



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Andreas Herglotz

Lokalisierung und Orientierung in Gebäuden -
IMAPS und Headmounted Display
im Einsatz als Museumsführer

Andreas Herglotz
Lokalisierung und Orientierung in Gebäuden -
IMAPS und Headmounted Display
im Einsatz als Museumsführer

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Technische Informatik
am Studiendepartment Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. rer. nat. Gunter Klemke
Zweitgutachter : Prof. Dr. rer. nat. Kai von Luck

Abgegeben am 16. Juli 2006

Andreas Herglotz

Thema der Bachelorarbeit

Lokalisierung und Orientierung in Gebäuden - IMAPS und Headmounted Display im Einsatz als Museumsführer

Stichworte

IMAPS, Cricket System, Augmented Reality, Lokalisierung im Raum, Orientierung im Raum, Headmounted Display, Wearable Computing, Ubiquitous Computing

Kurzzusammenfassung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit einer neuartigen Inszenierung des Museumsführers. Zum Einsatz kommt dabei ein selbst entwickeltes Positions- und Orientierungssystem namens IMAPS (Indoor Measurement And Positioning System), welches einen Schwerpunkt dieser Arbeit bildet. Daher werden am Anfang verschiedene Lokalisierungs- und Orientierungssysteme beschrieben und verglichen, die sowohl außerhalb als auch innerhalb von Gebäuden ihren Einsatz finden. Ebenfalls werden verschiedene Techniken der Positions- und Orientierungsbestimmung erläutert. In einem weiteren Schritt werden mögliche Anwendungsgebiete, die sich durch ein solches Orientierungssystem umsetzen lassen, dargestellt. Der Schwerpunkt der Arbeit bezieht sich auf das Szenario des Museumsführers. Als eine Hauptkomponente wurde das so genannte System IMAPS entwickelt. Zudem werden die anderen Komponenten, die für den Museumsführer grundlegend sind, designed und realisiert. Dabei wird ein kleiner Einblick in die Themen Augmented Reality und Headmounted Display gegeben, da sie für dieses konkrete Szenario als Museumsführer eine wichtige Rolle spielen. Das vorletzte Kapitel handelt von durchgeführten Tests, das letzte Kapitel befasst sich mit möglichen Verbesserungen des Prototyps.

Andreas Herglotz

Title of the paper

Indoor Location and Orientation - IMAPS and Headmounted Display used as a museum guide

Keywords

IMAPS, cricket system, augmented reality, locationbased services, indoor navigation and orientation, headmounted display, wearable computing, ubiquitous computing

Abstract

This thesis is about an innovative development of a museum guide. One main theme is to track the position and orientation of people or objects inside of buildings. First there are different positioning and orientation systems compared to each other. Also there are different possibilities of estimating the position and orientation described. The next step deals with some visions about possibilities how such systems can be used. Especially the scenario of a museum guide is explicitly described. Afterwards the specification of IMAPS and the other components are developed. The IMAPS hardware and software which is used for the orientation is also described here. The second to the last chapter is about testing the developed components. The last chapter deals with occurring problems and gives a perspective to following theses.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	10
1 Einleitung	12
1.1 Motivation	12
1.2 Ziel des Projektes	14
1.3 Aufbau der Bachelorarbeit	15
2 Lokalisierung	17
2.1 Lokalisierungstechniken	18
2.1.1 Entfernungsmessung	18
2.2 Vergleichskriterien	19
2.3 Outdoor Lokalisierung	21
2.3.1 Sextant	21
2.3.2 Decca	22
2.3.3 GPS	24
2.3.4 Galileo	25
2.4 Indoor Lokalisierung	27
2.4.1 Active Badge System	27
2.4.2 Smart Floor	28
2.4.3 RFID	29
2.4.4 MagicMap	30
2.4.5 Cricket System	32
2.5 Fazit	33
3 Orientierung	35
3.1 Anforderungen	35
3.2 Existierende Orientierungssysteme	36
3.2.1 Magnetkompass	36
3.2.2 Gyroskop/Kreiselkompass	37
3.2.3 Constellation	38
3.2.4 HiBall	38

3.2.5	Whisper	39
3.2.6	Kommerzielle Systeme	40
3.2.7	Cricket Compass	40
3.3	Fazit	42
4	Visionen	43
4.1	Augmented Reality	43
4.2	Interaktionsmöglichkeiten	44
4.3	Mögliche Szenarien	45
4.3.1	Navigation	45
4.3.2	Roboternavigation	45
4.3.3	Location Based Services	46
4.3.4	Collaborative Workplace	46
4.3.5	Spieleindustrie	47
4.4	Umgesetztes Szenario	48
4.4.1	Museumsführer	48
4.5	Fazit	49
5	Design und Realisierung	51
5.1	Anforderungen an die Hardware	51
5.1.1	Bestimmung der Orientierung	52
5.1.2	Visualisierung der Zusatzinformationen	53
5.1.3	Interaktionsmöglichkeiten	54
5.1.4	Akustische Unterstützung	54
5.1.5	Zentrale Datenhaltung	55
5.1.6	Computergestützter Helfer	55
5.2	Anforderungen an die Software	56
5.2.1	Beacon	57
5.2.2	Listener	57
5.2.3	Orientierungsberechnung	57
5.2.4	Visuelle Zusatzinformationen	58
5.2.5	Interaktionsmöglichkeiten	58
5.2.6	Akustische Unterstützung	58
5.2.7	Zentrale Datenhaltung	58
5.2.8	Computergestützter Helfer	59
5.3	Design der Hardware	59
5.3.1	Bestimmung der Position	60
5.3.2	Feststellung der Orientierung	61
5.3.3	Visualisierung der Zusatzinformationen	65
5.3.4	Interaktionsmöglichkeiten	65
5.3.5	Akustische Unterstützung	67

5.3.6	Zentrale Datenhaltung	67
5.3.7	Computergestützter Helfer	67
5.3.8	Unterbringung der Hardware	68
5.4	Design der Software	68
5.4.1	Beaconconfiguration	68
5.4.2	Positionsberechnung	70
5.4.3	Orientierungsdaten	70
5.4.4	Visualisierung auf dem Headmounted Display	70
5.4.5	Interaktionsmöglichkeiten	70
5.4.6	Akustische Unterstützung	71
5.4.7	Zentrale Datenhaltung	71
5.4.8	Configuration	71
5.4.9	Berechnungen	72
5.4.10	Controller	72
5.4.11	Simulation	72
5.4.12	Testdaten	72
5.5	Realisierung der Hardware	73
5.5.1	Grundplatine	73
5.5.2	Beacon	73
5.5.3	Listener	74
5.5.4	Orientierung	75
5.6	Realisierung der Software	75
5.6.1	Configuration	75
5.6.2	Vector	77
5.6.3	TestData	77
5.6.4	Simulation	77
5.6.5	HeadmountedDisplay	78
5.6.6	Controller	78
5.6.7	OrientationData	81
6	Evaluation	82
6.1	Software	82
6.1.1	Vector	82
6.1.2	Simulation	82
6.1.3	Controller	83
6.1.4	HeadmountedDisplay	83
6.1.5	OrientationData	83
6.2	Hardware	83
6.2.1	Positionsbestimmung	83
6.2.2	Orientierungsbestimmung	89

6.3	Resultat	91
7	Zusammenfassung	93
7.1	Zusammenfassung	93
7.2	Ausblick	94
	Literaturverzeichnis	96

Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht Sextant	22
2.2	Übersicht Decca	23
2.3	Übersicht GPS	25
2.4	Übersicht Galileo	26
2.5	Übersicht Active Badge System	28
2.6	Übersicht Smart Floor	29
2.7	Übersicht RFID	30
2.8	Übersicht MagicMap	32
2.9	Übersicht Cricket System	33
6.1	Listener senkrecht: V1 - $(x/y/z)=(0/80/177)$	85
6.2	Listener senkrecht: V2 - $(x/y/z)=(50/40/177)$	86
6.3	Listener senkrecht: V3 - $(x/y/z)=(50/80/177)$	86
6.4	Listener senkrecht: V4 - $(x/y/z)=(15/40/177)$	86
6.5	Listener senkrecht: V5 - $(x/y/z)=(70/30/177)$	87
6.6	Listener zentral: V1 - $(x/y/z)=(0/80/177)$	87
6.7	Listener zentral: V2 - $(x/y/z)=(50/40/177)$	87
6.8	Listener zentral: V3 - $(x/y/z)=(50/80/177)$	88
6.9	Listener zentral: V4 - $(x/y/z)=(15/40/177)$	88
6.10	Listener zentral: V5 - $(x/y/z)=(70/30/177)$	89

Abbildungsverzeichnis

1.1	Mark Weiser - Ubiquitous Computing	12
1.2	Schema des Museumsführers	14
2.1	Spiegelsextant um 1810	21
2.2	Seekarte mit Decca-Aufdruck	22
2.3	RX RACAL-Decca MNS 2000	22
2.4	GPS: Umlaufbahnen der eingesetzten Satelliten	24
2.5	Galileo Satellit, wie für zukünftigen Einsatz im Weltall vorgesehen	26
2.6	Active Badge: Installationsschema	27
2.7	Smart Floor: Bodenplatte (links), Kraftmesszelle (rechts)	28
2.8	Wherenet: VTMS - Vehicle Tracking and Management System	30
2.9	MagicMap Karte und Anzeige der Signalstärke	31
2.10	Cricket System: Beacon und Listener auf einer Platine	32
3.1	Herkömmlicher Magnetkompass	37
3.2	Sehr frühe Version des Gyroskops	37
3.3	Constellation: Schema	38
3.4	HiBall Sensor	38
3.5	HiBall Beacon Deckeninstallation	39
3.6	WHISPER System: am Körper werden Mikrophone und Lautsprecher befestigt.	39
3.7	Polhemus: Liberty System kann die Orientierung bis auf 15° genau feststellen	40
3.8	Cricket Compass als Prototyp	41
3.9	Blockschaltbild des Cricket Compass	41
5.1	Übersicht der Hardwarekomponenten	51
5.2	Übersicht über die Softwarekomponenten	57
5.3	Schema der Hardwarekomponenten	59
5.4	Schema zur Verdeutlichung der Entfernungsmessung	60
5.5	Blockschaltbild eines Listeners/Beacons	61
5.6	Bestimmung der Orientierung über Messung der Phasenverschiebung mit vier Ultraschallempfängern	62
5.7	Berechnung der Orientierung über CANBUS	63
5.8	Bestimmung der Orientierung mit nur zwei Listenern	64

5.9	Headmounted Display der Firma Micro Optical, in diesem Szenario im Einsatz	65
5.10	Use Case - Einrichtung des Systems durch einen Administrator	69
5.11	Use Case - Nutzung durch einen Besucher	69
5.12	IMAPS: Grundplatine steckbar mit Beacon	74
5.13	IMAPS: Grundplatine steckbar mit Listener	74
5.14	IMAPS: Orientierung - Prototyp	75
5.15	Darstellung der einzelnen Klassen in einem Diagramm	76
5.16	Grundlage zur Berechnung des Sichtfeldes	79
6.1	Versuchsaufbau - Bodenplatte (100cm x 80cm) mit diversen Testpositionen und drei Beacons	84

1 Einleitung

1.1 Motivation

Zwei interessante Aspekte legen den Grundstein für diese Arbeit. Zum Einen prägt der Begriff des „mobilen Computers“ den heutigen Alltag stärker denn je und wird dies sehr wahrscheinlich auch in Zukunft tun. Laut Mark Weiser¹, dem „Vater“ des Ubiquitous Computing, gibt es zwar eine Sättigung an PCs, nicht aber an allgegenwärtigen Computern. Diese Theorie hat sich bis heute bestätigt und wird sich auch in Zukunft noch weiter so fortsetzen (siehe Abbildung 1.1). Fast jeder Mensch ist mit mehreren mobilen Computern ausgestattet, beginnend mit EC-Karten über Handys, PDAs, etc. Dadurch werden neue Begriffe geprägt, wie Ubiquitous Computing, Pervasive Computing, Anytime/Anyplace Computing und Wearable Computing.

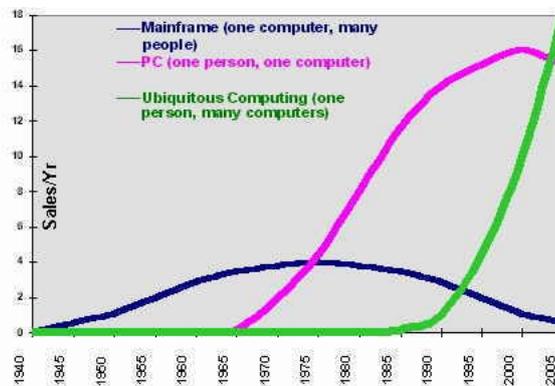


Abbildung 1.1: Mark Weiser - Ubiquitous Computing

Neue Einsatzmöglichkeiten bringen auch neue Anforderungen hervor. Diese Anforderungen sind zum Beispiel neue bzw. andere Kommunikationsmöglichkeiten mit diesen Geräten. Hierbei ist besonders wichtig, dass die Nutzer solcher Geräte auf bisherigen Komfort nicht verzichten wollen. Das Nutzen eines mobilen Computers soll nach Möglichkeit die Handlungsfreiheit nicht einschränken, sondern im Gegenteil eher erweitern. Derzeitige Möglichkeiten sind, weg von Tastatur und Mauseingaben, hin zu akustischer oder visueller

¹Quelle: [UbiComp - Mark Weiser \(2006\)](#)

Steuerung. Selbst an einer Steuerung über Gehirnströme² wird geforscht. Weiterhin sind Aspekte wie Größe, Gewicht und Unabhängigkeit vom Stromnetz dabei nicht zu vernachlässigen. Ziel ist es also, die Geräte am Körper tragen zu können, ohne dass der Nutzer dadurch gestört oder eingeschränkt wird. Dies ist mit heutiger Technik bereits möglich. Die Geräte sind mittlerweile klein genug, also tragbar, und die Steuerung wird auch immer benutzerfreundlicher.

