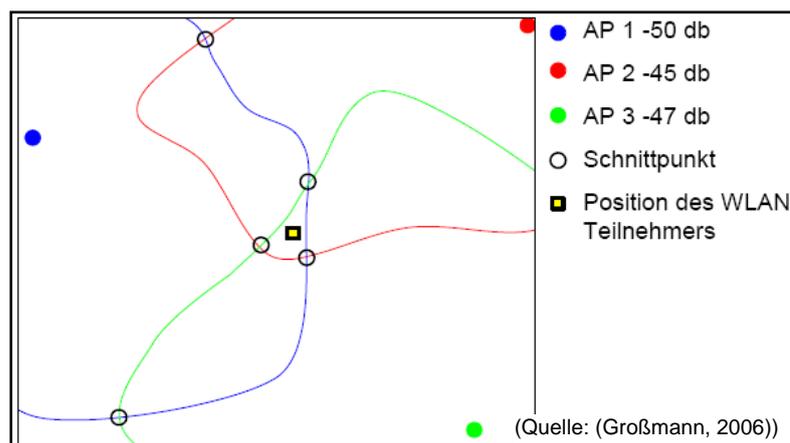


Abbildung 6: Tatsächlicher Verlauf der Signalstärkelinien

WLAN-basierte Ortungsverfahren

Der Verlauf der Kurven lässt sich durch Referenzmessungen und einer Radiomap hinreichend ermitteln. Mit einem Algorithmus wird ein Netz aus Dreiecken generiert in denen die Signalstärkelinien eingetragen werden. Dann werden in diesen Dreiecken die Schnittpunkte gesucht. Das Dreieck mit den meisten Schnittpunkten wird ausgewählt und der Mittelpunkt dieser berechnet. In der Regel reichen drei Schnittpunkte aus, um eine hinreichend genaue Mittelpunktberechnung und damit Positionsbestimmung durchzuführen.

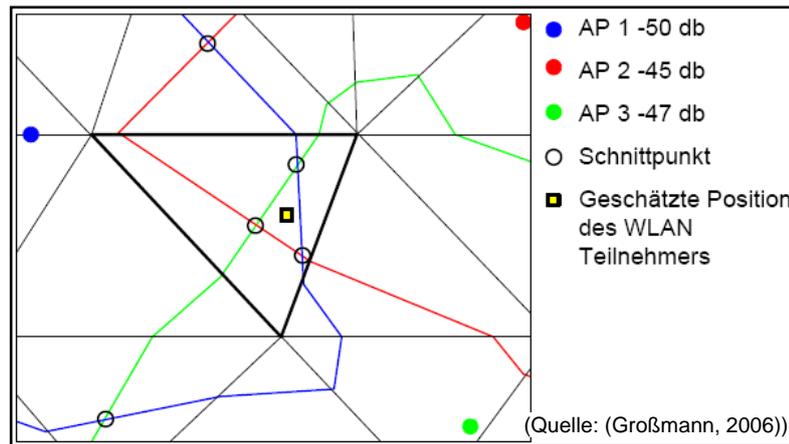


Abbildung 7: Signalstärkeverlauf anhand Referenzmessungen und Dreiecksbildung

3. Konzept und Entwurf des mobilen Messsystems

3.1 Vorbetrachtung

Die Durchführung der Messungen und die daraus gewonnenen Ergebnisse werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst und sind maßgeblich für die Genauigkeit der Positionsbestimmung:

- **Anzahl der Access Points**

Die Anzahl der Access Points, die zur Abdeckung des Gebietes verwendet werden, hat Einfluss auf die Positionsinformation. Messfehler lassen sich durch die Verwendung von mehreren Access Points bis zu einem gewissen Grad minimieren. Mit bis zu drei Access Points verbessert sich der mittlere Fehler in der Messung deutlich, bei weiteren Access Points nur geringfügig. (Jehl, 2007)

- **Empfangsqualität des Signals**

Abhängig von den gegebenen Räumlichkeiten schwanken die Signalstärken mehr oder weniger stark aufgrund der Störeinflüsse. Diese Schwankungen müssen bei der Ermittlung der Messwerte und der Berechnung der Position berücksichtigt werden. Durch Mittelwertbildung können größere Schwankungen der einzelnen Messwerte ausgeglichen werden.

- **Anzahl der Messpunkte**

Die zu bestimmende Position des Objektes hängt stark von der Anzahl der Messwerte, die zum Vergleich herangezogen werden, ab. Je mehr Messpunkte es gibt, desto feiner ist die Auflösung der Radiomap und umso geringer wird der Fehler. Allerdings kann sich eine zu große Anzahl an Messpunkten negativ auf die Positionsbestimmung auswirken, da die Signalstärkewerte benachbarter Punkte sich nur wenig unterscheiden und dadurch keine eindeutige Zuordnung mehr möglich ist. (Jehl, 2007)

- **Dämpfung durch Himmelsrichtung**

Aufgrund von Dämpfungseigenschaften durch den menschlichen Körper (65% besteht aus Wasser) lässt sich feststellen, dass ein wesentlicher Faktor für korrekte Positionsbestimmungen nicht nur die Erfassung von Signalstärkewerten an bestimmten Positionen, sondern auch die Himmelsrichtung ist.

- **Verwendete Hardware**

Die Qualität der Messungen ist auch abhängig von den verwendeten Geräten. Dabei bestimmt die Empfangsleistung der Antenne der Geräte den Bereich der empfangenen Signale, d.h. die Anzahl der Access Points und den Grad der Abhängigkeit von Störeinflüssen. Antennen mit einer hohen Empfangsleistung empfangen mehr Signale und Signalschwankungen werden verringert. Die winzige Antenne eines PDAs oder Handys führt jedoch zu wesentlich stärkeren Signalschwankungen und im Allgemeinen auch zu einem schwächeren empfangenen Signal als die größeren oder sogar externen Antennen in bzw. an Laptops.

3.2 Überblick

Ziel dieses Projektes ist die Ermittlung der aktuellen Position aus einer Auswahl von vorher festgelegten Punkten auf einer Etage des *Grunert de Jacomé* Baus auf dem Campusgelände der Hochschule Mittweida. Man beschränkt sich dabei auf den 2-dimensionalen Raum. Das Gebäude besitzt vier Etagen, wobei auf jeder Etage mindestens drei Access Points installiert sind. Das Messsystem ist ein **Hewlett Packard iPAQ 6910** Pocket PC mit Windows Mobile 5 Betriebssystem und WLAN, basierend auf dem 802.11b Standard. Mithilfe einer eigens dafür entwickelten Software soll die Signalstärke der in Reichweite verfügbaren Access Points gemessen und ausgewertet werden. Die Arbeit teilt sich in zwei Phasen auf. Während der Offlinephase wird eine Abbildung zwischen WLAN-Signal und der räumlichen Umgebung erzeugt, dargestellt in der so genannten Radiomap. In der Online-Phase findet dann die Lokalisierung statt.

3.3 Das Konzept

3.3.1 Offline-Phase – Radiomap erstellen

Die Software verwendet den integrierten WLAN Adapter des mobilen Gerätes und zeigt alle Access Points mit ihrer SSID, der aktuellen Signalstärke, den Übertragungskanal und die Mac-Adresse an. Mithilfe dieser Daten lässt sich eine Datenbank mit Messdaten erstellen. Zuerst wird ein Koordinatensystem mit relevanten Punkten (X, Y) in regelmäßigen Abständen für die zu vermessende Umgebung angelegt. Dabei sollten auch Points of Interests (POI) berücksichtigt werden. Das können Bürozimmer, Treppenaufgänge, Fahrstühle, oder andere Räume sein. Nun wird für jeden Punkt eine Reihe von Messungen durchgeführt, bei denen in einem bestimmten Intervall für jeden empfangbaren Access Point die Signalstärke ermittelt wird. Da die Ausrichtung des Mobilien Gerätes für die empfangene Signalstärke von großer Bedeutung ist, werden alle Messungen in 4 Richtungen durchgeführt: 0°, 90°, 180° und 270°. Durch mehrfache Wiederholung dieses Messvorgangs erhält man für jeden Access Point eine Vielzahl von Signalstärkewerten.

Messung	AP ₁	AP ₂	...	AP _n
1	RSS ₁₁	RSS ₂₁	...	RSS _{n1}
2	RSS ₁₂	RSS ₂₂	...	RSS _{n2}
...
i	RSS _{1i}	RSS _{2i}	...	RSS _{ni}

Tabelle 1 : Messwerte für einen Punkt

Aus diesen Messwerten wird der durchschnittliche Signalstärkewert für jeden Access Point gebildet und in einer Liste aufgenommen. Dieser Datensatz spiegelt die spezifische Signalstärkecharakteristik der Access Points für jeden Punkt wider und dient als Maßstab für die Referenzmessungen.

3.3.2 Online-Phase – Lokalisierung

- **Referenzmessungen**

Mithilfe von Referenzmessungen lässt sich ein Vergleich der aktuell gemessenen Signalwerte mit den vorher ermittelten Werten anstellen. Dazu werden wieder eine Reihe von Messungen an der aktuellen Position durchgeführt und Durchschnittswerte gebildet. Anschließend wird der euklidische Abstand zwischen den Mittelwerten jedes Messpunktes und den Mittelwerten der aktuellen Position berechnet. Allerdings wird auf das Ziehen der Wurzel verzichtet, um den Wertebereich nicht einzugrenzen. Es hat auch den Vorteil, dass Unterschiede zwischen den einzelnen Abstandswerten viel deutlicher werden. Große Differenzwerte, werden durch das Quadrieren noch größer als kleinere Differenzwerte, was die Zuordnung der in Frage kommenden Punkte erleichtert.

$$d_{P(X,Y)}^2 = \sum (\overline{RSS}_{APn} - \overline{RSS}_{gem})^2$$

- **Zuordnung relevanter Punkte in der Nähe**

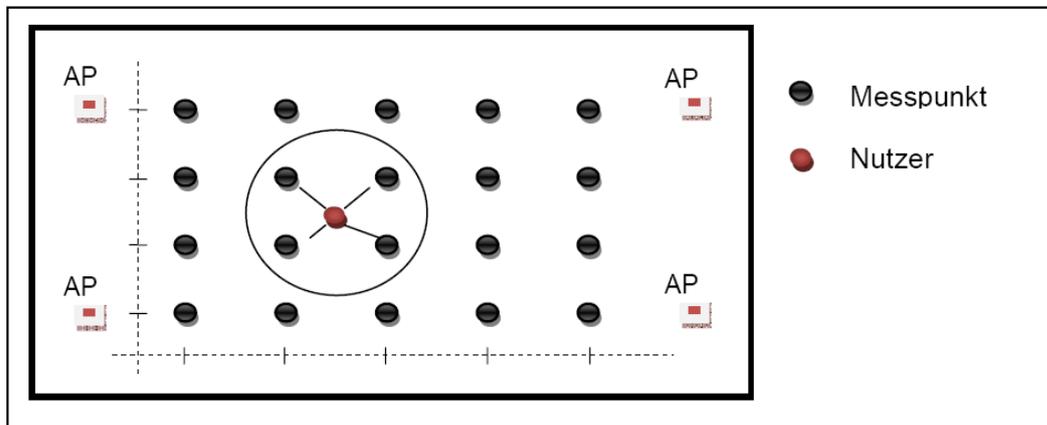


Abbildung 8: Schema der Positionsbestimmung über Radiomap

Somit erhält man den Abstand von der aktuellen Position zu jedem Messpunkt. Theoretisch kann man annehmen, dass geringe Abstandswerte der Signalstärke auch geographisch geringe Abstände zu den Messpunkten bedeuten. Die Berücksichtigung von mehreren Nachbarn kann die Genauigkeit sowohl positiv, als auch negativ beeinflussen. Einerseits sind die Referenzpunkte eine diskrete Umgebung, weshalb die Berücksichtigung von mehr als einem Referenzpunkt den