Der zweite wichtige Aspekt ist die erweiterte Realität (Augmented Reality). Die Grundvoraussetzungen hierbei sind, möglichst kleine tragbare Computer, die lange nutzbar und möglichst wenig stör-/fehleranfällig sind. Da die Technik in diesem Bereich schon sehr weit fortgeschritten ist, stellt dies ein eher geringes Problem dar - natürlich immer mit der Option, das Gerät noch kompakter und leistungsfähiger zu machen. Daher ist die Augmented Reality deutlich auf dem Vormarsch.

Einige Beispielszenarien dazu lassen sich auf den Seiten von WEARIT@WORK³ finden. Koordiniert wird dies Projekt vom TZI⁴ (Technologie-Zentrum Informatik) der Universität Bremen.

An der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg hat Mirco Gerling⁵ ein kleines Beispielszenario prototypisch entwickelt. Hierbei handelt es sich um eine tragbare Weste, in der ein Subnotebook, ein Twiddler und diverse Kabel verschwinden. Auf dem Kopf wird ein Headmounted Display mit Kamera getragen. Die Augmented Reality wird erzeugt, indem die Kamera verschiedene Piktogramme erkennt, das heißt durch die Kamera wird festgestellt, wo die Person hinschaut. An den entsprechenden markierten Stellen werden verschiedene Objekte eingeblendet - zusätzlich zum real Sichtbaren. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die möglichst einfache Kommunikation mit diesem Prototyp gelegt, die bei dieser Art von Anwendung eine große Rolle spielt. Die Hände müssen zum Beispiel für andere Aufgaben freigehalten werden, aber trotzdem muss es möglich sein mit dem System interagieren zu können.

In dem angestrebten Szenario soll die Position nicht punktuell festgestellt werden, sondern kontinuierlich. Auch dazu gibt es schon Systeme, durch die man die Position und Orientierung feststellen kann.

Durch die Tatsache, dass die Geräte tragbar sind, die Nutzung einfacher geworden ist und auch eine Orientierungsfeststellung möglich ist, ist die Motivation gewachsen, dass dies in Kombination miteinander realisierbar ist und in einem konkreten Szenario umgesetzt werden kann.

²Quelle: [Wiki - Gehirnströme \(2006\)](#)

³Quelle: [WEARIT@WORK \(2006\)](#)

⁴Quelle: [TZI - Bremen \(2006\)](#)

⁵Quelle: [Gerling \(2006\)](#)

1.2 Ziel des Projektes

Das Ziel dieser Arbeit wird in verschiedene Teilziele gegliedert. Das Hauptziel ist es einen modernen Museumsführer zu entwickeln. Ein Hauptaugenmerk, um das Szenario umsetzen zu können, liegt auf einem unter anderem hierfür zu entwickelnden Indoor Positions- und Orientierungssystem. Dies funktioniert folgendermaßen:

Der Museumsbesucher wird mit einem tragbaren Computer ausgestattet, seinem Helfer. Dieser Computer kommuniziert mit einem Gerät, welches zur Feststellung der Position und der Orientierung des Besuchers dient. Durch das gewonnene Wissen über die Position und Orientierung des Besuchers ist die Möglichkeit geschaffen, das Blickfeld des Besuchers zu jedem Zeitpunkt zu kennen. Durch die gewonnene Erkenntnis macht es Sinn, den Besucher mit einem weiteren Gerät auszustatten, das der Anzeige von Zusatzinformationen dient. Dieses Gerät muss den Anforderungen des „Wearable Computing“ entsprechen. Dadurch soll der Besucher über aktuell in seinem Sichtfeld befindlichen Exponate informiert werden. Eine ausführlichere Beschreibung des umgesetzten Szenarios folgt im Kapitel 4 Visionen.

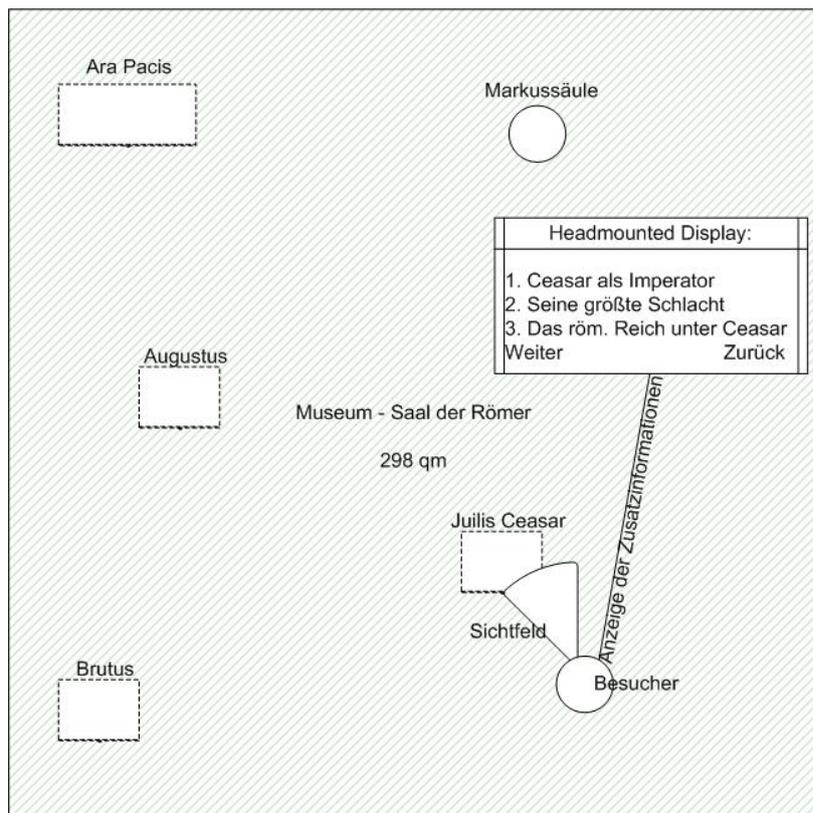


Abbildung 1.2: Schema des Museumsführers

Hierzu wird ein Indoor Positions- und Orientierungssystem mit dem Namen IMAPS (Indoor Measurement And Positioning System) entwickelt. Das Cricket System vom MIT (Massachusetts Institute of Technology) in den USA, als Teil des noch erheblich größeren Projektes Oxygen, dient als grobe Vorlage. Ziel bei der Entwicklung dieses Systems ist es, die Position bis auf wenige Zentimeter genau festzustellen.

Auf dieser Grundlage wird ein Kompass entwickelt, der zusätzlich die Orientierung eines Besuchers oder Objektes feststellen kann. Es wird angestrebt bei der Bestimmung der Orientierung auf wenige Grad genau zu sein. Somit ist es möglich das Blickfeld des Besuchers ziemlich genau bestimmen zu können. Das Museum wird mit virtuellen Tags versehen. So kann überprüft werden, ob sich ein Exponat im Sichtfeld des Besuchers befindet oder nicht. Dementsprechend können Zusatzinformationen eingeblendet werden. Die eigentliche Realität wird also erweitert. Diese Zusatzinformationen reichen von einfachem Text bis hin zu Animationen oder kleinen Filmen.

Ebenfalls ist es wünschenswert in diesem Szenario Audiounterstützung als zusätzliche oder redundante Informationsquelle bereit zu stellen. Der letzte wichtige Bereich, der zu diesem Szenario gehört ist, dass Interaktionen mit dem System möglich gemacht werden.

In diesem Szenario ist es vorgesehen, dass der Besucher die Möglichkeit hat sich „frei“ durch das Museum zu bewegen. Bei der Positionsbestimmung ist es mit Absicht nicht vorgesehen, dass von einem zentralen System aus alle Besucher überwacht werden können. Lediglich die Helfer selbst wissen, wo sich der entsprechende Besucher befindet. Damit wird dem System ein weiterer Einsatzbereich eröffnet, nämlich der Einsatz in Firmen.

1.3 Aufbau der Bachelorarbeit

Diese Arbeit befasst sich in Kapitel zwei mit verschiedenen Möglichkeiten der Positionsbestimmung. In einem nächsten Schritt werden Vergleichskriterien erstellt, anhand derer die Systeme verglichen werden. Daraufhin werden verschiedene Entwicklungen von Outdoor- sowie von Indoorlokalisierungssystemen dargestellt. Es wird jeweils in einer Tabelle ein kurzer Überblick über das System gegeben.

Kapitel drei erläutert den Bereich der Orientierung und stellt maximale Anforderungen auf, die ein bestmögliches Orientierungssystem charakterisieren sollen. Danach werden wie in Kapitel zwei existierende Systeme, die die Orientierung bestimmen können, verglichen.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit den Visionen, deren Umsetzung durch das hier entwickelte System IMAPS möglich ist. Zusätzlich werden noch die Themen Augmented Reality und Interaktionsmöglichkeiten angesprochen. Neben den Visionen wird auch das in dieser Bachelorarbeit umgesetzte Szenario ausführlich besprochen.

Im folgenden fünften Kapitel werden die Anforderungen an das Szenario des Museumsführers sowohl auf die Hardware als auch auf die Software bezogen. Aufbauend auf die Anforderungen wird ein Design erstellt, ebenfalls für die Hardware und Software. Der letzte Teil des Kapitels beschäftigt sich mit den tatsächlich realisierten Komponenten des Gesamtsystems.

Das Kapitel sechs, welches sich mit der Evaluation beschäftigt, zeigt auf, was durch die Simulation und die Hardwaretests zum jetzigen Zeitpunkt erreicht werden kann. Es wird erst der Versuchsaufbau und die Durchführung zur Bestimmung der Positionsgenauigkeit beschrieben, dann werden die Ergebnisse präsentiert und zuletzt ein Resümee gezogen. Der gleiche Aufbau folgt dann noch einmal für die Bestimmung der Orientierungsgenauigkeit. Zum Schluss wird ein Resultat über das ganze Kapitel festgestellt.

Abschließend dokumentiert eine Zusammenfassung im siebten Kapitel die Erkenntnisse der Arbeit. Zudem wird ein kurzer Überblick über Schwierigkeiten und zukünftige mögliche Verbesserungen gegeben, die bei einer Weiterentwicklung berücksichtigt werden sollen.

2 Lokalisierung

Ein Lokalisierungssystem liefert die aktuelle Position eines Objektes innerhalb eines Koordinatensystems. Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, die Position eines Objektes zu bestimmen.¹

- **Lokalisierung über Landmarken.** In diesem Ansatz besteht das Koordinatensystem aus einer Menge von Landmarken bzw. Bezugspunkten, deren Koordinaten bekannt sind. Diese Bezugspunkte können entweder fix sein oder sich innerhalb des Koordinatensystems bewegen (vgl. GPS). Bewegen sich diese Bezugspunkte, müssen sie einer bestimmten Flugbahn (Trajektorie) folgen, damit ihre Koordinaten an einem gewissen Punkt bestimmt werden können. Das heißt, dass zu jedem Zeitpunkt der Messung angenommen wird, dass die Bezugspunkte fix sind. Man nimmt zum Beispiel drei Bezugspunkte A, B und C in einem 2D-Koordinatensystem an und die zugehörigen gemessenen Entfernungen d_1 , d_2 und d_3 zu einem Objekt O. Nun ist es möglich, wenn die Koordinaten der Bezugspunkte zum Zeitpunkt der Messung bekannt sind, die Koordinaten des Objektes O eindeutig zu bestimmen, indem das zugehörige Gleichungssystem gelöst wird.

Als Landmarken lassen sich auch Grenzen nutzen. Sie werden eingesetzt, um verschiedene physikalische Räume voneinander abzugrenzen beziehungsweise zu unterscheiden. Diese Grenzen sind definiert als Geraden oder Kurven im Koordinatensystem. Beispiele hierfür sind die Wände von Räumen in einem Gebäude oder Grenzen zwischen verschiedenen Staaten auf Landkarten.

- **Lokalisierung über Koppelnavigation.** Bei Koppelnavigation wird die Position eines Objektes in Abhängigkeit zu einem Startpunkt und unter Verfolgung der Bewegungen des Objektes bestimmt. Beginnt beispielsweise ein Objekt O sich von einem Punkt P entlang einer Richtung θ mit einer konstanten Geschwindigkeit v fortzubewegen, lassen sich die Koordinaten seiner Position zu einer bestimmten Zeit t berechnen ($vt \cos \theta$, $vt \sin \theta$). Koppelnavigation beruht auf der Möglichkeit die Bewegung des Objektes exakt zu messen. Da für die Positionsbestimmung die Integration über die Zeit von gemessenen Komponenten wie die Geschwindigkeit und die Beschleunigung nötig ist, entsteht das Problem der Akkumulation von gemessenen Fehlern.

¹Quelle: [Priyantha \(2005\)](#)

Auf Grund dieses Mankos setzen die meisten Lokalisierungssysteme auf Landmarken oder eine Kombination aus beidem.

Für den Rest des Kapitels wird sich auf Lokalisierungssysteme begrenzt, die landmarkenbasiert sind.

2.1 Lokalisierungstechniken

Landmarkenbasierte Systeme benötigen einen Weg, durch den die Position eines Objektes in Abhängigkeit von der Umgebung zu den Bezugspunkten bestimmt werden kann. Die folgenden Ansätze können benutzt werden, um die Position eines Objektes zu bestimmen.

- **Entfernung und Winkel:** Dies ist die wohl meistverbreitete Technik zur Bestimmung der Position. Über das Verfahren der Triangulation wird mit Hilfe der Messung von Entfernung und Winkel eines Objektes zu seinem Bezugspunkt die Position berechnet. Das bekannteste System, welches diese Bestimmungsmöglichkeit nutzt, ist GPS.
- **Signalstärke:** In diesem geschieht die Feststellung der Position näherungsweise über die Bezugspunkte, die Signale aussenden. Zumeist sind das RF-Signale. Die Position eines Objektes wird bestimmt, indem die Signalstärke gemessen wird. Hierbei besteht die Möglichkeit, dass nicht nur von einem Bezugspunkt, sondern von mehreren Signalen zum Auswerten empfangen werden. Es gibt eine Vielzahl von Systemen, die diese Technik verwenden. Ein sehr aktuelles System, welches anhand der Signalstärke die Position bestimmt, ist MagicMap.
- **Sichtbarkeit:** Bei dieser Näherungsmessung geht es darum, dass ein Objekt mit einem Referenzpunkt verknüpft wird. Die Position kann nur festgestellt werden, wenn das Objekt ein Signal von dem Referenzpunkt empfängt. Diese Technik macht sich Active Badge zunutze oder auch der Museumsführer über RFID. Bei diesem weiß man immer, wo man sich befindet, wenn man in Reichweite eines Exponates ist, sonst kann man keine konkrete Aussage über die Position treffen.

2.1.1 Entfernungsmessung

Die Entfernungsmessung ist eine sehr häufig angewandte Technik zur Bestimmung der Position. Es gibt zwei besonders häufig eingesetzte Methoden die Entfernung eines Objektes zu einem Bezugspunkt zu messen:

- **Time Of Flight:** Bei dieser Technik wird die Zeit t gemessen, die das Signal benötigt von einem Punkt zum anderen zu gelangen (vom Bezugspunkt zum Objekt). Bezeichnet man die Geschwindigkeit des Signals mit v , so kann man die Entfernung d durch folgende Formel berechnen:

$$d = v * t$$

Dieses Verfahren wird beispielsweise bei GPS angewendet. Dabei wird die Zeit vom Absenden des RF-Signals vom Satelliten bis zur Ankunft des Signals beim Empfänger gemessen.

- **Time Difference Of Arrival:** Diese Technik beruht, wie die oben genannte darauf, die Dauer des Signals, von einem Punkt zum anderen zu messen. Der Unterschied ist der, dass diesmal gleichzeitig zwei Signale mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausgesandt werden. Das bedeutet, dass die Signale zu unterschiedlichen Zeitpunkten beim Empfänger eintreffen. Bezeichnet man die Geschwindigkeit des schnelleren Signals mit v_a und die des langsameren Signals mit v_b und den Zeitunterschied bis beide den Empfänger erreicht haben mit t , lässt sich die Entfernung durch folgende Formel berechnen:

$$d = \frac{t}{\frac{1}{v_a} - \frac{1}{v_b}}$$

Zum Beispiel nutzt das Cricket System diese Technik und IMAPS wird diese Technik ebenfalls nutzen.

2.2 Vergleichskriterien

Im Folgenden wird ein Überblick über bereits bestehende Lokalisierungssysteme gegeben. Da diese Systeme auf verschiedenen Technologien beruhen und für verschiedene Einsatzgebiete entwickelt wurden, werden in einem ersten Schritt die Kriterien erläutert, die für den Vergleich herangezogen werden. Darauf folgen kurze Beschreibungen der verschiedenen Lokalisierungssysteme, jeweils mit einer tabellarischen Übersicht zu den Eigenheiten.

Technologie

Es werden immer wieder neue Lokalisierungssysteme entwickelt. Ein Grund dafür ist nicht zuletzt, dass immer wieder neue Technologien auf den Markt kommen. In der Hoffnung weitere Fortschritte in der Entwicklung von Lokalisierungssystemen zu machen, werden diese neuen Technologien eingesetzt. So besteht mit den verschiedenen Technologien eine Möglichkeit die Lokalisierungssysteme zu unterscheiden.

Einsatzgebiet

Die verschiedenen Lokalisierungssysteme wurden zumeist für verschiedene spezielle Zwecke entwickelt. Daher ist ein wichtiges Unterscheidungskriterium das Einsatzgebiet. Es wird im Folgenden zwischen Indoor und Outdoor als Einsatzgebiet unterschieden. Dies geschieht aus zwei Gründen: Zum einen funktionieren die Outdoor-Lokalisierungssysteme nicht in Gebäuden, da die Signalstärke nicht hoch genug ist, um sich mit den Empfängern durch Mauerwerk zu verbinden. Zum anderen gibt es für Indoor-Lokalisierungssysteme im Freien meist keine Möglichkeit die benötigten Komponenten (Infrastruktur) zu befestigen.

Orientierung

Es gibt Lokalisierungssysteme, die die Feststellung der Orientierung ermöglichen. Für einige Anwendungen ist dies sehr sinnvoll. Ein Beispiel dafür ist das Szenario des Museumsführers (vgl. Kap. 1.2). Bewegt man sich in einem Museum durch einen Gang, in dem auf beiden Seiten Exponate ausgestellt sind, ist es wichtig die Orientierung zu kennen, damit nicht falsche Zusatzinformationen zu einem Exponat gegeben werden.

Genauigkeit

Die Genauigkeit bei der Positionsbestimmung ist ein ganz elementarer Teil. Wird die Position je nach Verwendungszweck zu ungenau gemessen, ist gegebenenfalls jede weitere Verarbeitung der Position nicht mehr sinnvoll.

Zuverlässigkeit

Mit der Zuverlässigkeit verhält es sich das ganz ähnlich wie mit der Genauigkeit. Ist die Zuverlässigkeit, dass die Werte korrekt sind, zu gering, kann man nicht davon ausgehen, dass die gemessene Position die tatsächliche Position ist. Darauf aufbauende Anwendungen liefern dann völlig falsche Informationen.

Skalierbarkeit

Skalierbarkeit bezieht sich auf die Komplexität des Aufbaus in direktem Zusammenhang mit dem nutzbaren Gebiet und auf die Performance bezüglich der Anzahl der Nutzer. So gibt es Systeme, wie GPS, die mit relativ wenigen Satelliten Lokalisierung auf der ganzen Welt möglich machen. Gleichzeitig wird eine gute Performance in Abhängigkeit von der Anzahl der Nutzer geboten, da GPS mit einer dezentralen Datenverarbeitung gekoppelt ist.

Datenhaltung ²

Die Art der Datenhaltung ist auf Grund verschiedener Aspekte wichtig. Sie hängt sehr eng mit der Skalierbarkeit zusammen. Bei der Datenhaltung geht es darum, wo sich die Hauptlast befindet. Werden die Daten alle auf einem Server gesammelt und ausgewertet, so spricht man von einer zentralen Datenhaltung. Werden die Daten nur von jedem Gerät separat empfangen und umgerechnet, spricht man von einer dezentralen Datenhaltung. Grundsätzlich ist auch eine verteilte Datenhaltung denkbar.

2.3 Outdoor Lokalisierung

Nachfolgend werden historische und aktuelle Methoden zur Positionsbestimmung im Freien beschrieben.

2.3.1 Sextant³



Abbildung 2.1: Spiegelsextant um 1810

Ein Sextant ist ein optisches Messgerät, durch welches sich der Winkel zwischen den Blickrichtungen zu relativ weit entfernten Objekten beziehungsweise zum Horizont messen lässt. Das erste Konzept eines Spiegelsextanten stammt von Isaac Newton aus dem Jahre 1700. Dies Gerät wurde entwickelt, um eine möglichst genaue Positionsbestimmung auf See möglich zu machen. Das Konzept wurde soweit verbessert, dass eine Genauigkeit von etwa einer Bogenminute erreicht werden konnte. Eine Bogenminute entspricht ca. einer Seemeile.

²Nicht zu übersehen ist der Punkt der Datenhaltung aus der Sicht der Datenschützer. Soll das Lokalisierungssystem innerhalb von Firmen eingesetzt werden, um die Arbeit zu erleichtern, wird es enorme Probleme mit dem Betriebsrat geben, wenn es möglich ist durch diese Technik die Mitarbeiter zu überwachen. Es entsteht ein ähnliches Problem wie bei der Kameraüberwachung. Hier könnte es dann von Vorteil sein, wenn nur jedes Ortungsgerät selbst weiß, wo es sich befindet und eine Überprüfung von außen nicht möglich ist.

³Quelle: [Wiki - Sextant \(2006\)](#)

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	Winkelmessung
Einsatzgebiet	bei Schiffen auf dem Meer
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	eine Seemeile
Zuverlässigkeit	gut
Skalierbarkeit	gut
Datenhaltung	keine

Tabelle 2.1: Übersicht Sextant

2.3.2 Decca⁴

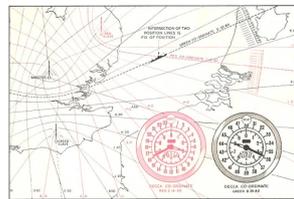


Abbildung 2.2: Seekarte mit Decca-Aufdruck



Abbildung 2.3: RX RACAL-Decca MNS 2000

Decca ist das erste Funknavigationsverfahren, welches bei der Seefahrt eingesetzt wurde. Es kam während des zweiten Weltkrieges das erste Mal zum Einsatz. Dieses System beruht auf dem Hyperbelprinzip und hat eine effektive Reichweite von 250 bis 400 sm.

Eine Decca-Senderkette besteht aus einem Hauptsender sowie drei Nebensendern, die unmoduliert (Ao) und ununterbrochen auf vier Frequenzen im Langwellenbereich zwischen 70 und 130 kHz arbeiten. Die Nebensender haben die Bezeichnungen „Slave red“, „Slave green“ und „Slave purple“. Zur Standortbestimmung wird jeweils die Phasendifferenz zwischen dem Hauptsender und einem Nebensender gemessen. Da der Ort aller Punkte, die von zwei festen Punkten (Standort des Haupt- und eines Nebensenders) gleiche

⁴Quelle: [Funknavigation - Decca \(2006\)](#)

Abstandsdifferenz aufweisen (z.B. Phasendifferenz), eine Hyperbel ist, kann aus einer einzigen Phasendifferenz ermittelt werden, auf welcher Hyperbel man sich befindet (Standortlinie). Der Schnittpunkt dieser Hyperbel mit einer zweiten, die durch Phasendifferenzmessung zwischen einem Haupt- und einem weiteren Nebensender gewonnen wird, gibt den genauen Standort an. Da eine Phasendifferenz nur zwischen gleichen Frequenzen gemessen werden kann, müssten eigentlich von allen Sendern gleiche Frequenzen ausgestrahlt werden. Es ist jedoch nicht möglich, mehrere Sender mit gleicher Frequenz zu empfangen und zur Messung der Phasendifferenz zu trennen. Daher werden verschiedene Frequenzen gesendet, die ganzzahlige Vielfache einer gemeinsamen Grundfrequenz und phasensynchron sind. Im Bordgerät werden die Frequenzen mit vier Empfangskanälen aufgenommen und über Mischer auf die gemeinsame Grundfrequenz umgesetzt. Um große Bedeckungsbereiche zu erzielen, müssen die Sender räumlich einige hundert Kilometer voneinander entfernt stehen. Hierdurch tritt eine Mehrdeutigkeit der Anzeige auf. Es ist daher eine Grobanzeige erforderlich, die die Mehrdeutigkeit herabsetzt. Diese Grobortung wird dadurch erreicht, dass zum Phasenvergleich die Grundfrequenz f_0 benutzt wird. f_0 wird - wie oben beschrieben - durch Empfang gleichzeitig von einem Sender ausgestrahlter Frequenzen, die sich um f_0 unterscheiden, erzielt (z.B. $5f_0$ und $6f_0$ oder $8f_0$ und $9f_0$). Durch die Grobanzeige wird die Mehrdeutigkeit auf etwa 20% verringert. Dieser Wert reicht aus, wenn der Standort des Schiffes ungefähr bekannt ist. Die Anzeige der Phasendifferenz (f_0) erfolgt durch einen Grob-Decometer (Sektoranzeiger). Des Weiteren wird durch Phasenvergleich zweier $6f_0$ -Frequenzen ein mittelgroßes Hyperbelnetz erzeugt. Die Auswertung dieser Phasendifferenzmessung erfolgt durch den so genannten Streifenzeiger, der zusammen mit dem Sektorzeiger in einem einzigen Instrument vereint ist.

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	Funknavigation (Hyperbelprinzip)
Einsatzgebiet	bei Schiffen auf dem Meer
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	tagsüber bei ca. 100m
Zuverlässigkeit	gut
Skalierbarkeit	gut
Datenhaltung	externe Datenhaltung

Tabelle 2.2: Übersicht Decca

2.3.3 GPS⁵

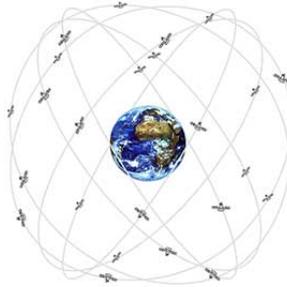


Abbildung 2.4: GPS: Umlaufbahnen der eingesetzten Satelliten

GPS (Global Positioning System) ist ein satellitengestütztes Lokalisierungssystem. Das System besteht aus drei grundlegenden Segmenten - dem Weltraumsegment bestehend aus mindestens 24 Satelliten, dem Kontrollsegment (Kontrollstationen am Boden) und dem Benutzersegment (GPS-Empfänger).

Zur Positionsbestimmung wird die Dauer der Signallaufzeit vom Sender zum Empfänger gemessen. Aus dieser kann dann die Entfernung zu dem Satelliten berechnet werden. Besteht nun Kontakt zu mehreren Satelliten, kann die Position mittels Trilateration bestimmt werden. Es werden minimal drei Entfernungen zu verschiedenen Satelliten benötigt. Diese Positionsbestimmung nennt man dann „2D position fix“ (zweidimensionale Positionsbestimmung), weil angenommen werden muss, dass man sich direkt auf der Erdoberfläche (Erdgeoid) befindet. Diese Annahme ist nötig, da sonst die mathematische Gleichung nicht eindeutig lösbar ist, wenn der Rechnung nicht ein zweidimensionales Koordinatensystem zu Grunde liegt. Das bedeutet aber auch, dass es zu Ungenauigkeiten bezüglich der Positionsbestimmung kommen kann. Stehen jedoch vier oder mehr Satelliten der Positionsbestimmung zur Verfügung kann die absolute Position im Raum, bzw. die Höhe über der Erdoberfläche bestimmt werden. Diese Berechnung nennt sich „3D position fix“.