Bereich der angenommenen Position eingrenzt. Wenn andererseits die Anzahl der Nachbarn zu hoch ist, kommen auch Messpunkte in Betracht, die geographisch zu weit entfernt sind. Die Anzahl von drei bis vier Nachbarn sollte eine hinreichende Genauigkeit liefern. (Paramvir Bahl, 2000)

3.4 Entwurf des mobilen Messsystems

Die vom Autor entwickelte Software „Wireless Network Utility“ (WNU) wurde in C# geschrieben, unter Verwendung des Microsoft .NET Compact Framework 2.0, dessen Open Source Erweiterung Smart Device Framework und der Programmierumgebung Visual Studio 2008 Professional Edition. Das Programm funktioniert auf allen Geräten mit Windows Mobile 2003, 5, 6 Betriebssystem und integriertem WLAN Empfänger. Die Software dient vordergründig der Untersuchung von Signalausbreitungen und soll Aufschluss darüber geben, ob und wie genau Positionsbestimmung in Gebäuden mittels WLAN möglich ist. Um die Beziehungen zwischen Signalstärke, Entfernung, Anzahl der Messpunkte und Anzahl der Messungen zu erkennen und zu interpretieren ist es wichtig, dass so viele Daten wie möglich erfasst werden und alle Messparameter variabel einstellbar sind. Es geht dabei nicht um die grafische Anzeige wo man sich gerade befindet im Gebäude.

3.4.1 Verwendete Technologien

Das .NET Compact Framework

Das im Jahr 2002 von Microsoft entwickelte .NET Framework bezeichnet eine Technologie der objektorientierten Programmierung unter Windows. Programme, die für das .NET Framework geschrieben wurden, brauchen es auch zu ihrer Ausführung. Es ist sozusagen die Laufzeitumgebung für .NET-basierte Anwendungen. Die gesamte Funktionalität ist im .NET Framework in Bibliotheken abgebildet. Jeder Aufruf in das Framework ist dabei ein Aufruf einer solchen Bibliothek, bzw. eine Instanzierung einer in den Bibliotheken bereitgestellten Klasse und der Aufruf einer von der Klasse bereitgestellten Methode oder

Eigenschaft. Neben *Perl.NET* und *Python.NET* sind *C#* und *Visual Basic* heute die gebräuchlichsten Programmiersprachen, die das .NET unterstützt.

Das .NET Compact Framework (CF) ist ein Teil des .NET Framework, das speziell auf mobile Endgeräte wie Pocket PC, PDA und Smartphone zugeschnitten ist. Aufgrund der begrenzten Ressourcen - die niedrigere Rechenleistung und der geringere Speicher dieser Geräte - besitzt das CF eine reduzierte Klassenbibliothek gegenüber dem .NET Framework. Es umfasst nur rund 10% der Größe des .NET Frameworks, deckt aber rund 25% der Funktionalität dessen ab. Nicht enthalten im CF ist zum Beispiel ASP.NET, was das Schreiben von ASP-Anwendungen oder einen Webdienst ermöglicht. Auch die COM-Interoperabilität¹, ActiveX²-Control-Unterstützung und verschiedene Windows Forms-Steuer-elemente (z.B. FontDialog, ColorDialog, Splitter) werden nicht unterstützt. Remoting (mit Ausnahme des Einsatzes als Webservice-Client), Drucken und Binäre Serialisierung sind ebenfalls nicht enthalten. GDI+ ist in eingeschränkter Form nutzbar. Mit der Version 2.0 stehen jedoch Funktionen für DirectX und Direct3D zur Verfügung, was unter anderem die Erstellung von Spielen deutlich vereinfacht. (Dröge, et al., 2006)

Das Smart Device Framework

Das Smart Device Framework (SDF) ist eine Open Source Entwicklung der Firma *OpenNETCF Consulting*. Sie ergänzt und erweitert das CF mit neuen Bibliotheken und steigert die Funktionalität von mobilen Anwendungen. Mit Unterstützung von ASP.NET, COM Interoperabilität, benutzerdefinierter Controls und Gerätetreiber und SQL Mobile bildet das SDF eine Brücke zwischen dem .NET Framework und dem CF. Es ist in der aktuellen Version 2.3 (Stand: März 2009) als Community Edition kostenlos erhältlich. (Ope09)

Windows Mobile

Windows Mobile basiert auf Windows CE (WinCE), eine Familie von Betriebssystemen von Microsoft, die speziell für mobile Geräte wie PDA oder Smartphone entwickelt wurden. Die Bedienung ist ähnlich der von Windows PCs, nur wird hierbei ein anderer Kernel

¹ COM Interoperabilität – Verwaltung von COM Objekten und .NET Objekten in einer Anwendung; .NET Objekte befinden sich im verwalteten Arbeitsspeicher, COM Objekte hingegen in nicht verwalteten Speicher; .NET Framework enthält Tools zum Steuern der Interaktion beider Elemente

² ActiveX – Softwarekomponenten von Microsoft für aktive Inhalte. Erweiterung des COM Standards

verwendet. Daher laufen auch keine herkömmlichen Windows Anwendungen unter diesem System. Es werden die Prozessorarchitekturen Intel x86, MIPS¹ und ARM² unterstützt. Mit Windows Mobile 2002, welches auf WinCE 3.0 basiert, brachte Microsoft das erste Betriebssystem für eingebettete Systeme auf den Markt, das gezielt für tastaturlose Pocket PCs mit Touchscreen entworfen wurde. Später kam dann Windows Mobile 2003 und 2003 SE (Second Edition) heraus, basierend auf WinCE 4.2 bzw. 4.21, das einige Verbesserungen mit sich brachte. Neue Funktionen waren die 90° Drehung des Bildschirms, einen Web Browser namens Pocket Internet Explorer und eine höhere Auflösung von 640 x 480, zusätzlich zu den bekannten 320 x 240 Pixeln. Außerdem wurde nun Wireless LAN mit Wifi-Protected-Access, einer Verschlüsselungsmethode, integriert. Mit Windows Mobile 5 und 6 (WinCE 5.0 und WinCE 5.2) wurde der Funktionsumfang nochmals erweitert. Größte Änderung gegenüber den Vorgängern ist die zusätzliche Nutzung von nichtflüchtigem Speicher der Pocket PCs für flüchtige Daten, was die Lebensdauer der Batterie steigern soll. Bisher wurden bis zu 50 Prozent (genug für 72 Stunden) der Batteriekapazität reserviert, um Daten im flüchtigen RAM-Speicher zu halten. Nun gehen die gespeicherten Daten und selbst installierten Programme nicht mehr verloren wenn der Akku komplett leer ist. Das .NET Compact Framework 2.0 ist auf einigen Geräten mit WM 5 und standardmäßig auf Geräten mit WM 6 schon vorinstalliert. Eine neue Version von Office Mobile mit Word-, Excel- und Powerpoint-Mobile wurde hinzugefügt. Erstmals ist auch die Nutzung von GPS Daten über einen virtuellen Parallelport möglich. Die Bedienbarkeit mit den Fingern wurde ebenfalls optimiert. ([Wik](#))

Microsoft Visual Studio

Seit Visual Studio 2005 ist es, ab der Standard Version, möglich Anwendungsentwicklung auch für mobile Geräte zu betreiben. Die kostenlose Variante (Express Edition) kann das nicht. Visual Studio 2005 bringt neben vielen Detailverbesserungen wie einen Klassendesigner, Refactoring³ und Codevorlagen auch das .NET Compact Framework 2.0 mit sich. Außerdem ist nun auch ein Geräteemulator Manager enthalten, der nicht nur die Auswahl, Konfiguration und parallele Ausführung von Emulatoren ermöglicht, sondern es

¹ MIPS - *Microprocessor without interlocked pipeline stages*; basierend auf RISC Prozessorarchitektur

² ARM - *Acorn Risc Machine*; RISC basierende Prozessorarchitektur entwickelt von der Firma Acorn

³ Refactoring – bezeichnet in der Software Entwicklung die manuelle oder automatische Strukturverbesserung von Quellcode unter Beibehaltung der Programmfunktionen

auch erlaubt, Emulatoren mit ActiveSync¹ zu verwenden. Mithilfe des Emulators können Programme direkt am PC ausgeführt und getestet werden, die Oberfläche entspricht der eines echten Pocket PCs. Es lassen sich fast alle Funktionen damit durchführen, wie z.B. der Zugriff auf das Dateisystem oder den Systemeinstellungen.

3.4.2 Das Mess-Tool „Wireless Network Utility“

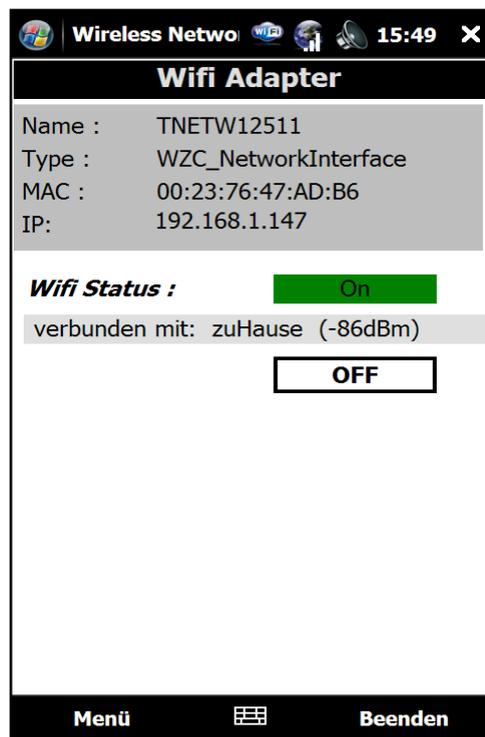


Abbildung 9: Startbildschirm von WNU

Unter Verwendung des .NET Compact Framework (CF) und der Erweiterung Smart Device Framework (SDF) bietet die Software viele Funktionen, was das Auslesen und Auswerten der Signalstärken von Access Points betrifft. Mithilfe des SDF ist es möglich den Netzwerkadapter des Gerätes zu nutzen und dessen Informationen auszulesen. Diese Funktion ist im CF nicht vorhanden. Darüber hinaus erstellt das Tool XML Dateien mit den Messdaten, die somit auf anderen Geräten weiter verarbeitet werden können. Die wesentlichen Funktionen sind die Anzeige von APs, das Erstellen einer Radiomap und anhand dieser eine Positionsbestimmung durchzuführen.

¹ ActiveSync – eine unter Windows (XP) laufende Software zur Datensynchronisation zwischen PC und mobilen Gerät; Ab Windows Vista nennt es sich *Windows Mobile Gerätecenter*

Konzept und Entwurf des mobilen Messsystems

Die Anwendung besteht aus insgesamt sechs Windows-Forms, welche die grafische Oberfläche für jeweils eine Aufgabe darstellen. Von der Hauptform sind die Funktionen *verfügbare APs anzeigen*, *Messdaten erstellen* und *Positionsbestimmung* auswählbar. Neue Messdaten erstellen oder vorhandene Messdaten anzeigen geschieht über die Messdaten-Form.

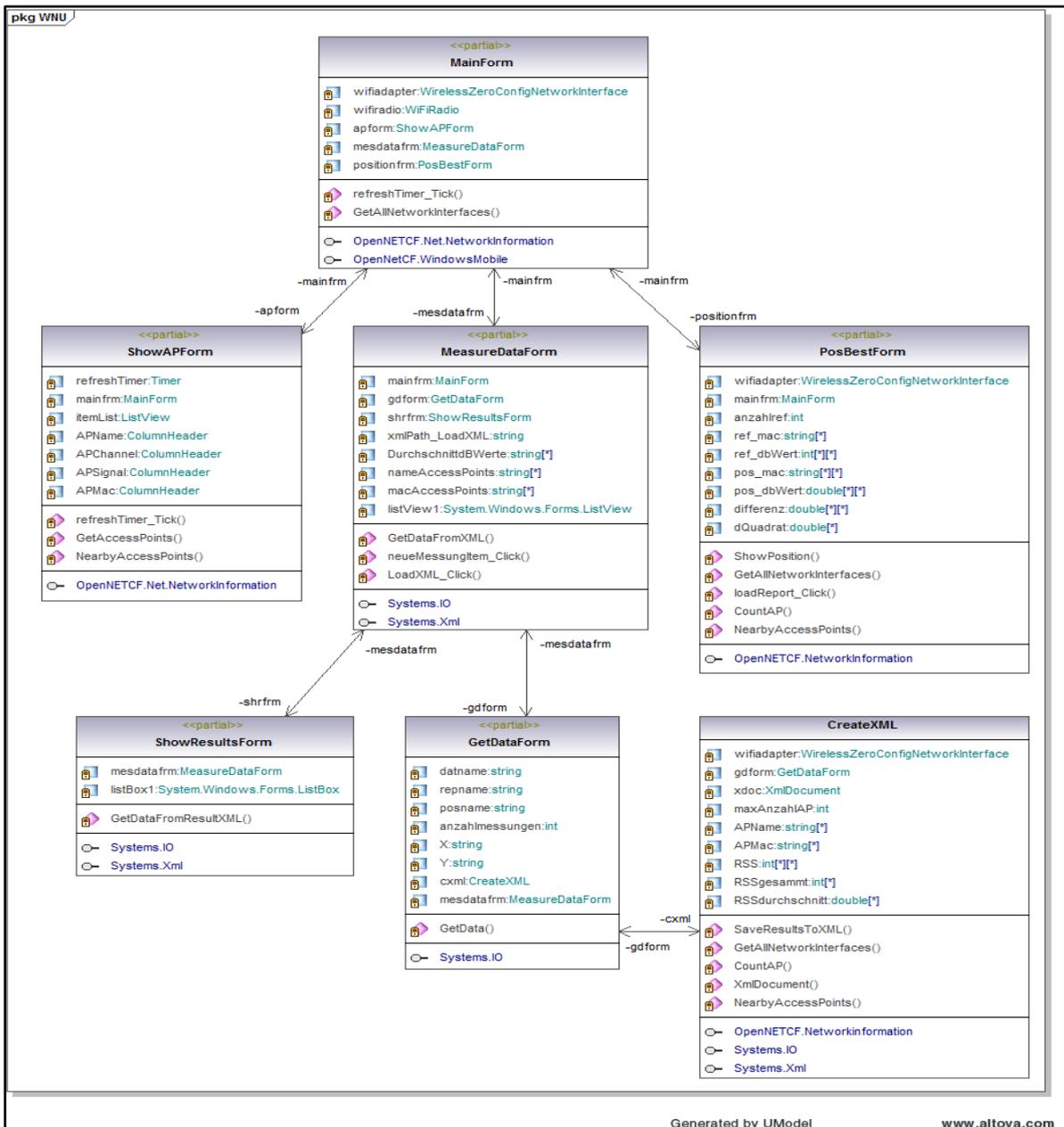


Abbildung 10: vereinfachtes Klassendiagramm von WNU

MainForm

Dies ist die Startseite des Programms. Über die Methode *GetAllNetworkInterfaces()* werden die Netzwerkadapter des Gerätes ermittelt und überprüft, welcher Adapter den Dienst „konfigurationsfreie Drahtlose Netzwerkverbindung“ unterstützt. Dieser im Windows Betriebssystem integrierte Dienst steuert die drahtlose Verbindung zu einem Netzwerk. Das Programm greift mit der Variable *wifiadapter* auf diesen Dienst zurück, um die APs mit ihren Eigenschaften anzuzeigen und eine Verbindung mit einem bevorzugten AP herzustellen.

ShowAPForm

ShowAPForm zeigt in einer Liste die momentan verfügbaren APs an. Die Methode *GetAccessPoints()* nutzt die Variable *wifiadapter* aus der *MainForm*, die den Netzwerkadapter für WLAN repräsentiert, um die Eigenschaften (SSID, Kanal, RSS, MAC) der APs auszulesen.

MeasureDataForm

MeasureDataForm dient vordergründig der Anzeige von erstellten Messdaten. Mit *LoadXML()* lässt sich über einen *OpenFileDialog* eine erstellte XML Datei öffnen. Desweiteren gibt es die Möglichkeit eine neue Messung vorzunehmen, wodurch zu *GetDataForm* weitergeleitet wird.

GetDataForm

Der Nutzer hat die Möglichkeit die Messparameter bei jedem Messvorgang anzupassen. *GetDataForm* nimmt die Parameter über Eingabefelder auf und gibt sie an die Klasse *CreateXML* weiter.

CreateXML

Die Klasse *CreateXML* ist die wichtigste Klasse des Programms. Hier werden die Messungen vorgenommen, bei denen die Signalstärken aller APs ermittelt werden, der

Durchschnitt berechnet wird und die Ergebnisse anschließend in zwei Arten von XML Dateien geschrieben werden. Hier kommt wieder das SDF mit den Methoden *GetAllNetworkInterfaces()* und *NearbyAccessPoints()* zum Einsatz. Die erste Methode greift wieder auf den drahtlosen Netzwerkadapter des Gerätes zu. Mit der zweiten Methode werden die Signalstärken der APs in Decibel (dBm) erfasst.

Die erste XML Datei wird während des Messvorgangs erzeugt und enthält, neben den SSIDs der APs und deren MAC Adresse, die Positionsbezeichnung und deren X-, Y-Koordinaten, auch die Signalstärken aller APs pro Messung. Das Programm legt dafür einen Ordner in „My Documents\Messungen\“ auf dem Gerät an. Die zweite XML Datei enthält eine Zusammenfassung der wichtigen Informationen jedes Messvorgangs und repräsentiert damit quasi die Radiomap. Diese XML wird beim erstmaligen Messen erzeugt und mit jedem weiteren Messvorgang erweitert. Sie beinhaltet die Position mit X-, Y-Koordinaten und die durchschnittliche Signalstärke jedes APs, die bei einem Messvorgang an dieser Position berechnet wurden. Die XML wird auch in einem separaten Ordner in „My Documents\Ergebnisse\“ abgelegt.

PosBestForm

Mit *PosBestForm* wird die eigentliche Positionsbestimmung durchgeführt. Die vorher erstellte XML Datei mit den Radiomap-Daten bildet die Grundlage für jede weitere Berechnung. Mithilfe von *LoadReprt()* wird die XML geladen. Nach Auswahl der Anzahl der Referenzmessungen (1,5, 10, 15) kann die Berechnung der Position gestartet werden.

Das Programm misst wieder die Signalstärken der empfangenen APs und mittelt diese über alle Referenzmessungen. Danach werden die Differenzwerte zwischen den gerade ermittelten Durchschnittswerten und den Durchschnittswerten für die Positionen aus der Radiomap gebildet, mithilfe des euklidischen Abstands.

$$d^2(X_i, Y_i) = \sum_{n=1}^{AP_{ges}(X_i, Y_i)} (\overline{RSS_n} - \overline{RSS_{n_{ref}}})^2$$

Der quadratische Abstand (d^2) der jeweiligen Position (X_i, Y_i) ergibt sich aus der Summe der quadrierten Differenzen zwischen durchschnittlicher Signalstärke des AP (n) aus der Radiomap ($\overline{RSS_n}$) und durchschnittlicher Signalstärke der Referenzmessungen ($\overline{RSS_{n_{ref}}}$).

Hierbei müssen drei wichtige Kriterien erfüllt werden:

- Bei der Differenzbildung der Durchschnittswerte wird anhand der MAC Adresse überprüft, welche APs aus der Referenzmessung mit den APs der Position aus der Radiomap übereinstimmen. Es werden nur Differenzen der Durchschnittswerte gebildet, die vom gleichen AP stammen. Denn nicht überall werden die gleichen APs empfangen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