Navigationssysteme nutzen diese Technik, indem die Position ständig neu berechnet wird. Daraus kann man dann Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung bestimmen.

Das System wurde erst am 17. Juli 1995 offiziell in Betrieb genommen wurde, obwohl es schon lange vorher funktionsfähig war.

Vorteil dieser Technologie ist, dass sie auf der ganzen Welt und vor allem, dass sie für jedermann einsetzbar ist, da die Empfänger (GPS-Mäuse) mittlerweile günstig in jedem Fachhandel zu erwerben sind. Sogar in Supermärkten verschiedener großer Ketten werden diese Geräte in einem Paket mit Navigationssoftware zu erschwinglichen Preisen immer

⁵Quelle: [GPS \(2006\)](#)

wieder angeboten.

Ein entscheidender Nachteil ist, dass das System mit dem Projektnamen NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging) eigentlich vom US-Verteidigungsministerium für militärische Zwecke entwickelt wurde. So haben die Amerikaner in Krisenfällen die Möglichkeit, mittels einer Technik, genannt „Selective Availability“, die Genauigkeit des Systems für jeden nicht autorisierten User zu reduzieren. Die Störungen sind so stark, dass die Genauigkeit von normalerweise wenigen Metern auf ca. 100m reduziert wird. Seit dem 01.05.2000 allerdings wurde diese Störtechnik komplett abgeschaltet.

Die mit Atomuhren ausgestatteten Satelliten laufen alle mit exakt der selben Zeit. Die Empfänger hingegen sind lediglich mit Quarzuhren ausgestattet, da Atomuhren viel zu teuer sind. Hierdurch entstehende Ungenauigkeiten führen zu der auf wenige Meter begrenzten Bestimmung. Mit erheblich teureren Empfängergeräten ist eine Genauigkeitszunahme von unter einem Meter zu erreichen.

Ein kurzer Ausblick soll noch auf das so genannte DGPS (Differential GPS) gegeben werden. Diese Technik ermöglicht eine genauere Positionsbestimmung als GPS, teilweise auf bis unter einem Meter. Hierzu ist ein weiterer stationärer Empfänger, dessen Position bekannt ist, nötig, der die Messungen des ersten GPS-Empfängers korrigieren kann. Diese stationären Empfänger sind allerdings nicht sehr weit verbreitet. Hauptsächlich findet man sie in Küstennähe. Sie werden dort zur genaueren Navigation der Schiffe eingesetzt.

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	24 Satelliten, 11 Bodenstationen
Einsatzgebiet	weltweit, aber nur Outdoor
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	< 5 Meter
Zuverlässigkeit	bei 95 - 99 Prozent
Skalierbarkeit	gut
Datenhaltung	externe Datenhaltung

Tabelle 2.3: Übersicht GPS

2.3.4 Galileo⁶

Galileo wird ein europäisches Navigationssystem sein, das nach dem gleichen Prinzip wie GPS funktioniert. Es soll sogar kompatibel zu GPS sein, allerdings nicht zu derzeit im Handel befindlichen GPS-Empfängern. Der wohl größte Unterschied wird sein, dass Galileo nicht vom Militär, sondern von zivilen Institutionen entwickelt wird. Ab 2008 beginnt die erste Validierungsphase, in der die ersten vier Satelliten ins All geschickt werden. Dann sollen nach

⁶Quelle: [Galileo \(2006\)](#)



Abbildung 2.5: Galileo Satellit, wie für zukünftigen Einsatz im Weltall vorgesehen

und nach die Dienste zur Verfügung gestellt werden.

Galileo wird verschiedene Dienste zur Verfügung stellen.

Ein Dienst wird der „Safety-of-Life-Service“ sein. Dessen Besonderheit liegt darin, rechtzeitige Warnungen im Falle von Ungenauigkeiten oder Fehlern zu geben, zum Beispiel für den Flugverkehr.

Es soll auch einen kommerziellen Dienst geben, der dann verschlüsselte Signale zur Verfügung stellt, um zum Beispiel die Genauigkeit zu erhöhen. Die Genauigkeit soll bis auf 10cm ansteigen.

Ein weiterer Dienst wird für die hoheitlichen Aufgaben von Polizei, Militär, o.ä. verschlüsselt zur Verfügung gestellt. Hierfür wird wieder ein besonderes Maß an Genauigkeit und Zuverlässigkeit zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich soll es noch einen globalen Such- und Rettungsservice geben, bei dem Schiffe, Flugzeuge und Personen mit Notsendern ausgestattet werden können. Diese Signale sollen dann direkt an nationale Rettungszentren weitergeleitet werden können. Dadurch wird eine Alarmierung in beinahe Echtzeit möglich. Ebenfalls soll es möglich sein eine Antwort zum Notsender zurück zu schicken.

Aber es wird auch einen allgemeinen Dienst für Jedermann geben, bei dem die Signale nicht verschlüsselt sind und die Genauigkeit nur bis zu etwa vier Metern reicht - vergleichbar mit bereits bestehenden Systemen wie GPS.

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	24 Satelliten, 5 Bodenstationen
Einsatzgebiet	weltweit, aber nur Outdoor
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	unterschiedlich, siehe Text
Zuverlässigkeit	vom Dienst abhängig
Skalierbarkeit	gut
Datenhaltung	externe Datenhaltung

Tabelle 2.4: Übersicht Galileo

2.4 Indoor Lokalisierung

In diesem Unterkapitel werden einige Indoornavigationssysteme dargestellt. Bei diesen besteht ebenfalls die Möglichkeit sie anhand von den jeweiligen Tabellen zu vergleichen.

2.4.1 Active Badge System⁷

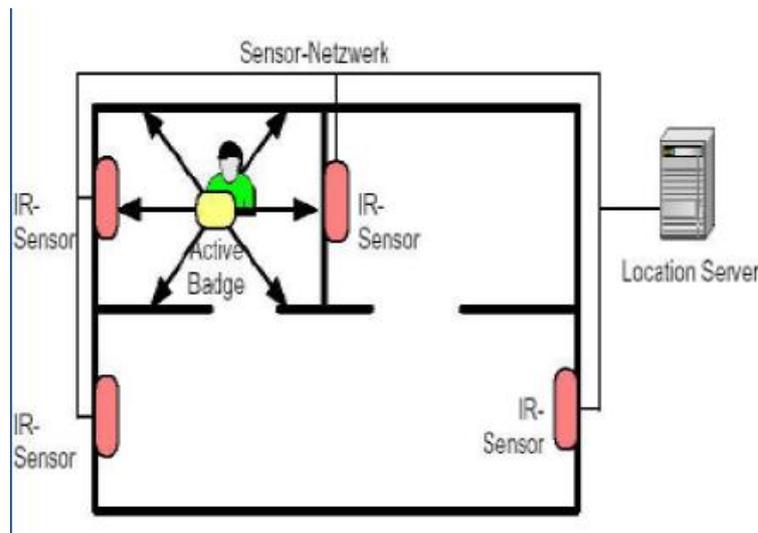


Abbildung 2.6: Active Badge: Installationsschema

Im Bereich der Indoor Lokalisierung gilt das Active Badge System als archetypisch. 1989 wurde es als erstes dieser Systeme vom heutigen AT&T Cambridge entwickelt.

Das System funktionierte in der Art, dass jeder Mitarbeiter einen Infrarotsender (Badge = Abzeichen) trug, der alle 10 Sekunden ein Signal aussandte, das von dem installierten Sensorennetzwerk ausgewertet wurde. Eine Zelle entsprach dabei einem Raum und so konnte über Lokalisierungsserver die Auswertung der empfangenen Daten erfolgen. Die Aufgabe des Systems war es, durch Bestimmung des jeweiligen Raumes, in dem sich die Mitarbeiter befanden, die Anrufe auf die entsprechenden Apparate umzuleiten. Ein großer Nachteil dieses System war, dass sich die Infrarotsignale sehr leicht zum Beispiel durch starkes Sonnenlicht stören ließen und dass die Reichweite der Infrarotsignale relativ begrenzt war, so dass die Räume nur eine maximale Größe haben durften. Wurde die Größe überschritten, musste ein Raum in mehrere Zellen unterteilt werden.

⁷Quelle: [et al. \(2001\)](#)

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	Infrarot
Einsatzgebiet	nur Indoor, eine Basis pro Zimmer, alle 10 Sekunden ein Badge pro Basis
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	auf Zimmergröße beschränkt
Zuverlässigkeit	relativ störanfällig
Skalierbarkeit	eher schlecht
Datenhaltung	zentral

Tabelle 2.5: Übersicht Active Badge System

2.4.2 Smart Floor⁸

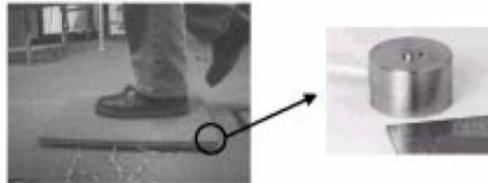


Abbildung 2.7: Smart Floor: Bodenplatte (links), Kraftmesszelle (rechts)

Das Georgia Institute of Technology entwickelte dieses Lokalisierungssystem auf der Grundlage von Drucksensoren im Boden. Die Drucksensoren wurden so unter den Bodenplatten befestigt, dass sich sowohl jede Ecke der Bodenplatten als auch gleichzeitig immer vier Bodenplatten auf einem Drucksensor befanden. Um verschiedene Personen unterscheiden zu können, wurde angenommen, dass verschiedene Personen verschiedene Schrittmuster haben. Hierzu versuchte ein Algorithmus mithilfe eines Hidden-Markov-Modells eine Gehsignatur anzulegen und mit bekannten Signaturen aus der Datenbank zu vergleichen. Es konnte bei einer Testgruppe von ca. zwanzig Personen eine Genauigkeit bei der Erkennung von 90% erreicht werden. Nachteile dieser Technologie sind die hohen Kosten, da alle Räume mit diesen Bodenplatten ausgestattet werden müssen und die schlechte Skalierbarkeit. Ein deutlicher Vorteil ist, dass die Personen keine extra Ausrüstung benötigen, um im System geortet werden zu können.

⁸Quelle: [Orr und Abowd \(2000\)](#)

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	Näherungsmessungen durch Drucksensoren in den Bodenplatten
Einsatzgebiet	nur Indoor
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	50cm x 50cm, Größe der Bodenplatten
Zuverlässigkeit	100 Prozent
Skalierbarkeit	schlecht, weil auf wenige Personen beschränkt
Datenhaltung	zentral

Tabelle 2.6: Übersicht Smart Floor

2.4.3 RFID

Radio Frequency Identification ist eine zurzeit sehr aktuelle Technologie, die es mit Hilfe von Funktechnologie möglich macht Objekte (Produkte, Personen, etc.) automatisch zu identifizieren. RFID-Systeme bestehen im Allgemeinen aus einem Lesegerät und einem Transponder, auch Tag genannt. Diese Tags werden an den entsprechenden Objekten befestigt und können damit, sobald sie sich in der Nähe eines Lesegerätes befinden, identifiziert werden. Die Übertragungsentfernung vom Tag zum Lesegerät ist unter anderem von der Frequenz auf der gesendet wird abhängig und liegt etwa im Bereich von einem Zentimeter bis mehrere Meter. Genauer soll in dieser Arbeit nicht auf das Thema RFID eingegangen werden, da das Thema allein eine ganze Arbeit füllt. Zusätzliche Informationen zu dem Thema sind in der Bachelorarbeit „RFID in der Fertigung“ von Dirk Ewerlin⁹ enthalten.

Hauptsächlich wird RFID in Fertigungsstraßen (Supply Chain Management) mit 29% und mit 20% im Bereich der Zugangskontrolle (Access Control) eingesetzt.¹⁰ Ein sehr interessantes Projekt bietet da die Firma Wherenet an:

Wherenet setzt das größte, aktive Rfid-Echtzeit-Lokalisierungssystem (RtIs) der Welt zum exakten Erfassen von 40.000 Fahrzeugen im Kfz-Logistik-Terminal der Broekman Group im Hafen von Rotterdam ein.¹¹

RFID ist auf dem Vormarsch und wird daher in naher Zukunft immer günstiger werden. Allerdings hat es auch entscheidende Nachteile. So lässt sich die Position nur dann bestimmen, wenn sich ein Tag in Reichweite der Lesegeräte befindet. Da diese normalerweise nur an bestimmten Positionen, wie zum Beispiel Warenein- und ausgang, aufgestellt sind, gibt es dazwischen keine genauen Informationen über die Position des Objektes. Zudem kann die Orientierung nicht festgestellt werden. Höchstens die Richtung der Bewegung kann nach-

⁹Quelle: [Ewerlin \(2006\)](#)

¹⁰Quelle: [RFID \(2006\)](#)

¹¹Quelle: [Wherenet - aktives RFID-RTLS \(2006\)](#)

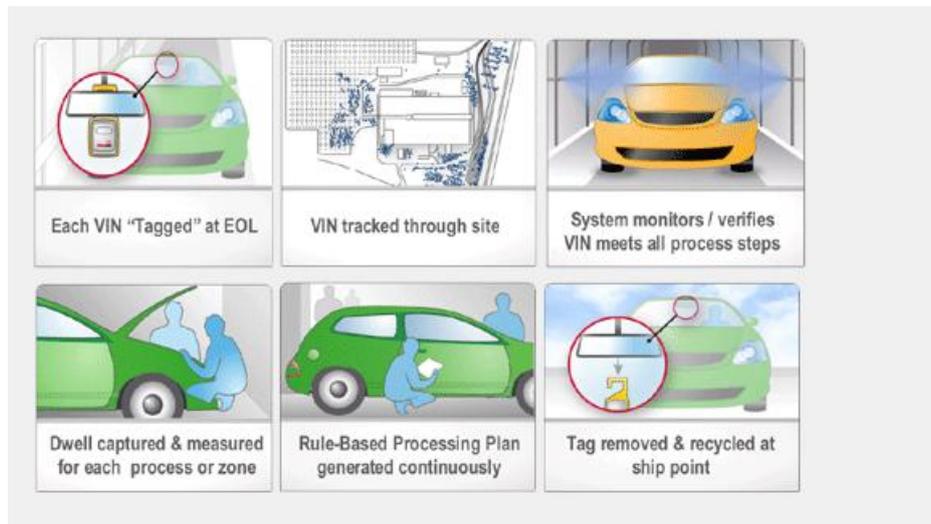


Abbildung 2.8: Wherenet: VTMS - Vehicle Tracking and Management System

vollzogen werden, indem man so genannte Schleusen aufstellt und nachvollzieht, welches Lesegerät den Tag zuerst erfasst hat.