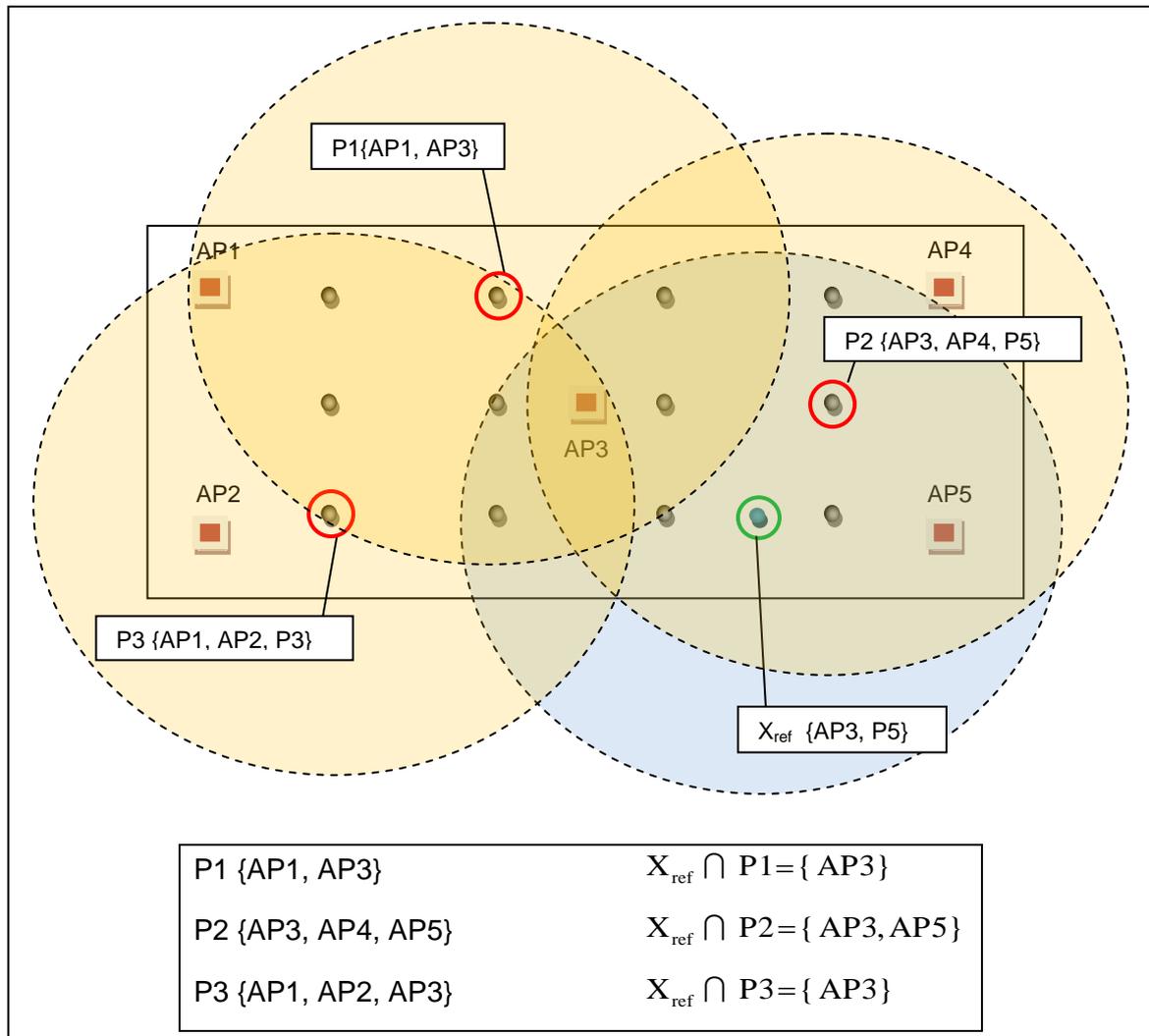


Abbildung 11: Prüfen von übereinstimmenden APs

An den Punkten P1, P2 und P3 wurden jeweils unterschiedliche APs empfangen und ihre durchschnittliche Signalstärke berechnet. An der Position X_{ref} werden Referenzmessungen vorgenommen bei denen die APs 3 und 5 empfangen wurden. Das Programm ermittelt nun die Schnittmenge der empfangenen APs zwischen den Positionen aus der Radiomap und der Position, an denen die Referenzmessungen

Konzept und Entwurf des mobilen Messsystems

vorgenommen wurden. Nur für die Elemente der Schnittmenge, sprich die übereinstimmenden APs, wird der euklidische Abstand berechnet.

- Um die Auswahl der in Frage kommenden Punkte einzugrenzen und zu verhindern, dass der Referenzpunkt mit allen Punkten der Radiomap verglichen wird, was Zeit spart, wird eine Art Wichtung vorgenommen. Die Vermutung liegt nahe, dass eine große Zahl an übereinstimmenden APs auch die Nähe zu diesen Punkten bedeutet. Während der Testphase hat sich heraus gestellt, dass die Bedingung „mindestens die Hälfte der maximal empfangenen Anzahl APs müssen übereinstimmen“ ein gutes Verhältnis zwischen Auswahl der zutreffenden Punkte und der Streuung ist. Im Beispiel ist die maximale Anzahl drei. P2 erfüllt die Bedingung mit zwei von drei empfangenen APs.
- Somit erhält man für jeden zutreffenden Punkt einen d^2 -Wert und kann diese nun vergleichen. Die vier niedrigsten Werte sollten, theoretisch, die vier nächsten Punkte sein. Testläufe haben jedoch ergeben, dass das praktisch nicht der Fall ist. Es kommt vor, dass Punkte, die weiter entfernt liegen dennoch einen geringeren d^2 -Wert aufweisen, als Punkte in unmittelbarer Nähe zum Gerät. Dies resultiert aus den Signalschwankungen bedingt durch die Störeinflüsse. Um solche großen Abweichungen zu verringern, werden die Koordinaten der vier in Frage kommenden Punkte interpoliert.

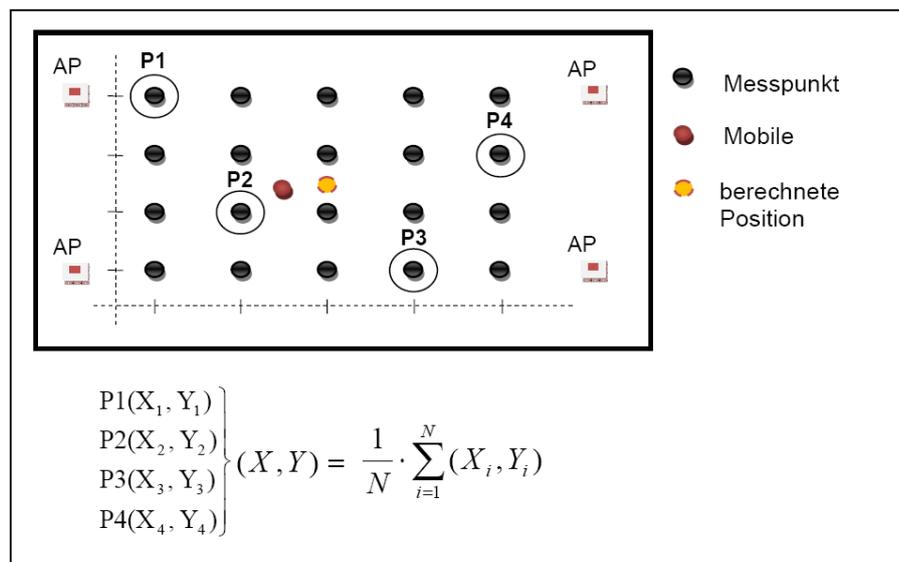


Abbildung 12: Berechnung der Koordinaten durch Interpolation

Problematik der Signalschwankung

Wenn man mit dem Gerät durch den Gang läuft und sich die Liste der empfangenen APs anschaut, stellt man fest, dass die Anzahl ständig schwankt. Selbst an einer fixen Position variiert die Anzahl über einen gewissen Zeitraum. Das resultiert aus der relativ niedrigen Empfangsleistung der WLAN-Antenne des mobilen Gerätes. Diese Schwankungen müssen bei den Messungen mit berücksichtigt werden. Deshalb wird vor jeder Messung mit der Methode *CountAP()* die maximale Anzahl der APs an der befindlichen Stelle ermittelt. Danach werden die Messungen für diese Anzahl durchgeführt. Dabei werden die Messwerte in *Arrays* aufgenommen, deren Anzahl an Einträgen der maximalen Anzahl der ermittelten APs entspricht. Nun kommt es vor, dass während des Messvorgangs weniger APs empfangen werden und die fehlenden Einträge im Array mit einer Null gefüllt werden. Die Signalstärke von Funkwellen beschreibt ein Verhältnis der Strahlungsleistung zwischen Sender und Empfänger und ist somit, genauer gesagt, als relative Signalstärke zu bezeichnen. Sie wird als negativer Decibel-Wert gemäß der allgemeinen Formel angegeben:

$$L = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} [dBm]$$

P_1 und P_2 entsprechen der Strahlungsleistung von Sender bzw. Empfänger. Wenn das Verhältnis beider Größen kleiner Null ist, ergibt sich durch den dekadischen Logarithmus ein negativer Wert. Durch die Freiraumdämpfung des Signals ergibt sich zwangsläufig ein negativer Wert, da das Signal beim Empfänger schwächer ist als beim Sender. Das bedeutet, je größer der Wert ist (gegen Null geht), umso niedriger ist die Dämpfung und umso besser ist der Empfang.

Ein Signalstärke-Wert von Null würde bedeuten, dass das Signal beim Empfänger, also dem mobilen Gerät, ohne Verluste ankommt, was in der Realität nicht vorkommt. Unter Einbeziehung der Null-Werte würde die Durchschnittsberechnung der Signalstärken in positive Richtung verfälscht werden. Um diese Fälschung der Durchschnittswerte zu vermeiden, werden die fehlenden Einträge im Array nicht mit einer Null, sondern mit dem Wert -100^1 dBm versehen. Dieser Wert repräsentiert damit, dass von diesem AP kein Signal empfangen wurde. Dadurch verschlechtert sich dementsprechend auch der Durchschnittswert, was bedeutet, dass der AP an der betreffenden Position schlechter empfangen wird.

¹ - 100 – typische Signalstärk-Werte im WLAN bewegen sich zwischen -50 und -90 dBm, wobei -50 als „guter Empfang“ und -90 als „schlechter Empfang“ interpretiert werden kann

4. Test und Auswertung

4.1 Testumgebung

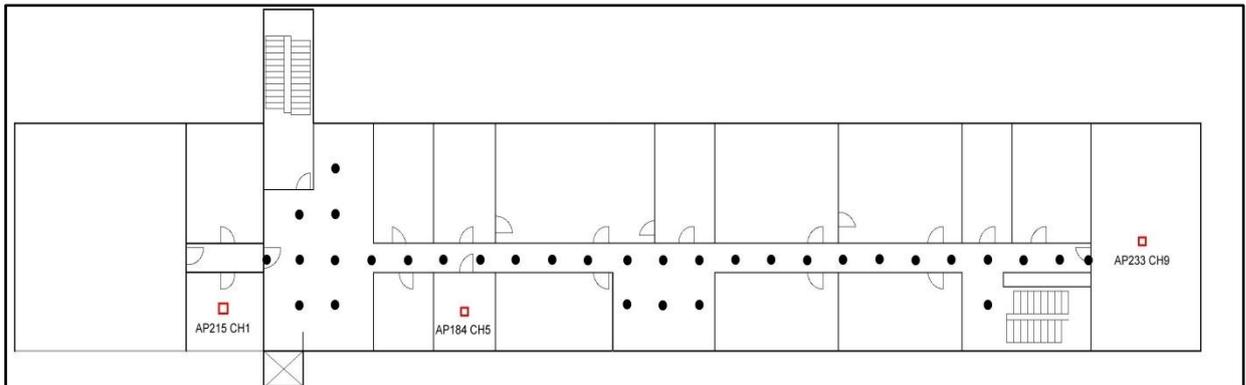


Abbildung 13: Radiomap der Etage

Alle Messungen wurden auf der vierten Etage des *Grunert de Jacomé* Baus auf dem Campusgelände der Hochschule Mittweida durchgeführt. Es sind drei APs der Serie Cisco Aironet 1230AG mit der Antenne Cisco AIR-ANT4941 installiert, die jeweils auf den Frequenzkanälen 1 (2,412 GHz), 5 (2,432 GHz) und 9 (2,452 GHz) senden. Auf den unteren Etagen sind die APs in der gleichen Weise angebracht. In der vierten Etage wurden bis zu zehn APs empfangen, im Durchschnitt waren es acht. Insgesamt wurden 33 Messpunkte im Flur vermessen. Die Messpunkte haben einen Abstand von 2,2 Meter in X-Richtung und 2,5 Meter in Y-Richtung.

Die Messungen fanden am Tag im laufenden Betrieb des Hochschulalltages statt. Das bedeutet, es war ständig Bewegung im Gebäude. Menschen sind über den Flur gelaufen, der Fahrstuhl war in Betrieb. Welche Auswirkungen das auf die Messungen hat, wird in der Auswertung näher erläutert.

4.2 Radiomap erstellen

An jedem Messpunkt wurden jeweils 20 Messungen in vier Ausrichtungen 0° , 90° , 180° und 270° durchgeführt. Die Anzahl der empfangenen APs schwankte dabei zwischen sechs und neun. Insgesamt ergaben sich damit 19840 Messwerte für die Radiomap.

4.3 Positionsbestimmung – Näherung

Um die Genauigkeit bzw. die Streuung der Messwerte zu ermitteln, wurde an drei Positionen im Flur eine Positionsbestimmung durchgeführt. Die Berechnungen wurden jeweils mit 1, 5, 10 und 15 Referenzmessungen zehn Mal wiederholt. Für eine konkrete Aussage über die bestimmte Position mit X- und Y-Koordinaten, sind Dezimalwerte auf bzw. abgerundet worden und die interpolierten Koordinaten der berechneten Position wurden den absoluten Koordinaten aus der Radiomap zugeordnet.

Im Folgenden sind die Punkte P3, P19 und P31, an denen gemessen wurde, mit ihren jeweiligen Koordinaten in Klammern aufgezeigt. Die Abbildungen 15, 16 und 17 zeigen einen Ausschnitt der Radiomap mit der jeweiligen Messposition (roter Kreis) und allen berechneten Positionen in Abhängigkeit der Anzahl der Referenzmessungen (graue, blaue, orangene und grüne Punkte). In der jeweiligen Tabelle darunter sind die Koordinaten der berechneten Position nach jedem Durchlauf eingetragen. Die daraus resultierenden Abweichungen der Koordinaten von der Messposition sind im unteren Abschnitt der Tabelle zu sehen, einmal in Koordinaten-Einheiten und einmal in Metern.

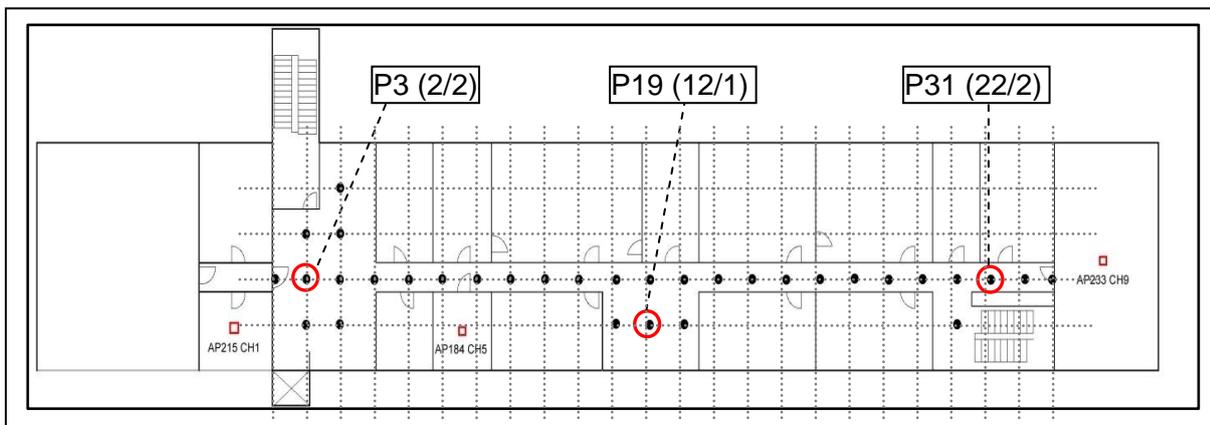


Abbildung 14: Grundriss der Etage mit Messpositionen

Einige Begriffe werden im Folgenden oft verwendet und sind hiermit nochmal erklärt:

Messpunkt / Messposition: Mit Messpunkt sind allgemein die Punkte der Radiomap gemeint. Die Messposition beschreibt den Punkt der Radiomap, an denen die Positionsbestimmungen durchgeführt wurden.

Abweichung / Streuung: Bezieht sich auf die Aussage zur Genauigkeit und Präzision

im Kap. 1.2. Die Abweichung entspricht der Entfernung der berechneten Position von der Messposition. Die Streuung beschreibt die Menge der abweichenden Positionen.

Position P3 (2/2)

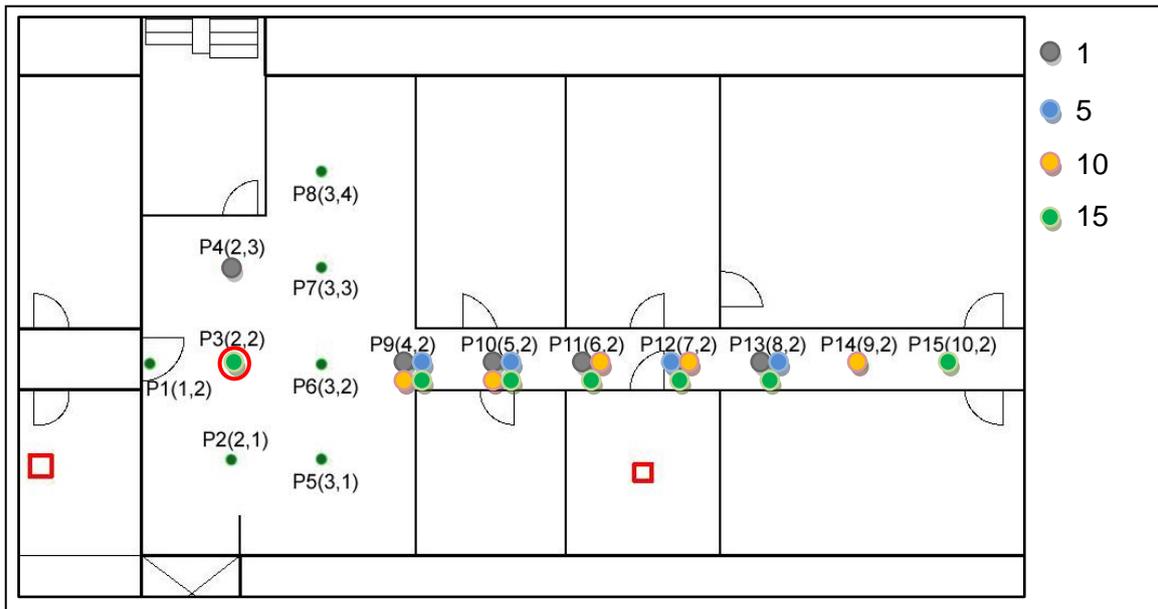


Abbildung 15: Positionsbestimmung an P3

Ref.-mess.	1	5	10	15
Durchlauf	X/Y	X/Y	X/Y	X/Y
1	8/2	7/2	6/2	8/2
2	6/2	8/2	4/2	6/2
3	5/2	5/2	6/2	6/2
4	6/2	6/2	4/2	4/2
5	6/2	2/3	9/2	5/2
6	6/2	5/2	7/2	2/2
7	6/2	5/2	4/2	7/2
8	4/2	4/2	4/2	10/2
9	8/2	4/2	5/2	5/2
10	4/2	5/2	4/2	4/2
durchschn. Abweichung X, Y	3,9 / 0	3,1 / 0,2	3,3 / 0	3,7 / 0
durchschn. Abweichung in Metern	8,58 / 0	6,82 / 0,5	7,26 / 0	8,14 / 0

Tabelle 2: Positionsbestimmung an P3

Position P19 (12/1)

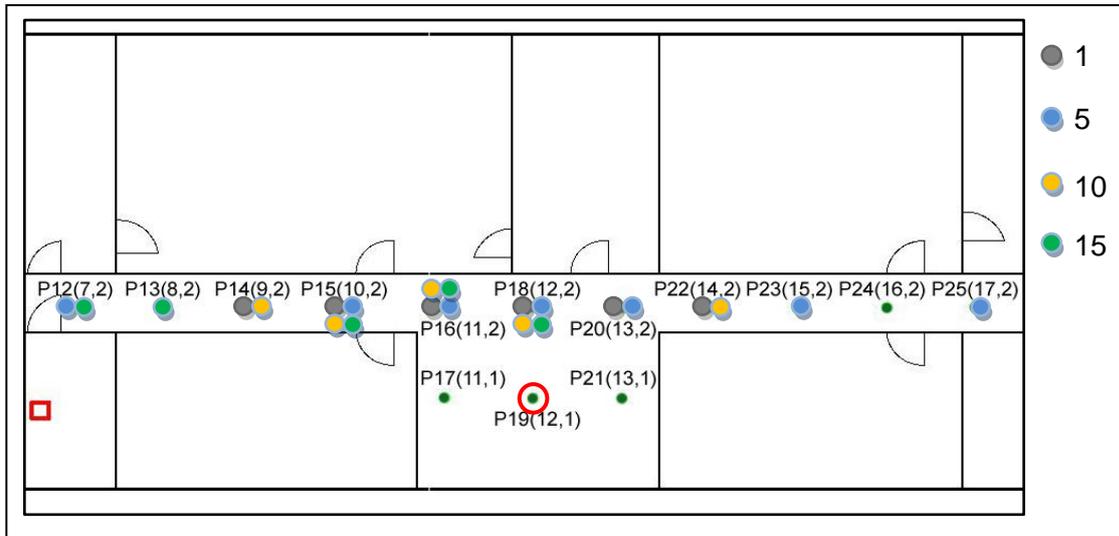


Abbildung 16: Positionsbestimmung an P19

Durchlauf \ Ref.-mess.	1	5	10	15
	X / Y	X / Y	X / Y	X / Y
1	11 / 2	16 / 2	11 / 2	7 / 2
2	10 / 2	15 / 2	11 / 2	10 / 2
3	15 / 2	11 / 2	9 / 2	8 / 2
4	9 / 2	17 / 2	12 / 2	8 / 2
5	12 / 2	15 / 2	10 / 2	7 / 2
6	13 / 2	7 / 2	14 / 2	11 / 2
7	12 / 2	13 / 2	11 / 2	8 / 2
8	10 / 2	12 / 2	10 / 2	7 / 2
9	11 / 2	7 / 2	11 / 2	12 / 2
10	13 / 2	10 / 2	12 / 2	8 / 2
durchschn. Abweichung X, Y	1,4 / 1	2,9 / 1	1,3 / 1	3,3 / 1
durchschn. Abweichung in Metern	3,04 / 2,5	6,38 / 2,5	2,86 / 2,5	7,26 / 2,5

Tabelle 3: Positionsbestimmung an P19

Position P31 (22/2)

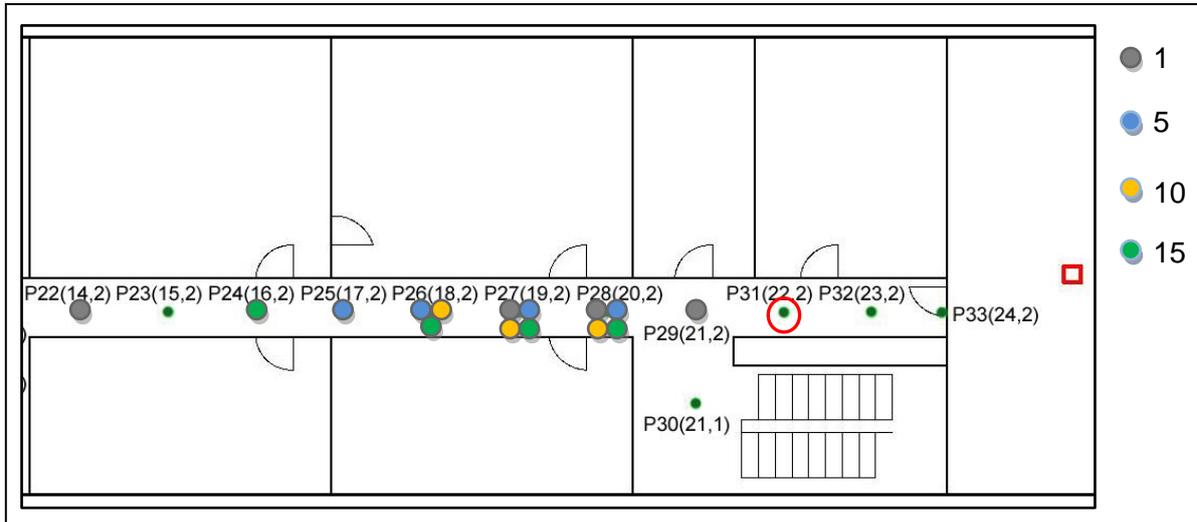


Abbildung 17: Positionsbestimmung an P31

Ref.-mess.	Durchlauf			
	1 X/Y	5 X/Y	10 X/Y	15 X/Y
1	21 / 2	19 / 2	18 / 2	19 / 2
2	21 / 2	20 / 2	19 / 2	20 / 2
3	14 / 2	18 / 2	20 / 2	16 / 2
4	19 / 2	20 / 2	20 / 2	20 / 2
5	20 / 2	19 / 2	20 / 2	18 / 2
6	19 / 2	19 / 2	20 / 2	19 / 2
7	20 / 2	20 / 2	18 / 2	20 / 2
8	20 / 2	20 / 2	20 / 2	20 / 2
9	19 / 2	17 / 2	20 / 2	16 / 2
10	19 / 2	18 / 2	18 / 2	18 / 2
durchschn. Abweichung X, Y	2,8 / 0	3 / 0	2,5 / 0	3,3 / 0
durchschn. Abweichung in Metern	6,16 / 0	6,6 / 0	5,5 / 0	7,26 / 0