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	RFID: 125 WhereLAN Lokalisierungspunkte, 400 WherePort-Geräte
Einsatzgebiet	Indoor und Outdoor
Orientierung	nicht feststellbar
Genauigkeit	2-3 Meter
Zuverlässigkeit	keine Angaben
Skalierbarkeit	vermutlich gut, keine Angaben
Datenhaltung	vermutlich zentral, keine Angaben

Tabelle 2.7: Übersicht RFID

2.4.4 MagicMap¹²

MagicMap ist eine Entwicklung der Humboldt Universität zu Berlin. Diese Entwicklung nutzt eine bereits vorhandene WLAN-Ausstattung. Die Positionsbestimmung erfolgt über die Feststellung der Signalstärke. Der große Vorteil der Entwicklung ist, dass keine zusätzliche Hardware installiert werden muss. Die Access Points, die bereits vorhanden sind, können direkt genutzt werden, ohne dass deren Hardware oder Software angepasst werden muss. Es gibt also keine zusätzliche Arbeit für die Entwicklung oder Installation zusätzlicher Hardware,

¹²Quelle: [MagicMap \(2006\)](#)

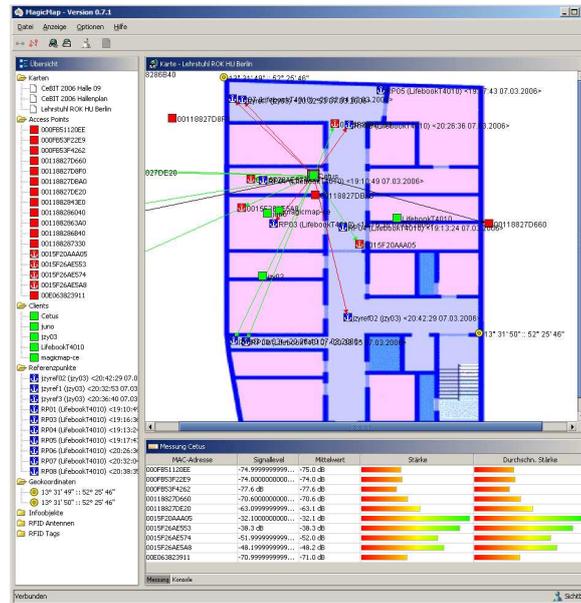


Abbildung 2.9: MagicMap Karte und Anzeige der Signalstärke

was den Einsatz dieses Systems enorm einfach macht. MagicMap besteht also aus einer reinen Softwarelösung, die eine bereits vorhandene Infrastruktur nutzt. Die Berechnung der Position geschieht über Trilateration.

Je nach Anwendung muss vorher definiert sein, wie genau die Positionsbestimmung erfolgen muss. Denn der große Nachteil von MagicMap ist, dass die Positionsbestimmung nur im einstelligen Meter-Bereich liegt. Eine wirklich exakte Position lässt sich damit also nicht ermitteln. Dadurch fällt dieses System für eine Reihe von Anwendungen aus, die eine hohe Genauigkeit benötigen. Die Datenhaltung läuft über die Peer-Knoten. Über diese kann der Zugriff auf die Positionen individuell festgelegt werden.

MagicMap soll es auch möglich machen die Positionsdaten nicht nur über die WLAN-Technologie zu bestimmen, sondern auch noch über andere Funkstandards wie RFID, Bluetooth, Zigbee, GSM und UMTS. Ebenso soll dies auch mit den Standards GPS, RTLS und UWB möglich sein.

Die Softwarelösung besteht aus einer GUI, die systemunabhängig in Java implementiert wurde. Die Position der Knoten wird auf einer Karte angezeigt. Zusätzlich für mobile PCs ist sie auch in C# und .Net implementiert.

Der so genannte Stumbler ist technologiespezifisch und misst die entsprechenden sensorischen Daten.

Die Positioning Engine berechnet die aktuelle Position, wobei hier unterschieden werden kann, wo die Berechnung stattfinden soll (Client, Server, verteilt).

Der Tracker beobachtet hauptsächlich die Positionsdaten. Die letzten beiden Komponenten des Systems bestehen aus einem Server und Peer-to-Peer-Kommunikation.

Eingesetzt wird das System zurzeit zum Beispiel beim Verkehrsbetrieb Potsdam. Hier geht es um die Parkraumplanung für ca. 120 Busse, die so geparkt werden müssen, damit die Ein- und Ausfahrt reibungslos entsprechend der Fahrpläne funktioniert. GPS scheidet dabei aus, weil der Parkplatz überdacht ist und darunter keine GPS-Signale zur Verfügung stehen.

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	z.Zt. WLAN, aber erweiterbar auf andere Funksignale
Einsatzgebiet	hauptsächlich Indoor
Orientierung	nicht möglich
Genauigkeit	einstelliger Meterbereich
Zuverlässigkeit	gut
Skalierbarkeit	entsprechend der Datenhaltung
Datenhaltung	zentral, dezentral oder verteilt

Tabelle 2.8: Übersicht MagicMap

2.4.5 Cricket System¹³

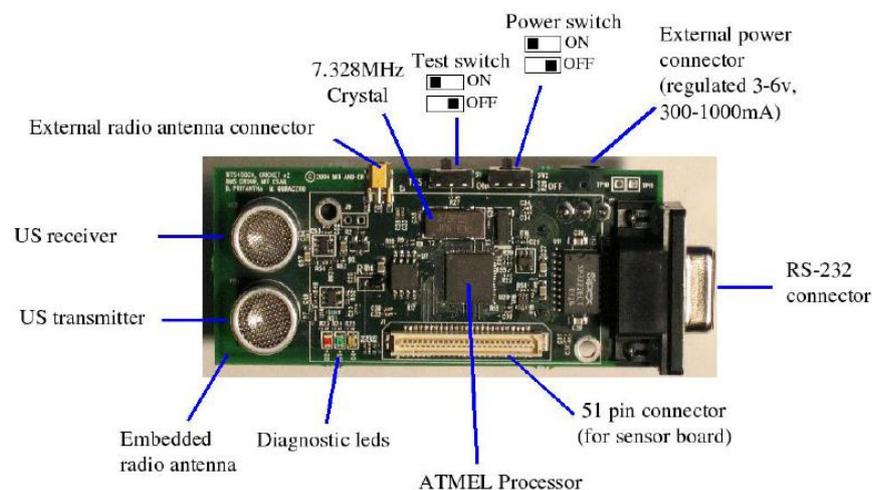


Abbildung 2.10: Cricket System: Beacon und Listener auf einer Platine

Das MIT (Massachusetts Institute of Technology) hat 1999 damit begonnen das Cricket System in der ersten Version als Teil des „Oxygen“-Projektes zu entwickeln. Seit dem Jahr

¹³Quelle: Priyantha (2005)

2004 ist das Cricket System in einer weiterentwickelten Version zu erhalten. Cricket arbeitet mit einer Kombination aus Funk- und Ultraschallsignalen. Dabei wird mittels Lateration die Position bestimmt. Der prinzipielle Aufbau ist so, dass es aktive Sender gibt, so genannte Beacons, die an der Decke befestigt werden. Diese schicken in regelmäßigen Abständen Signale, die von den Empfängern (Listenern) empfangen werden. Das bedeutet, dass nur die Empfänger wissen, wo sie sich befinden und es keinen zentralen Dienst gibt, der die Positionen sämtlicher Listener kennt. Ein weiterer daraus resultierender Vorteil ist, dass das System gegen eine hohe Anzahl von Nutzern gut skaliert, da die Berechnungen der Position in jeden Listener selbst ausgeführt werden. Die Berechnung der Entfernung zu einem Beacon erfolgt über die Bestimmung der Zeitdifferenz der beiden Signale. Kennt der Listener mehrere Entfernungen zu verschiedenen Beacons, kann die Position bis auf wenige Zentimeter genau bestimmt werden. In der zweiten Version des Cricket Systems ist es möglich, mit einem so genannten Cricket-Kompass zusätzlich zur Position die Orientierung festzustellen.

Ebenfalls ein Vorteil des Systems ist seine Robustheit, da die verschiedenen Beacons nicht zentral gesteuert werden, wodurch das System nicht gleich ausfällt, nur weil ein Beacon defekt ist. Natürlich kann man aber auch die dezentrale Verwaltung als Nachteil sehen, da bei der Konfiguration mehr Aufwand entsteht.

Vergleichskriterium	Beschreibung
Technologie	Funksignale und Ultraschall...
Einsatzgebiet	nur Indoor
Orientierung	feststellbar mit Hilfe des Cricket-Kompass
Genauigkeit	wenige Zentimeter
Zuverlässigkeit	gut
Skalierbarkeit	sehr gut
Datenhaltung	dezentral

Tabelle 2.9: Übersicht Cricket System

2.5 Fazit

Wenn man sowohl die Outdoor- als auch die Indoornavigationssysteme vergleicht, kann man im Grunde folgendes über alle Systeme aussagen: Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Ziele, die diese Systeme verfolgen. Entweder einen ganz speziellen Einsatz unter besonderen Bedingungen, wie zum Beispiel bei Decca die Schiffsnavigation, oder das System soll für möglichst viele Szenarien gleichzeitig einsetzbar sein, man denke zum Beispiel an MagicMap, die in der Zukunft zu möglichst vielen Sensoren kompatibel sein wollen.

Eins haben aber alle Systeme gemeinsam. Wenn man die Zeit berücksichtigt, in der diese Systeme entwickelt wurden, kann man eindeutig den Trend erkennen, dass die Systeme immer kleiner und portabler werden, die Nutzung immer einfacher und intuitiver wird und die Genauigkeit mit fortschreitenden und immer weiter entwickelten Technologien immer mehr zunimmt.

3 Orientierung

Zusätzlich zu der Information über die aktuelle Position ist die Orientierung ein sehr wichtiges Kriterium für viele Anwendungen im Bereich des „Pervasive Computing“, wie zum Beispiel dem Museumsführer oder dem Wegfinder. Zur Bestimmung der Orientierung müssen viele Ansprüche erfüllt werden. Auf den ersten Blick meint man, dass mit einem herkömmlichen magnetischen Kompass das Problem schon gelöst ist, aber man erreicht damit keine zufriedenstellenden Ergebnisse, da die elektromagnetischen Störungen in Gebäuden durch Computer und Monitore so stark sind, dass die Ergebnisse unbrauchbar werden. Andere Anforderungen sind, dass weiterhin die Intimität des Benutzers nicht gestört werden soll, das System gut skaliert bezüglich der Anzahl der Nutzer, es einfach zu entwickeln und zu warten ist und das Orientierungsmodul zwecks einfacher Portabilität klein und leicht sein soll.

3.1 Anforderungen

Dieses Unterkapitel stellt zunächst die Anforderungen an ein optimales Orientierungssystem dar. Welch und Foxlin¹ haben nachfolgend eine Liste der Designziele eines idealen Gerätes erstellt, welche die Anforderungen nahezu aller Positions- und Orientierungssysteme erfüllt:

- Klein: etwa die Größe eines kleinen Mikrochips
- Eigenständig: keine anderen Teile, die in der Umgebung oder am Nutzer befestigt werden müssen
- Vollständig: verfolgt (tracking) alle drei Freiheitsgrade bezüglich der Position und der Orientierung
- Genau: eine Genauigkeit im Zentimeterbereich bei der Position und im Gradbereich bei der Orientierung
- Schnell: stellt häufige Positions- und Orientierungsaktualisierung mit geringer Wartezeit zur Verfügung

¹Quelle: [Welch und Foxlin \(2002\)](#)

- sicher gegen Verdeckung: benötigt keinen Sichtkontakt
- robust: widersteht Leistungsabbau durch Licht, Akustik, Hitze, Magnetfelder, Funkwellen und anderen Umwelteinflüssen
- kabellos: funktioniert kabellos und hat keine Reichweiteneinschränkungen
- skalierbar: die oben angeführten Punkte werden eingehalten unabhängig von der Anzahl der Geräte und Nutzer im System

Verschiedene bereits bestehende Systeme benutzen verschiedene Technologien wie zum Beispiel elektromagnetische, optische, akustische und mechanische Sensoren, sowie Radiofrequenz- und Trägheitssensoren. Zur Zeit existiert noch kein System, das all den Anforderungen entspricht, auch wenn einige Systeme dem schon nahe kommen.

Ziel ist es, sich einen Überblick und genaueres Verständnis über die verschiedenen schon existierenden Systeme zu verschaffen und nach Möglichkeit von jedem das Beste aufzugreifen und im Zusammenhang mit dem Cricket System einen entsprechenden Kompass zu entwickeln.

3.2 Existierende Orientierungssysteme

Im Folgenden werden verschiedene bereits existierende Orientierungssysteme beschrieben. Dabei wird klar, dass es sehr verschiedene Möglichkeiten gibt, die Orientierung zu ermitteln und dass insgesamt große Unterschiede bestehen.