Tabelle 4: Positionsbestimmung an P32

4.4 Zusammenfassung

Zuerst soll darauf hingewiesen werden, dass die WLAN Infrastruktur im Gebäude vorgegeben ist und nicht extra für die Tests aufgebaut wurde. Die linienhafte Anordnung der APs ist damit nicht unbedingt geeignet für eine Positionsbestimmung. Eine bessere räumliche Verteilung, etwa in Dreiecks-Form, wäre von Vorteil gewesen. Die Signalausbreitung und der Empfang wären so an allen Messpunkten gleichmäßiger gewesen.

Es fällt auf, dass, bis auf ein Ergebnis, die exakte Position bei allen Durchläufen nicht ermittelt wurde. Dies war jedoch zu erwarten, aufgrund der inhomogenen Bedingungen für die Signalausbreitung im Gebäude und der begrenzten Leistungsfähigkeit des mobilen Empfängers. Die Abweichungen schwanken im Durchschnitt zwischen 2,9 – 8,6 Meter in X-Richtung und 0 – 2,5 Meter in Y-Richtung, wobei die Anordnung der Messpunkte zu berücksichtigen ist. Die Radiomap besitzt aufgrund der Grundrissform des Gebäudes viel mehr Punkte in X-Richtung, wodurch die Häufigkeit und Größe der Abweichungen in dieser Richtung überwiegen.

Die Abbildungen 15, 16 und 17 zeigen, wie groß das Ausmaß der Abweichung an der jeweiligen Messposition ist. Was jedoch viel aussagekräftiger ist, bezüglich des Maßes der Genauigkeit, sind die Häufigkeiten, wie oft ein Punkt getroffen wurde. Folgende Diagramme zeigen die absoluten Häufigkeiten der berechneten Positionen. Anhand der berechneten Abweichungen aus den Tabellen (in Metern) lässt sich der Radius der durchschnittlichen Abweichung über alle Referenzmessungen ermitteln. Die Annahme einer gleichmäßigen radialen Abweichung ist nur ein theoretisches Modell und soll den Bereich der möglichen Positionen kennzeichnen. Je kleiner der Kreis ist, desto kleiner ist auch die Abweichung zur Messposition.

Position P3 (2/2)

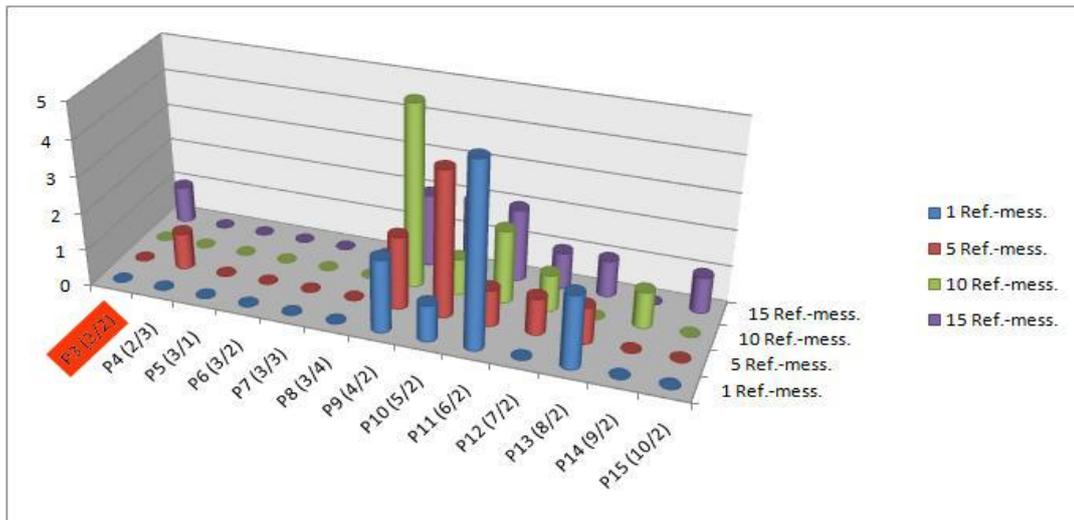


Abbildung 18: Häufigkeiten der berechneten Positionen an P3

Hier traten die größten Abweichungen auf. Es ist zu erkennen, dass mit steigender Anzahl der Referenzmessungen die Streuung der berechneten Positionen zunimmt, die Abweichung nimmt jedoch ab. Das lässt sich aus der Anzahl der getroffenen Punkte ableiten. Bei zehn Referenzmessungen, wurde P9 am häufigsten ermittelt und ist damit der nächste Punkt zur eigentlichen Position des gesamten Messvorgangs. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass zehn Referenzmessungen für diese Position die höchste Genauigkeit brachte.

Im Durchschnitt liegt der Radius der Abweichung für diese Messposition bei 7,7 Metern.

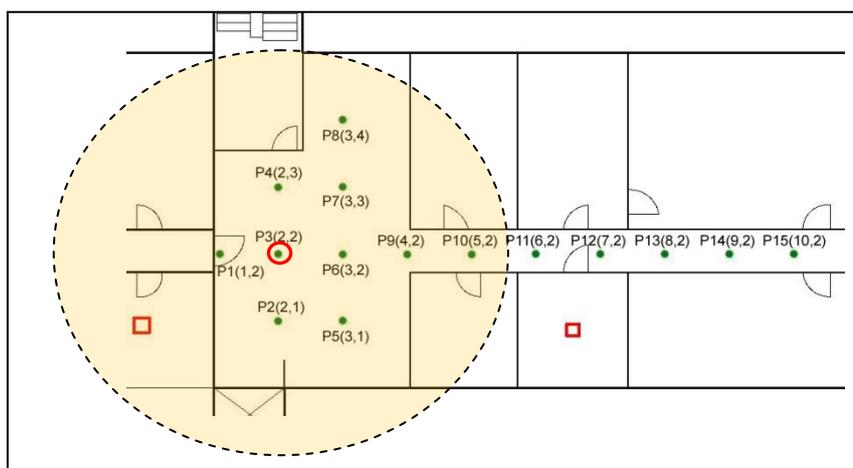


Abbildung 19: Bereich der durchschnittlichen Abweichung an P3

Position P19 (12/1)

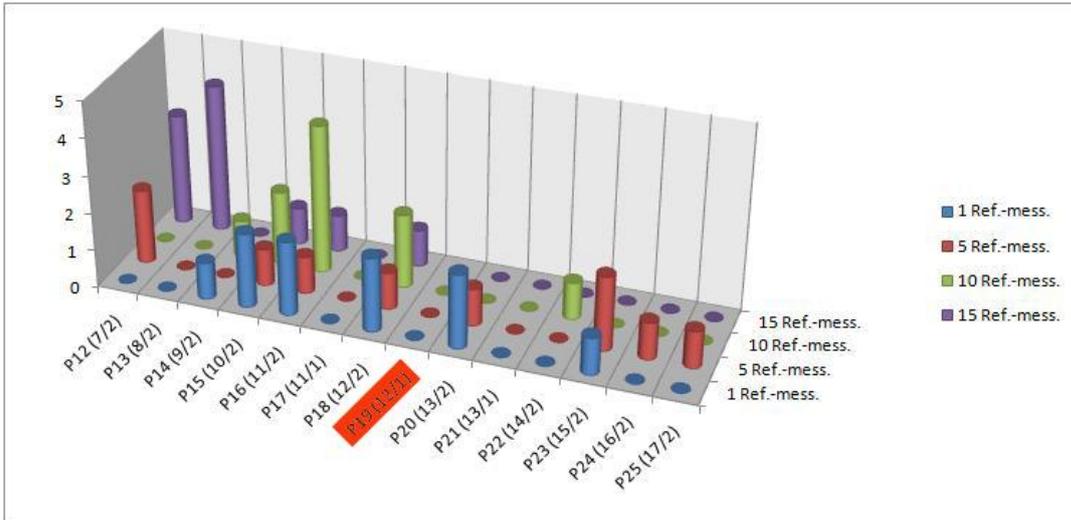


Abbildung 20: Häufigkeiten der berechneten Positionen an P19

Diese Position befindet sich in der Mitte der Testumgebung und es gibt Abweichungen nach rechts und nach links. Am Diagramm ist zu erkennen, dass die Punkte, die unmittelbar neben der befindlichen Position bei einer Referenzmessung am häufigsten getroffen wurden. Bei fünf Referenzmessungen war die Streuung der berechneten Positionen am größten und die Häufigkeiten waren fast gleichverteilt. Bei zehn Referenzmessungen nahm die Streuung wieder ab und P16 wurde am häufigsten getroffen. Bei 15 Referenzmessungen sank die Streuung auf fünf verschiedene Punkte, aber die Abweichung stieg. Der Radius der Abweichung beträgt 5,6 Meter im Durchschnitt.