3.2.1 Magnetkompass²

Es gibt mittlerweile eine Reihe verschiedener Möglichkeiten die Orientierung festzustellen. Eine sehr altbewährte Methode ist die über einen herkömmlichen Magnetkompass. Der Kompass ist ein Messgerät zur Bestimmung der Himmelsrichtungen und wurde im Jahr 27 im Kaiserreich China erfunden. Dieser richtet sich tangential zu den Feldlinien des Magnetfeldes der Erde aus, die vom magnetischen Südpol zum magnetischen Nordpol verlaufen. Die Ergebnisse des Kompasses lassen sich leicht von anderen Magnetfeldern durch elektrische Geräte stören, werden aber auch schon durch Eisen und Stahl verfälscht. Da Eisen, Stahl und auch elektrische Geräte in Gebäuden und in einer Welt des Ubiquitous Computing nicht wegzudenken sind, scheidet der Magnetkompass auf Grund der durch die Umgebung geschaffenen Ungenauigkeiten aus.

²Quelle:[Magnetkompass \(2006\)](#)



Abbildung 3.1: Herkömmlicher Magnetkompass

3.2.2 Gyroskop/Kreiselkompass³



Abbildung 3.2: Sehr frühe Version des Gyroskops

Das Gyroskop wurde Ende des 18. Jahrhunderts erfunden. Es nutzt die Technik der Koppelnavigation zur Bestimmung der Orientierung. Das Gyroskop wird mit einer bekannten Orientierung initialisiert und kann danach die Orientierung im dreidimensionalen Raum im Bezug zur ursprünglichen Richtung bestimmen. Da die Bestimmung der Orientierung auf der Technik der Koppelnavigation beruht, ist die Akkumulation von Fehlern ein großes Problem.

³Quelle: [Gyroskop \(2006\)](#)

3.2.3 Constellation⁴

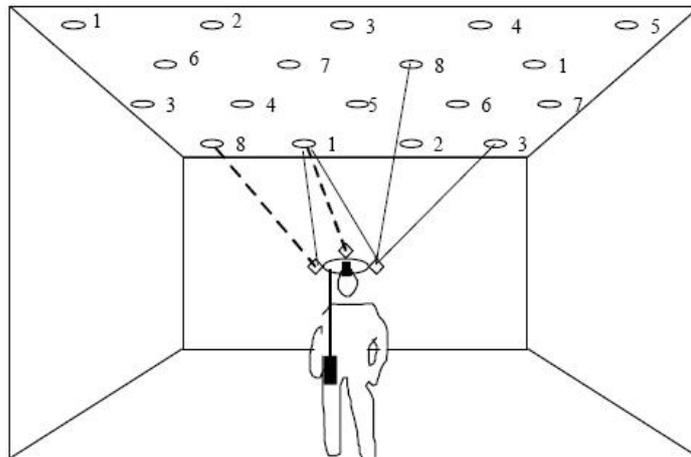


Abbildung 3.3: Constellation: Schema

Das Constellation System nutzt eine Kombination von Beschleunigungsmesser, Gyroskop (Kreiselkompass) und Ultraschallsensoren, um die Position und die Orientierung zu bestimmen. Wie bei Cricket besteht Constellation aus aktiven Ultraschall Beacons (Sendern), um die Anfangsposition eines Gerätes zu bestimmen. Weiter wird ein Kalmanfilter benutzt, um fehlerhafte Messwerte auszusortieren, zudem wird die Annahme über die Orientierung mit Hilfe von Trägheitssensoren gefiltert.

3.2.4 HiBall⁵



Abbildung 3.4: HiBall Sensor

Der HiBall (Tracker) nutzt synchronisierte Infrarot LEDs und präzise Optik, um die Position im Subzentimeterbereich mit weniger als einer Millisekunde Wartezeit (Latenzzeit) zu berechnen. HiBall setzt große Felder mit hunderten bis tausenden von LED-Beacons an der

⁴Quelle: [Eric Foxlin \(1998\)](#)

⁵Quelle: [G. Welch und Colucci \(1999\)](#)



Abbildung 3.5: HiBall Beacon Deckeninstallation

Decke ein und benötigt eine komplizierte Sensoreinheit aus Infrarot Sensoren und optischen Linsen. Die Position und die Orientierung werden bestimmt durch das Sichten der jeweiligen relativen Winkel und Positionen der Decken-LEDs. Zur Berechnung der Position werden sowohl Sensor als auch LED-Feld zentral von einem Computer synchronisiert, durch den die LED-Helligkeit und die Leuchtmuster gesteuert werden, die zur Bestimmung der Position benötigt werden. Das System ist sehr stark verkabelt, wodurch es teuer und schwer entwickelbar ist. Darüber hinaus ist die zentrale Verwaltung ein Nachteil.

3.2.5 Whisper⁶

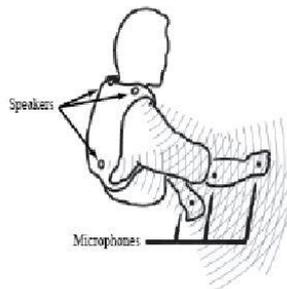


Abbildung 3.6: WHISPER System: am Körper werden Mikrophone und Lautsprecher befestigt.

Whisper ist ein akustisches Orientierungsgerät, das eine große Bandbreite benutzt, um den Vorteil des Tons im niedrigen Frequenzbereich zu nutzen. Akustische Systeme haben gewöhnlich den Nachteil von wenigen Aktualisierungen und fehlende Robustheit bezüglich Umgebungsgeräusche. Whisper versucht dies durch die hohe Bandbreite zu bewältigen. Whisper verfolgt die Korrelation zwischen einer übertragenen und empfangenen Version eines

⁶Quelle: [Vallidis \(2002\)](#)

scheinbar zufälligen akustischen Breitbandsignals rekursiv. Ein Kalmanfilter wird ebenfalls benutzt, um den rechenintensiven Aufwand der Korrelationsberechnungen zu reduzieren. Die kommunikationsintensiven Methoden von Whisper machen den Einsatz schwierig in Hinsicht auf die Skalierung. Das Nutzen von hörbaren Frequenzen ist nicht wünschenswert für „Pervasive Computing“ Anwendungen.

3.2.6 Kommerzielle Systeme



Abbildung 3.7: Polhemus: Liberty System kann die Orientierung bis auf 15° genau feststellen

Kommerzielle magnetische Bewegungserkennungssysteme werden in der virtuellen Realität und in der erweiterten Realität zum Beispiel mit Hilfe von Headmounted Displays benutzt. Ascension⁷, Polhemus⁸ und Northern Digital⁹ bieten solche Produkte an. Sie bestimmen die Position und die Orientierung eines Zielobjektes durch das Senden von magnetischen Impulsen und bemerken dabei Veränderungen an der Feldstärke entlang der drei orthogonalen Achsen. Diese Systeme benötigen eine zentrale Koordination zwischen den magnetischen Sendern und Empfängern und sind in ihrer Reichweite begrenzt. Vermutlich sind sie anfällig für magnetische Störungen im Zusammenhang mit Metall oder anderen leitfähigen Materialien. Hieraus könnten Probleme für die Indooranwendung entstehen, da hier magnetische Störungen häufig auftreten.

3.2.7 Cricket Compass¹⁰

Auf Grund der Hoffnung, dass sich die Genauigkeit erhöht, wurde sich für ein Design entschieden, welches die Phasenverschiebung berechnen kann. Dabei werden in diesem Pro-

⁷Quelle: [Ascension \(2006\)](#)

⁸Quelle: [Polhemus-Liberty \(2006\)](#)

⁹Quelle: [NDI: Aurora \(2006\)](#)

¹⁰Quelle: [Wang \(2004\)](#)

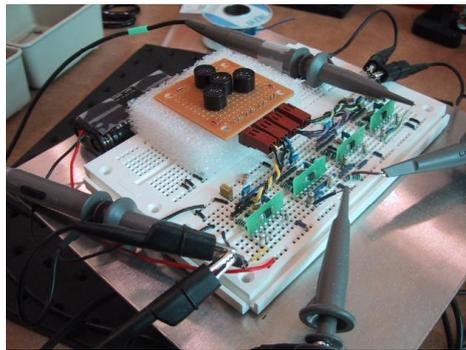


Abbildung 3.8: Cricket Compass als Prototyp

Prototyp vier Ultraschallempfänger so dicht wie möglich in einem Dreieck angeordnet. Ein Empfänger befindet sich in der Mitte des Dreiecks und die anderen drei an den drei Spitzen des Dreiecks.

Die Abbildung des Cricket Compass zeigt einen Prototypen. Eine weitere oder neuere Version ist bisher nicht veröffentlicht worden. Zu diesem Prototyp existiert auch ein Blockschaltbild, welches die prinzipielle Funktion der Hardware und Software näher erläutert:

Das Ultraschallsignal der Beacons erreicht die Compass Hardware. Das Signal wird durch die Hardware verstärkt und die analoge Wellenform wird digitalisiert. Diese Daten werden dann an die Software weitergegeben und dort wird der Algorithmus zur Berechnung der Orientierung implementiert.

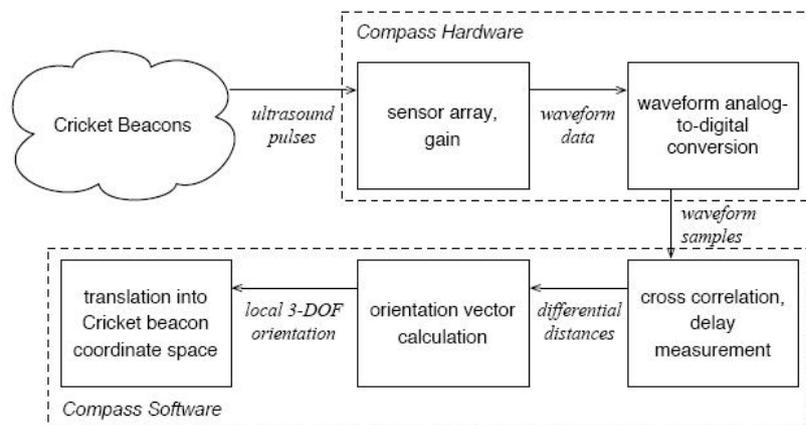


Abbildung 3.9: Blockschaltbild des Cricket Compass

Bei dem Cricket Compass wurde eine durchschnittliche Genauigkeit bei der Feststellung der Orientierung von ca. 3° gemessen. Der größte Fehler lag bei $12,1^\circ$. Ein großes Problem allerdings ist, dass in 21 von 37 Versuchen, die Orientierung zu bestimmen, die Messungen des Compass nicht fehlerfrei waren. Das hatte zur Folge, dass die Orientierung in diesen

Fällen nicht festgestellt werden konnte.

Es bleibt also festzuhalten, dass vermutlich noch viel Potential in dem Cricket Compass steckt, aber die bisher veröffentlichten Ergebnisse nicht befriedigend sind.

3.3 Fazit

Ähnlich wie bei den Lokalisierungssystemen gibt es auch bei den Orientierungssystemen wieder eine Vielzahl von Systemen, die verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung der Orientierung nutzen. Es ist ganz klar zu erkennen, dass die klassischen Methoden, zum Beispiel mit einem Kompass, bei der Anwendung in Gebäuden nicht zu hinreichend genauen Ergebnissen führen. Es wird versucht verschiedene Technologien einzeln und auch in Kombination zu nutzen, um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen. Mit einigen Systemen werden schon passable Ergebnisse erzielt, aber dennoch erfüllt keines der beschriebenen Systeme voll die Anforderungen, die an ein optimales Orientierungssystem gestellt werden.

4 Visionen

Dieses Kapitel soll einen Überblick über Einsatzmöglichkeiten und Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Geräten in direktem Zusammenhang mit Indoor Lokalisierung und Orientierung geben. Dabei wird kurz auf verschiedene Möglichkeiten eingegangen, bei denen es sinnvoll ist, diese mit einem Indoor Lokalisierungs- und Orientierungssystem zu verbinden. Dann werden verschiedene Szenarien angesprochen, die mit dem zu entwickelnden System umsetzbar sind. In einem weiteren Unterkapitel wird das hier verwirklichte Szenario des Museumsführers ausführlich beschrieben. Abschließend folgt ein kurzes Fazit.

4.1 Augmented Reality

Zum einen gibt es die Augmented Reality, was soviel heißt wie erweiterte Realität. Zum anderen gibt es die Virtual Reality. Übersetzt bedeutet das fiktive Realität. Tatsächlich ist es so, dass die virtuelle Realität dem Benutzer eine völlig neue und fiktive Umgebung erzeugt, in die der Benutzer eintaucht. Der Benutzer ist also völlig in die neue Umgebung integriert und seine komplette Wahrnehmung wird durch den Computer gesteuert. Hierbei kommt es zur Trennung von der wahren Realität.

Bei der Augmented Reality wird der Benutzer nicht ausschließlich mit generierten Informationen versorgt. In diesem Fall wird der Kontakt zur realen Welt lediglich mit der virtuellen Realität verbunden beziehungsweise erweitert. Es wird also ein Weg gefunden, die Daten aus dem Computer mit den Daten der realen Welt zu verknüpfen und darzustellen. Das Ziel hierbei ist es allerdings, dass der Benutzer keinen Unterschied zwischen dem Realen und dem Erweiterten machen kann.

Ein typisches Gerät, um dies zu erreichen, ist ein Headmounted Display. In diesem Szenario wird die Realität, also das Exponat, erweitert mit Zusatzinformationen, die auf dem Headmounted Display angezeigt werden.

Verschiedene größere Anwendungen werden durch das Projekt WEARIT@WORK¹ umgesetzt. Die Ziele dabei sind es, Aufgaben oder Projekte mit Hilfe der erweiterten Realität zu

¹Quelle: [WEARIT@WORK](#) (2006)

vereinfachen, zu beschleunigen oder sicherer zu machen. Ein Szenario dabei ist zum Beispiel das des Feuerwehrmanns, der sowieso einen Helm trägt. Also kann man diese Bedingung gleich ausnutzen, um in dem Visier zusätzliche Informationen anzuzeigen, die den Einsatz beziehungsweise die Rettung vereinfachen. So ist es beispielsweise denkbar, dem Feuerwehrmann auf dem Display den Gebäudegrundriss zu zeigen, damit er sich schneller in dem brennenden Haus zurecht findet. Eine weitere Möglichkeit ist es, ihm anzuzeigen, wer sich noch im Gebäude befindet oder ihm Informationen zu seinem Schutz zu geben, zum Beispiel wie heiß sein Anzug ist, wieviel Sauerstoff er noch zum Atmen hat, etc. Eine weiteres Projekt, dass dem Szenario des Museumsführers ähnelt ist Archeoguide². Hier werden alte Ruinen mit Hilfe von Positions- und Orientierungsfeststellung durch die Augmented Reality zu neuem Leben erweckt. Zusätzlich ist die Kommunikation durch Sprache und Gesten mittels multimodaler Interaktion verwirklicht worden.

4.2 Interaktionsmöglichkeiten

Andere Bezeichnungen hierfür sind auch multimodale Interaktion oder SmartKom³. Gemeinsam haben diese Begriffe, dass sie alle darauf abzielen möglichst effiziente und intelligente Benutzerschnittstellen in die Tat umzusetzen. Dabei haben es sich einige Firmen als sehr wichtiges Ziel gesetzt in diese Richtung zu forschen. Ein Ziel dabei ist es auf verschiedene Sinnesmodalitäten zu reagieren, ohne dass diese sich gegenseitig behindern.

Noch wichtiger dabei ist, dass die Bedienung selbst für den Computerlaien einfach, möglichst intuitiv, von statten geht. Man will weg von spezifischen Benutzereingaben, die der Mensch erst lernen muss, um den Computer bedienen zu können. Die Intention des Benutzers soll erkannt werden und dementsprechend kontextabhängig geeignete Aktionen ausgeführt werden. Auch soll der Computer sich an den Benutzer und seine spezifischen Vorlieben adaptieren und nicht andersrum. Die bisher übliche Situation, dass sich der Benutzer an den Computer anpasst und dessen Sprache lernt, soll nun vorbei sein. Endlich soll der Computer sich dem Benutzer und seiner Art zu kommunizieren anpassen. Es ergeben sich besondere Anforderungen an die Komponenten der multimodalen Interaktion, die im Folgenden aufgeführt werden:

- schnell an neue Szenarien anpassbar
- adaptieren sich an Benutzereigenschaften
- robust sowohl gegenüber unerwartetem oder unbekanntem Benutzerverhalten als auch Reaktionen der Anwendung

²Quelle: [Archeoguide \(2006\)](#)

³Quelle: [SmartKom \(2006\)](#)

Das Problem beim jetzigen Stand der Technik ist, dass der Einsatz und die Aufgaben, die von Computern erfüllt werden, immer komplexer werden und gleichzeitig die Zahl der Benutzer ohne nennenswerte Kenntnisse oder Erfahrungen im Umgang mit Computer ständig steigt. Daher soll es das Resultat dieses Forschungsbereichs sein, dass der Einsatz von computergestützten Systemen so umgestaltet wird, dass das System von jedermann ohne Qualifizierungsmaßnahmen sofort bedienbar ist.

Für dieses Szenario, in dem der Museumsbesucher kein versierter Informatiker sein soll, ist es also unabdingbar, dass eine einfache intuitive Möglichkeit geschaffen wird, mit dem System zu interagieren.

4.3 Mögliche Szenarien

Im Zuge dieser Arbeit wird das Indoor Positions- und Orientierungssystem IMAPS entwickelt. Auf der Grundlage, dass die Position und sogar die Orientierung eines sich bewegenden Objektes bekannt sind und Hilfsmittel wie die Augmented Reality und Interaktionsmöglichkeiten in Kombination zueinander eingesetzt werden, lassen sich verschiedene Szenarien entwickeln. Dieses Unterkapitel zeigt verschiedene Einsatzmöglichkeiten auf und gibt eventuell einen Anstoß, die angesprochenen Szenarien auszubauen oder noch neue zu entwickeln. Dabei wird der vielfältige Einsatz dieses Systems hervorgehoben.

4.3.1 Navigation

Eine naheliegende Einsatzmöglichkeit ist die Navigation in Gebäuden, entsprechend der Outdoornavigation für zum Beispiel Autos oder Fußgänger. Dabei geht es darum beispielsweise mit einem PDA (Personal Digital Assistant) ausgerüstet durch visuelle und/oder akustische Unterstützung vom Eingang eines Gebäudes zu einem bestimmten Raum zu finden. Von einer solchen Anwendung können sowohl Sehende als auch Blinde profitieren, wenn sie sich in dem Gebäude nicht auskennen. Denkbar ist auch, dass die Geräte ihre Position an einen zentralen Server weiterleiten, damit es für bestimmte Personen die Möglichkeit gibt ihre Position im System bekannt zu machen. Dann besteht zusätzlich noch die Möglichkeit, diese Personen nicht suchen zu müssen, sondern sich direkt zu Ihnen führen lassen zu können.

4.3.2 Roboternavigation

Als weiteres Anwendungsbeispiel für die Navigation in Gebäuden kann ein miniaturisiertes System über einem Roboterfußballfeld installiert werden. Da die Geräte klein genug sind,

kann man sie auch leicht auf einem Roboter befestigen. Speziell bei IMAPS ist eine Schnittstelle (CANBUS) vorgesehen, um darüber mit den Robotern zu kommunizieren. Der Einsatz solcher Technologien eröffnet dem Roboterfußball ganz neue Möglichkeiten. Beispielsweise ist es so möglich, dass die Roboter die genaue Position des Tores kennen und wissen, wo ihre Mitspieler stehen und in welche Richtung diese sehen, um sie entsprechend anzuspielen zu können. Dadurch wird ein erstmals ein richtiges Zusammenspiel der Roboter möglich.

4.3.3 Location Based Services

Unter Location Based Services versteht man einen standortbezogenen Dienst. Durch Bestimmung der Position und gegebenenfalls der Orientierung können dem Nutzer spezielle Dienste angeboten werden. Eine weit verbreitete Möglichkeit ist der Location Based Service von Mobilfunkanbietern. Durch Feststellung der Position eines Mobiltelefons kann der Nutzer verschiedene Dienste in Anspruch nehmen. Befindet er sich zum Beispiel in einer Stadt, in der er sich nicht auskennt, kann ihm dann der Weg zum nächsten Restaurant oder Kino gezeigt werden.

Dies lässt sich auch in den Indoor-Bereich übertragen. Dem Nutzer werden im Gebäude verschiedene Dienste zur Verfügung gestellt, die auf einen entsprechenden Raum oder Bereich, in dem er sich befindet, zugeschnitten werden. So wird zum Beispiel der entsprechende Drucker angesprochen, der sich in dem Raum befindet, in dem der Nutzer sich gerade aufhält. Dies kann man natürlich auf beliebig viele Services ausweiten, wie zum Beispiel auf die Musik, die man hört. Die Lieblingsmusik wird immer in dem Raum abgespielt, in dem sich auch der Nutzer aufhält. Gleiches kann mit Bildern auf Displays geschehen, so dass entsprechende Lieblingsbilder dort gezeigt werden, wo man sich befindet. In diesem Fall könnte man sich die Kenntnis über die Orientierung ebenfalls zu Nutzen machen und zum Beispiel aus Gründen der Energieersparnis oder ähnlichem die Displays abdunkeln, die gerade außerhalb des Sichtfeldes des Nutzers liegen. Dieses Szenario lässt sich beliebig ausweiten.

4.3.4 Collaborative Workplace

Der Begriff Collaborative Workplace beschreibt das moderne Büro. Das Büro ist ausgestattet mit neuesten Technologien und Werkzeugen für kooperative Anwendungen. Hierbei stehen die Benutzer im Vordergrund. Ihnen soll der Zugriff auf ihre Daten erleichtert werden, deren Präsentation, der Dokumentenaustausch und die Bearbeitung. Ein beispielhaftes Projekt ist IPSI vom Fraunhofer Institut⁴.

Die Positions- und Orientierungsbestimmung der einzelnen Nutzer sowie der Objekte hilft dabei, dass die Teilnehmer sich wieder auf die eigentlichen Aufgaben beispielsweise in einem

⁴Quelle: [IPSI - Fraunhofer Institut \(2006\)](#)

Meeting konzentrieren können. Die Computerumgebung ist nur noch unterstützend da, und auf Grund des Positions- und Orientierungswissens können die entsprechenden Dokumente für den jeweiligen Nutzer freigegeben werden, wenn er sich an einem bestimmten Gerät befindet. Dies kann automatisch geschehen durch die Übertragung von Position, zugehöriger ID und gegebenenfalls einer Zertifizierung, anstatt dass sich der Nutzer erst durch seine aktive Handlung dem System mitteilen muss. Dadurch wird eine Möglichkeit geschaffen, um wieder mehr Aufmerksamkeit den wichtigen Dingen entgegen zu bringen und nicht mehr den Computern, die eigentlich nur helfend und nicht hindernd eingesetzt werden sollen.

4.3.5 Spieleindustrie

Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist die Spieleindustrie. Bisher hielten die Spieler ein Pad in den Händen und mussten nur die Finger bewegen, um das Spiel zu steuern. Durch die heutige Technologie kann viel mehr erreicht werden. Man stelle sich den aktiven Spieler vor, der durch eigenen Körpereinsatz ins Schwitzen kommt und das Spiel steuert. Erste Schritte in diese Richtung machte Sony mit Eye Toy. Hier werden Interaktionen zwischen dem Spieler und der Playstation 2 durch eine USB-Kamera möglich gemacht. Den nächsten Schritt wagt jetzt die Firma Nintendo, die einen kabellosen Controller herausbringt. Dieser Controller kommuniziert mit der Wii (der Name des neuen Nintendoproduktes) über Bluetooth. Der Controller enthält einen Beschleunigungssensor, der die Beschleunigung in alle drei Achsen misst. Getreu dem Motto, wieso sollen die Bewegungen durch einen Knopfdruck auf dem Gamepad erstellt werden, wenn es doch mittlerweile möglich ist, diese Bewegungen selber zu machen und diese direkt auf die Konsole zu übertragen. Zu diesem Controller gehört noch ein Sensor Bar, der auf oder unter dem Fernseher platziert werden muss. Dadurch kann die Position und Lage des Controllers im Raum relativ zum Fernseher erfasst werden. Es ist also möglich zum Beispiel bei einem Tennisspiel den Controller wie einen Tennisschläger zu schwingen. Durch die Beschleunigungssensoren kann man den Ball entsprechend der Schnelligkeit der Schlagbewegung stärker oder weniger stark beschleunigen. Dies allein würde allerdings kein komfortables Spielen ermöglichen. Durch die Sensoren, die die relative Position im Raum feststellen können, kann eben auch unterschieden werden, ob der Ball von oben, mit der Vorhand oder der Rückhand gespielt wird.

Auch das Cricket System wurde eingesetzt um darüber den legendären Egoshooter Doom zu spielen. Hier gibt es also auch schon einige Ansätze, die es sich lohnen weiter verfolgt zu werden.

4.4 Umgesetztes Szenario

In diesem Unterkapitel wird das Szenario des Museumsführers, auf dem diese Arbeit beruht (vgl. Kapitel 1.2), ausführlich behandelt.

4.4.1 Museumsführer

In den meisten Museen finden noch klassische Führungen statt. Es gibt einen Museumsführer, der sich dort auskennt und der mal mehr, mal weniger interessante Dinge über die ausgestellten Gegenstände in dem Museum berichtet. In gut besuchten Museen hat der Führer häufig eine größere Anzahl von Besuchern zu betreuen. Dabei wird das Zuhören durch die Entfernung zum Vortragenden und durch die Geräuschkulisse der Zuhörer häufig erschwert. Weitere zentrale Probleme sind, dass auf Grund der zentralen Führung sämtliche Besucher sich auf einer Stelle drängen und dadurch das Betrachten des Exponates oft kaum möglich ist. Zudem muss sich der Besucher der Reihenfolge der Vorträge zu den Exponaten des Museumsführers beugen, egal ob ihn andere Dinge mehr interessieren oder gar einige Themen überhaupt nicht interessieren.

Im Laufe der Zeit entwickelte sich natürlich auch dieser Bereich durch neue Technologien fort. Es haben zum Beispiel Funkkopfhörer Einzug gehalten, so dass gegebenenfalls sogar eine Sprachauswahl zur Verfügung steht. Dies hat natürlich auch einen gewissen Vorteil mit sich gebracht, denn die Besucher können die Vorträge hören, die sie möchten und falls sie etwas nicht verstanden haben oder ihrem Interesse gemäß darauf reagieren. Nicht zu vergessen sind die Filmvorführungen die sich auch in dem ein oder anderen Museum durchsetzen. Neben den Vorteilen wie zum Beispiel der besseren Veranschaulichung gibt es natürlich auch den Nachteil, dass für diese Vorführung der Ort in einen extra vorbereiteten Vorführungsraum gewechselt werden muss. Man verliert also den direkten Bezug zum Exponat.