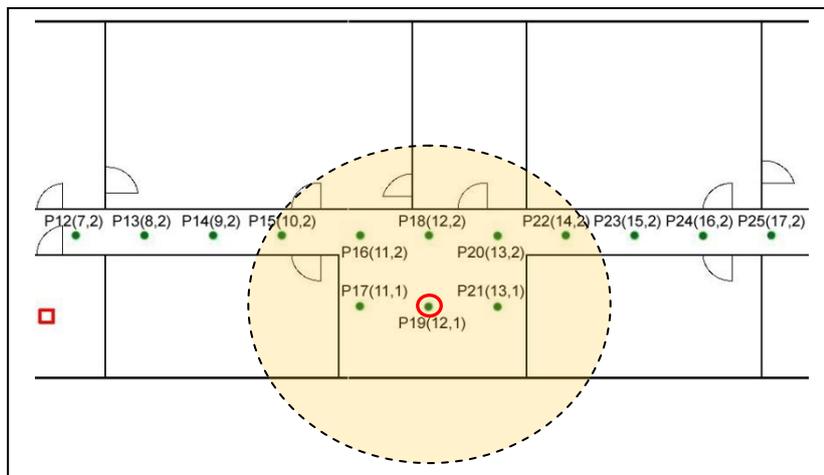


Abbildung 21: Bereich der durchschnittlichen Abweichung an P19

Position P31 (22/2)

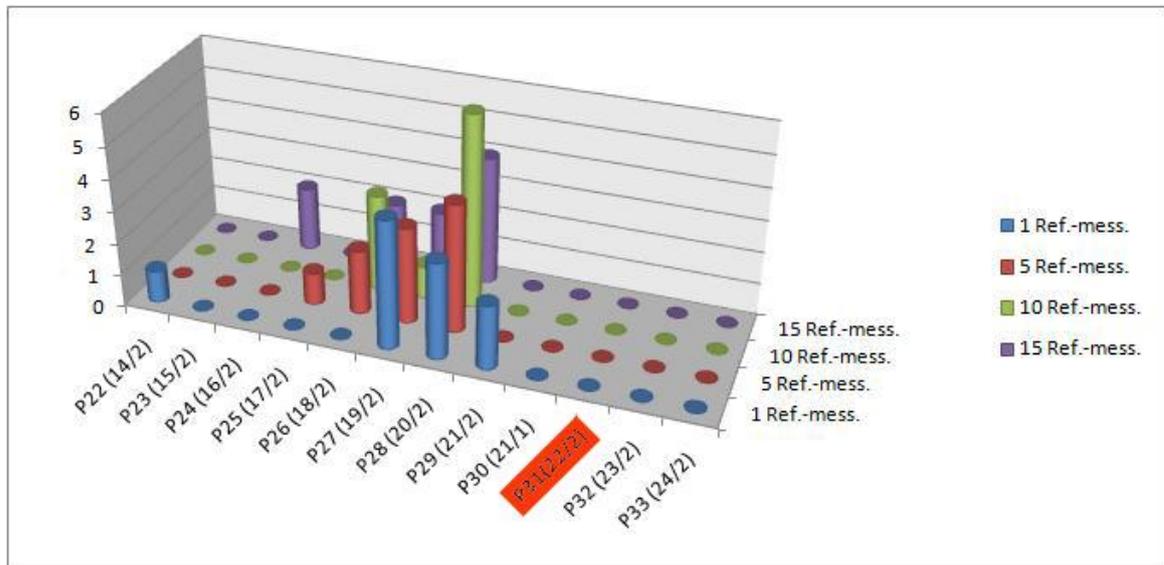


Abbildung 22: Häufigkeiten der berechneten Position an P31

Die Streuung mit vier verschiedenen Punkten ist an dieser Position recht niedrig bei allen Referenzmessungen. Bei 5, 10 und 15 Referenzmessungen wurde P28 am häufigsten getroffen, was die geringste Abweichung zur befindlichen Position darstellt. Mit lediglich zwei Treffern war P29 bei einer Referenzmessung näher.

Der Radius der durchschnittlichen Abweichung beträgt 6,4 Meter.

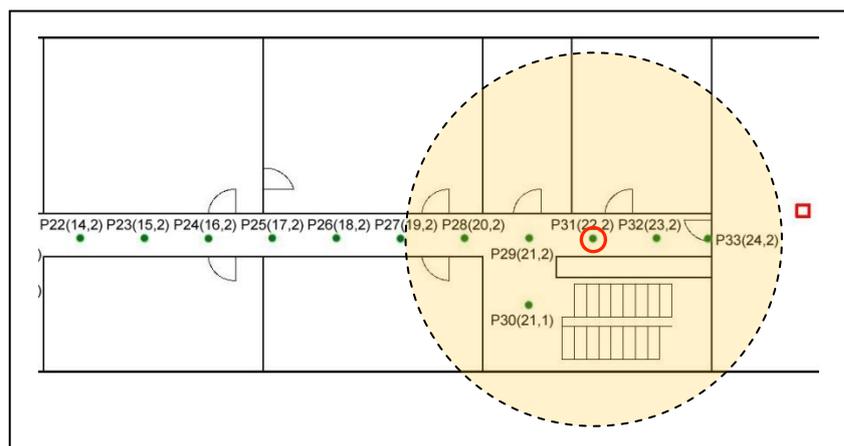


Abbildung 23: Bereich der durchschnittlichen Abweichung an P31

4.5 Schlussfolgerung

Die Testergebnisse haben gezeigt, dass mit fünf und zehn Referenzmessungen die Abweichungen im Durchschnitt am geringsten waren. Das bedeutet, dass die Anzahl der getroffenen Punkte, die am nächsten zur Messposition sind, am höchsten war. Jedoch lässt sich keine eindeutige Abhängigkeit zwischen Genauigkeit und Anzahl der Referenzmessungen ableiten. Es deutet sich lediglich eine Tendenz an, die die Annahme zulassen, zwischen fünf und zehn Referenzmessungen sei die Abweichung am geringsten. Stichproben an anderen Positionen haben ergeben, dass bei nur einer Referenzmessung die berechnete Position nahe der Tatsächlichen lag. Im ersten Moment scheint dies unlogisch zu sein, da theoretisch mit steigender Anzahl der Referenzmessungen, der durchschnittliche Signalstärke-Wert sich immer mehr dem Wert der nächsten Position annähern sollte. Praktisch führte es aber zum Gegenteil und die Abweichungen wurden größer. Die Vermutung liegt nahe, dass der Grund dafür in der längeren Zeitdauer der Messungen liegt. Bei 15 Referenzmessungen vergeht mehr Zeit und die Wahrscheinlichkeit für abweichende Signalstärken steigt aufgrund der Schwankungen. Bei einer Referenzmessung ist es eine Momentaufnahme der Signalstärken und diese weichen dann nur gering von den ermittelten Werten ab. Dies zeigt sich auch in der Streuung wieder. Bei einer Referenzmessung ist die Anzahl an berechneten Positionen allgemein niedriger, als bei mehreren Referenzmessungen.

4.6 Optimierungsmöglichkeiten

Die Feldtests haben gezeigt, dass eine Positionsbestimmung in Gebäuden mit relativ hoher Genauigkeit möglich ist, in Anbetracht der Tatsache, dass die Versuche mit einem mobilen Gerät mit verhältnismäßig schwacher Empfangsleistung durchgeführt worden. Um bessere Ergebnisse zu erzielen, müsste die Anordnung der APs geändert und die Radiomap angepasst werden.

Wie bereits im Kap. 4.4 hingewiesen wurde, ist die Anordnung der APs nicht für Positionsbestimmungen ausgelegt. Der Grundriss des Gebäudes entspricht einem Rechteck. Eine Verbesserungsmöglichkeit wäre, die Anzahl der APs auf vier zu erhöhen und sie dann in den äußeren Ecken des Gebäudes anzubringen. Somit könnte eine

bessere Ausstrahlung des Flurs und der Zimmer erreicht werden, was zu weniger Interferenzen der Feldstärke führt.

Die Radiomap ist Grundlage für die Positionsbestimmung. Sie gibt die Grenzen der räumlichen Ortung vor und bildet den Maßstab für die Genauigkeit der Positionsbestimmung. Die Genauigkeit hängt zum einen von der Skalierung der Messpunkte und zum anderen von der Konsistenz der Messdaten ab. Das bedeutet, dass sie die Signalausbreitung mit so wenigen Störeinflüssen wie möglich exakt wieder gibt. Viele Störeinflüsse sind umgebungsbedingt und lassen sich nicht vermeiden, wie die Reflexion und Abschirmung der Signale durch Wände und Glas. Variable Störeinflüsse sind zum Beispiel Personen und bewegliche Maschinen, wie Fahrstühle. Um nun genauere Ergebnisse zu bekommen müsste man mehrere Radiomaps anlegen. Eine, bei der sich keine Personen im Gebäude befinden und bei der auch kein Fahrstuhl aktiv ist und eine im Arbeitsalltag oder in stark frequentierten Besucherzeiten. Bei der Positionsbestimmung muss man dann die geeignete Radiomap auswählen, je nachdem wie es die Situation erfordert.

Bis zu einem gewissen Grad, sollte eine höhere Auflösung der Messpunkte ebenfalls eine Erhöhung der Genauigkeit mit sich bringen. Zum einen sollten die Abstände zwischen den Punkten verringert werden und zum anderen die geographische Ausbreitung der Punkte erhöht werden. Die Tests wurden bisher nur im Flur gemacht, wo entsprechende Messpunkte in der Radiomap existieren. Jedoch lässt sich diese mit Messpunkten in den einzelnen Räumen erweitern, wodurch eine gleichmäßigere Ausbreitung in X- und Y-Richtung gegeben ist, was die Art der Abweichung deutlicher macht. Bis jetzt wird lediglich eine kreisförmige Abweichung angenommen (Abb. 19, 21, 23), was nur ein theoretisches Modell darstellt.

5. Ausblicke

Mit dem Programm lässt sich die Signalausbreitung von Funkwellen, die im 2,4 GHz Frequenzband existieren, empirisch nachvollziehen. Die in einer XML Datei gespeicherten Messdaten, lassen sich exportieren und für andere Anwendungen nutzen.

5.1 weitere Anwendungsmöglichkeiten

Die Software WinProp ist ein Tool, mit dem sich Funkwellenausbreitungen, basierend auf verschiedenen Modellen, simulieren lassen. Eine Belegarbeit von Studenten der Hochschule Mittweida befasst sich mit der Untersuchung des Ausbreitungsverhaltens von WLAN Funkwellen in Gebäuden. Anhand von Simulationsmodellen wurde die Signalausbreitung der Access Points in der gleichen Testumgebung, wie in dieser Arbeit, durchgeführt. Der Simulation liegt das *Dominant-Path*-Modell zugrunde, was mit seinen Algorithmen das bis jetzt genaueste Simulationsmodell darstellt. (Eichelbaum, et al., 2009) Die Abbildung 24 zeigt das Resultat der Berechnung des Wellenverlaufs auf der Etage. Rot eingefärbte Bereiche signalisieren eine hohe Feldstärke, während blaue Bereiche eine niedrige Feldstärke darstellen.

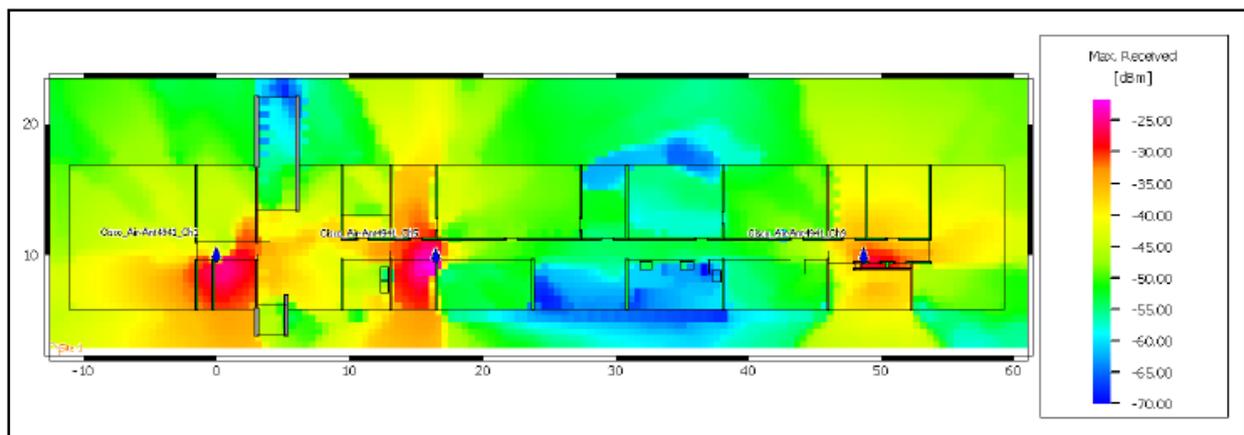


Abbildung 24: WinProp - Network-Berechnung mit Dominant-Path

Mit *Wireless Network Utility* kann nun überprüft werden, inwieweit die Software korrekte Ergebnisse liefert. So können Werte aus der Radiomap mit denen, die WinProp berechnet, verglichen werden.