Nun erhalten neueste Technologien nur selten Einlass in Museen. Wenn aber ihr Einsatz sehr einfach (intuitiv) und vor allem hilfreich für das Lernen beziehungsweise Verstehen der Geschichte zu dem Exponat beitragen, würden die Chancen dafür deutlich steigen. Daher stelle man sich folgenden Museumsbesuch vor:

Das Museum wird betreten. Als Besucher wird man mit einem Gerät ausgestattet, das zwar etwas ungewöhnlich aussieht aber mit etwas Phantasie an einen Hut oder an einen bequemen wenn auch abstrakten Helm erinnert. Dieser ist mit folgender Technik gespickt: Ein Listener, ein Headmounted Display und ein Headset, eventuell noch ein Twiddler als weitere Interaktionsmöglichkeit. Setzt der Besucher diesen Hut auf, eröffnen sich ihm ganz neue Wege, eine bisher noch nie dagewesene Museumsführung. Dieser Hut ermöglicht sowohl die Bestimmung der Position als auch der Orientierung. Die wahre Realität wird durch die

Geräte audiovisuell erweitert (Augmented Reality). Der Besucher kann sich nun also frei durch das Museum bewegen. Das Headmounted Display und die Kopfhörer übernehmen dabei mehrere Aufgaben. Sobald der Besucher auf ein Exponat schaut, werden dazu audiovisuelle Zusatzinformationen gegeben. Interessiert es den Besucher, kann er sich diese anschauen, wiederholen oder pausieren lassen. Die Kommunikation mit dem System könnte durch bestimmte Bewegungen passieren (über die Positions- und die Orientierungsbestimmung). Bestimmte Bewegungsmuster für die Kommunikation könnten in dem Headmounted Display angezeigt werden. Ganz einfache Beispiele für intuitive Bewegungsmuster wären für das Beenden des Anzeigens der Zusatzinformationen einfaches Wegdrehen (Kopfdrehen) von dem Exponat. Möchte man den Vortrag erneut hören, würde man sich kurz wegdrehen und direkt anschließend wieder hindrehen. Alternativ könnte die Kommunikation über das Headset oder den Twiddler erfolgen. Der einzige Nachteil bei der Kommunikation über das Headset wäre ein ansteigender Lärmpegel und damit gleichzeitig eine Erhöhung von Fehleingaben, da andere Stimmen die Bedienung stören. Aber mit den Zusatzinformationen noch nicht genug, es wäre auch denkbar dem Besucher mitzuteilen, wo er sich gerade befindet, wo sich Exponate befinden, die er noch nicht gesehen hat. Er könnte sogar direkt nach Exponaten suchen und sich dahinführen lassen, indem eine Liste der Exponate in dem Headmounted Display angezeigt wird und er ein bestimmtes davon auswählt, sei es per Spracheingabe, Bewegung oder Knopfdruck auf den Twiddler. So könnte der Besucher sichergehen, kein Ausstellungsstück übersehen zu haben. Zugleich wäre das Problem der Anhsammlung von Menschen zu großen Gruppen deutlich reduziert, da keiner mehr einem Museumsführer folgen muss. Sollte das Problem wider Erwarten doch auftreten, könnte er die Informationen über die Kopfhörer und das Headmounted Display direkt empfangen, ohne dass jemand dazwischen redet oder sich ins Bild stellt.

Dieser Museumsbesuch wird ein nie vergessenes Erlebnis werden. Dennoch soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass ein menschlicher Museumsführer nicht gänzlich abgeschafft werden sollte. Ob für Fragen zum System oder für tiefergehende Fragen, über die die Zusatzinformationen nicht verfügen, oder einfach zur zwischenmenschlichen Kommunikation ist es auf jeden Fall sinnvoll eine solche Unterstützung beizubehalten, auch wenn sich die Aufgaben dabei ein wenig verlagern.

4.5 Fazit

Dieses Kapitel zeigt zwar nur einen Ausschnitt an Einsatzmöglichkeiten für ein System wie IMAPS, aber zugleich zeigt es auch das enorme Potential, das hinter einer solchen Entwicklung steht. Allerdings gibt es sicherlich unterschiedliche Anforderungen bei der Software und eventuell sogar bei der Hardware, auf die man bei den einzelnen Szenarien achten muss. Gegebenenfalls muss dafür das System angepasst oder in eine neue Richtung, zum Beispiel

für neue Interaktionsmöglichkeiten, erweitert werden. Insgesamt ist aber auch zu einer solchen Weiterentwicklung zu sagen, dass diese das System nur weiter komplettiert und noch stärker und universeller einsetzbar macht.

5 Design und Realisierung

In diesem Kapitel wird das Szenario des Museumsführers als Gesamtsystem designed und realisiert. Zunächst müssen dafür die Anforderungen an das Gesamtsystem mit Hardware und Software bestimmt werden. Daraufhin folgt das Design und die Realisierung der Hardware- und Softwarekomponenten. Da das Gesamtsystem zu entwickeln den Rahmen einer Bachelorarbeit sprengt, handeln die danach folgenden beiden Unterkapitel von der tatsächlich umgesetzten Hardware und Software. Diese entspricht nur einem Teil des Gesamtdesigns.

5.1 Anforderungen an die Hardware

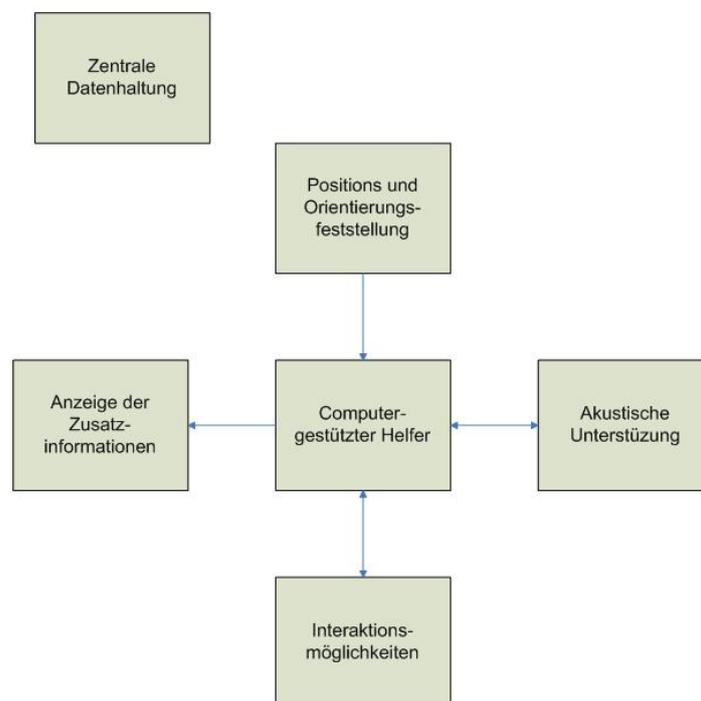


Abbildung 5.1: Übersicht der Hardwarekomponenten

Es gilt nun herauszustellen, was für Hardware grundsätzlich benötigt wird, um das beschriebene Szenario optimal umsetzen zu können. Die auf der vorherigen Seite abgebildete Grafik 5.1 verschafft einen kurzen Überblick über die Komponenten, die prinzipiell zum Einsatz kommen sollen.

An dieser Stelle werden diese Hardwarekomponenten und die Anforderungen daran beschrieben.

5.1.1 Bestimmung der Orientierung

Elementar für dieses Szenario ist es, die Orientierung und damit auch die Position des Besuchers feststellen zu können. Daher wird ein Indoorpositionierungs- und -orientierungssystem benötigt, durch welches die Position und die Orientierung möglichst genau feststellbar sind. Nachfolgend werden die genauen Anforderungen an diese Komponente beschrieben:

- **Genauigkeit:** Es soll bei der Positionsbestimmung eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern erreicht werden. Bei der Feststellung der Orientierung soll eine Genauigkeit im geringen Gradbereich möglich sein.
- **Vollständigkeit:** Es soll möglich sein, alle drei Freiheitsgrade bei der Positionsbestimmung wie auch bei der Orientierungsbestimmung festzustellen.
- **Skalierbarkeit:** Die Anforderungen an das System sollen eingehalten werden können, ohne dass es einen Unterschied macht, wie viele Nutzer oder Geräte gleichzeitig im Einsatz sind.
- **Widerstandsfähigkeit:** Es soll kein Performanceabbau durch Licht, Akustik, Hitze, Magnetfelder, Radiowellen oder andere Umwelteinflüsse geschehen.
- **Kleine Passform:** Das Gerät soll eine möglichst kleine physikalische Größe besitzen. Zugleich sollen aber auch Kabel sowie sichtbare als auch hörbare Technologien vermieden werden.
- **Einfache Konfiguration:** Damit das System in größeren Gebäuden einsetzbar ist, muss der Aufwand der Installation und Konfiguration übersichtlich bleiben. Dabei ist es zum Beispiel wichtig, dass die Räume nicht mit zusätzlichen Kabeln ausgestattet werden müssen, sondern die Kommunikation ausschließlich kabellos vonstatten geht. Ebenfalls verurteilt eine zu komplizierte Konfiguration der Beacons das System von vornherein zum Scheitern.

Damit werden eine Reihe von Anforderungen definiert, die im Design und der Realisierung nach Möglichkeit auch umgesetzt werden sollen.

5.1.2 Visualisierung der Zusatzinformationen

Um Nutzen aus der Positions- und Orientierungsfeststellung ziehen zu können, muss ein Anzeigegerät zum Einsatz kommen. Da für jeden Besucher zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Dinge angezeigt werden sollen, ist es notwendig, dass jeder Besucher ein eigenes Anzeigegerät bekommt. Damit scheidet Flachbildschirme oder andere ähnliche Geräte von vornherein aus. Das Anzeigegerät muss also folgende Bedingungen erfüllen:

- **Freiheit des Nutzers:** Das Anzeigegerät soll nach Möglichkeit den Besucher nicht einschränken. Der Nutzer möchte seine Hände weiterhin zu anderweitigem Einsatz nutzen können, daher scheidet ein in der Hand zu haltendes Display aus.
- **Kleine Passform:** Auf dem Anzeigegerät sollen zwar möglichst viele Informationen dargestellt werden können, aber gleichzeitig soll das Gerät möglichst klein sein, damit der Besucher nicht durch zu viele große und schwere Geräte beim Museumsbesuch belastet wird.
- **Stromversorgung:** Das Anzeigegerät muss mit Strom versorgt werden. Dabei ist es notwendig, dass das Gerät nicht zu viel Strom benötigt, da eine Stromversorgung über eine Steckdose nicht praktikabel ist. Wünschenswert ist es auch, dass die benötigte Versorgung über einen möglichst kleinen und leichten Akku läuft. Dies ist eventuell schwierig, da Displays sehr häufig eine große Menge an Strom benötigen, aber unter dem Aspekt der Portabilität ist es wiederum unabdingbar.
- **Anzeigequalität:** Die Anzeigequalität spielt in sofern eine große Rolle, als dieses Gerät für den Besucher die Hauptinformationsquelle darstellt. Daher soll die Anzeige in Farbe und Schärfe einem hohen Anspruch gerecht werden. Gleichzeitig muss die Auflösung relativ hoch sein, damit auch genügend Informationen dargestellt werden können.
- **Flexibilität:** Der Besucher möchte das Gerät nur für den Fall vor Augen haben, dass er gerade Zusatzinformationen bekommen möchte. Angenommen, er möchte sich gerade mit einem anderen Besucher unterhalten, soll das Gerät nicht störend im Weg sein. In sofern soll der Einsatz des Gerätes flexibel und ohne großen Aufwand möglich sein.
- **Freies Sichtfeld:** Der Besucher möchte, wenn er sich die Zusatzinformationen anschaut, ein freies Sichtfeld auf das Anzeigegerät nutzen können. Dabei soll sich weder eine Person zwischen ihn und das Anzeigegerät drängen, noch auf eine andere Art die Sicht darauf erschwert werden können. Auch soll die Distanz zu dem Anzeigegerät nicht zu groß sein, da der Besucher sonst eventuell Schwierigkeiten hat, das Bild klar und deutlich zu sehen.

Durch die getroffenen Anforderungen scheidet zwar eine Menge von Geräten aus, aber für das Design und die Realisierung muss trotzdem ein den Anforderungen entsprechendes Gerät gefunden werden.

5.1.3 Interaktionsmöglichkeiten

Wenn der computergestützte Helfer nun weiß, wo der Besucher sich befindet und damit durch das Anzeigegerät dem Besucher die entsprechenden Informationen zukommen lassen kann, fehlen dem Besucher nur noch Möglichkeiten mit seinem Helfer zu kommunizieren. Die Anforderungen an die Kommunikation werden nachfolgend definiert:

- **Einfache Kommunikation:** Zuerst einmal ist es wichtig mit dem System auf möglichst einfache Art und Weise kommunizieren zu können. So sollte die Kommunikation auch von statten gehen, nicht über komplizierte geschriebene Befehle, sondern durch möglichst intuitive mündliche Befehle oder Bewegungen.
- **Geringe Störanfälligkeit:** Unabhängig von der Art der Kommunikation ist ein Hauptkriterium die möglichst geringe Beeinflussbarkeit durch Störquellen.
- **Freiheit des Nutzers:** Da das System für den Besucher entwickelt wird, steht im Vordergrund, dass der Benutzer durch das System nicht eingeschränkt werden soll. Daher ist es wichtig, dass er für die Kommunikation nicht beide Hände benötigt, wie es beispielsweise an den meisten Heim-PCs der Fall ist, über Tastatur.
- **Portabilität:** Je komplexer das System wird und je mehr Hardware benötigt wird, desto wichtiger ist es, dass die Hardware verschwindend klein wird und möglichst lange unabhängig vom Stromnetz ist. Dies bezieht sich natürlich auch auf die Interaktionskomponente.

5.1.4 Akustische Unterstützung

Zusätzlich zur visuellen Informationsmöglichkeit wird auf Grund der Vollständigkeit und des besseren Verständnisses für den Besucher auch akustische Unterstützung angeboten. Die Anforderungen daran werden wie folgt definiert:

- **Individualität:** Da jeder Benutzer zu einem von ihm bestimmten Zeitpunkt über das entsprechende Exponat informiert werden möchte, eignen sich hier keine Lautsprecher, die alle Besucher gleichzeitig informieren. Es muss eine Möglichkeit gefunden werden, jeden Besucher für sich zu informieren, ohne dadurch andere zu stören.

- **Lautstärke:** Die Lautstärke muss einstellbar sein, um sie den entsprechenden Wünschen des Besuchers anpassen zu können.
- **Portabilität:** Das Gerät muss klein und leicht sein, um einen hohen Tragekomfort zu gewährleisten.

5.1.5 Zentrale Datenhaltung

Es ist vorgesehen, dass sämtliche Informationen auf einem