Wireless Network Utility bildet die Grundlage für die im Kapitel 1.1 erwähnten Location Based Services. Eine Anwendung im öffentlichen Bereich für die Anzeige von positionsbezogenen Informationen auf dem Campusgelände wäre vorstellbar. Eine flächendeckende Verfügbarkeit von WLAN ist indoor, sowie outdoor gegeben. Dazu könnte für jedes Gebäude und deren Etagen eine Radiomap angelegt werden, auf der wichtige Räumlichkeiten, wie Vorlesungssäle, Infostände, Bürozimmer der Professoren oder das Sekretariat, markiert sind. Die Software könnte dann noch mit einer grafischen Anzeige der Position auf einer Karte erweitert werden, so dass der Nutzer sieht wo er sich im Gebäude befindet und wo sich die Räume von Interesse befinden.

In Kombination mit einem Sensornetzwerk, wie Zigbee, könnte die Positionsbestimmung noch genauer werden. Zigbee ist ein Funknetzstandard, der für Fernsteuerungs- und Sensoranwendungen eingesetzt wird. Zigbee basiert auf dem IEEE 802.15.4 Standard und nutzt die Frequenzen 868 Mhz, 915 MHz und 2,4 GHz zur Übertragung. Zigbee



Abbildung 26: Zigbee WLAN Modul

Funkmodule können zu einem Netzwerk zusammengeschlossen werden und miteinander kommunizieren. Unter bestimmten Voraussetzungen kann dieses Funknetz auch für die Positionsbestimmung eingesetzt werden. Man platziert mehrere Module auf der Etage des Gebäudes (s. Beispiel Abb. 26).

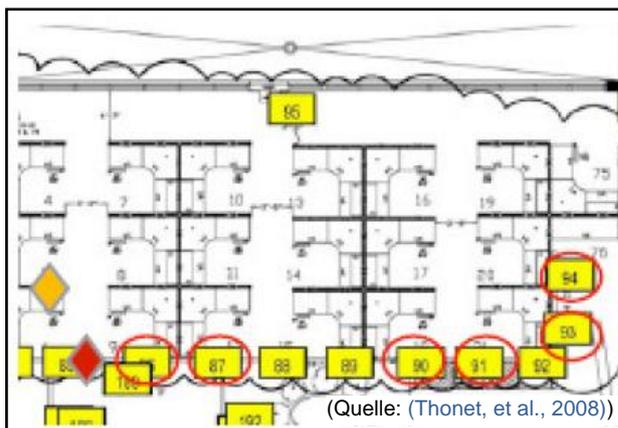


Abbildung 25: Netzwerk aus WLAN Modulen

Dann bräuchte man noch einen externen Adapter, der an den PDA über seine USB Schnittstelle angeschlossen wird, damit die Daten des 802.15.4 Protokoll Stacks auf das 802.11 Protokoll von WLAN umgewandelt wird. Die Software müsste noch für den Adapter entsprechend angepasst werden, aber die Funktionsweise bleibt die gleiche.

Aufgrund der kurzen Distanzen zu den einzelnen Modulen sind die Signalschwankungen wesentlich niedriger, was sich vermutlich auch in der geringeren Abweichung der berechneten Positionen widerspiegelt.

5.2 andere Programme

Das Prinzip der Positionsbestimmung in Gebäuden und die daraus entstehenden Anwendungsmöglichkeiten sind noch nicht weitverbreitet. Jedoch gibt es schon einige Firmen, die professionelle Programme entwickelt haben, um dieses Prinzip auch in im industriellen Bereich einzusetzen.

Magic Map

MagicMap ist eine reine Softwarelösung, die vom Fachbereich Informatik der Humboldt Universität zu Berlin entwickelt wurde. Die Software ist für den Einsatz in verschiedenen Funknetzen wie WLAN, GSM/UMTS, Bluetooth, GPS und Zigbee geeignet.

Durch Trilateration wird über die mittlere Signalstärke die Entfernung zwischen jeweils zwei Knoten (Access Points oder Peers) geschätzt. Mithilfe des JUNG Frameworks¹ können Knoten in einen Grafen eingefügt werden, ohne eine genaue Position anzugeben. Es wird lediglich die Entfernung zu anderen Knoten angegeben, und das Framework positioniert die Knoten automatisch so, dass alle Kanten eine minimale Abweichung der zugeteilten Entfernungen besitzen. (2009)

MagicMap-Ortungslösung in der Logistik wird für metergenaue Ortung der Waren genutzt. Zusammen mit IT-gestützter Koordination der Aufträge erlaubt es eine effiziente Lagerverwaltung. (Tannò, et al., 2007)

Horus

Horus wurde an der Universität von Maryland, USA entwickelt. Es benutzt ein propabilistisches Verfahren zur Positionsbestimmung. Für statistische Verfahren gibt es verschiedene Ansätze. Einer ist es, statt eines einzelnen Durchschnittswertes als Fingerprint für eine Position, für jede Position eine Verteilung der bisherigen Messwerte zu speichern. Um dies zu bewerkstelligen gibt es wiederum zwei Möglichkeiten. Entweder wird für jeden Messpunkt eine stetige Verteilung berechnet, oder zu jeder Position eine Menge von Messwerten mit einem jeweils zugehörigen Wahrscheinlichkeitswert gespeichert. Ein zweiter Ansatz ist, zu jeder Signalstärke für jeden Access Point eine Verteilung der

¹ JUNG – Java Universal Network/Graph Framework; Ist eine Softwarebibliothek, die eine allgemeine und erweiterbare Sprache für das Modellieren, die Analyse, und die Visualisierung von Daten zur Verfügung stellt, die als ein Graph oder Netzwerk vertreten werden können.

Wahrscheinlichkeit des Aufenthaltsortes über die ganze Karte zu speichern. (Großmann, 2006) Horus geht davon aus, dass die empfangenen Signalstärken eines Access Points an einem Ort Normalverteilt sind, d.h. die Verteilung entspricht der Gauß'schen Glockenform. Es wird dann ständig aus Stichproben der Mittelwert und die Verteilung berechnet und dazu die wahrscheinlichste Position der Radiomap ermittelt. Auf diese Weise ermöglicht das Horus System eine genauere Positionsbestimmung als andere Verfahren. Die durchschnittliche Abweichung liege in der Testumgebung bei etwa 2 Metern. (Youssef, et al.)

Ekahau

Ekahau Inc. ist der weltweit führende Anbieter von WLAN Ortungssystemen. Das Unternehmen vertreibt Ortungslösungen mit unterschiedlichen Oberflächen für verschiedene Geschäftszweige wie zum Beispiel das Gesundheitswesen oder die Industrie. Die angebotenen Lösungen ermöglichen beispielsweise Patienten-, Personal- oder auch Güterverfolgung.

Kernstück ist die serverseitige Softwarelösung *Ekahau Positioning Engine* (EPE), die ein bestehendes WLAN Netz zur Ortung von mobilen Endgeräten benutzt. Des Weiteren vertreibt das Unternehmen einen Ortungstag, den so genannten *T301-A Wi-Fi Asset Tag*. Hierbei handelt es sich um ein kleines WLAN fähiges Gerät, das an dem zu verfolgendem Gegenstand befestigt wird. Dessen Position kann dann über die Software in Echtzeit verfolgt werden. Außerdem bietet Ekahau mit den *Ekahau Positioning Client* (EClient) ein Freeware Programm an, das im Hintergrund auf einem Handy, Laptop oder PDA läuft und WLAN-fähige Geräte orten kann. (2009)

6. Anlagen

- Bedienungsanleitung des Messtools *Wireless Network Utility*.

Literaturverzeichnis

- (1) **Bosnasat** [Online]. - 2009. -
http://www.bosnasat.com/product_info.php?products_id=566.
- (2) **Circuit Design Inc** Circuit Design [Online]. - 2009. -
http://www.circuitdesign.de/products/tech_info/guide2.asp.
- (3) **Dröge Ruprecht, Nowak Peter und Weber Thorsten** Programmieren mit dem .NET Compact Framework - Anwendungsentwicklung mobiler Geräte [Buch]. - [s.l.] :
Microsoft Press Deutschland, 2006.
- (4) **Eichelbaum Sebastian, Böhle Ralf und Hartman Nicole** Modellierung, Simulation und Messung des Ausbreitungsverhaltens von WLAN-Wellen innerhalb von Gebäuden [Bericht]. - Hochschule Mittweida : [s.n.], 2009.
- (5) **Ekahau** [Online]. - 2009. - <http://www.ekahau.com/products/real-time-location-system/overview.html>.
- (6) **Großmann Uwe** WLAN Ortung mittels Signalstärkelinien [Bericht]. - 2006.
- (7) **Jehl Gunnar** www.ks.uni-freiburg.de [Online]. - 2007. - http://www.ks.uni-freiburg.de/download/papers/lbsSS07/DeterministicPosition/Presentation_Gunnar%20Jehl_Deterministic%20WLAN%20Position%20Determination.pdf.
- (8) **Krüpper Axel** Location-Based-Services [Buch]. - 2005.
- (9) **MagicMap** [Online]. - 2009. - <http://www2.informatik.hu-berlin.de/rok/MagicMap/index.htm>.
- (10) **Mansfeld Werner** Satellitenortung und Navigation [Buch]. - 1998.
- (11) **OpenNETCF** [Online]. - 2009. - <http://www.opennetcf.com>.
- (12) **Paramvir Bahl Venkata N. Padmanabhan** www.microsoft.com [Online]. - Microsoft, 2000. - <http://research.microsoft.com/en-us/people/padmanab/infocom2000.pdf>.
- (13) **Schwarz Tobias** Informationsarchiv [Online]. - 2. September 2008. - 2008. - <http://www.informationsarchiv.net/magazin/13>.
- (14) **Tannò Natalia und Tomasone Nino** Department of Informatics [Online]. - 2007. - http://diuf.unifr.ch/is/userfiles/file/studentprojects/reports/mBusiness_HS07_Positioning_with_Magic_Map_%28NinoTomasone_NataliaTanno%29.pdf.
- (15) **Thonet Gilles, Allard-Jacquin Patrick und Colle Pierre** Zigbee [Online]. - 2008. - <http://www.zigbee.org/LearnMore/WhitePapers/tabid/257/Default.aspx>.

Literaturverzeichnis

- (16) Wikipedia [Online]. - 2008. -
http://de.wikipedia.org/wiki/Wlan#Reichweite_und_Antennen.
- (17) Wikipedia [Online]. - 2008. - <http://de.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc-Netz>.
- (18) Wikipedia [Online]. - 2009. - http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Windows_Mobile.
- (19) **Youssef Moustafa und Agrawala Ashok** Department of Computer Science
[Online]. - http://www.cs.umd.edu/~moustafa/papers/horus_usenix.pdf.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt, und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift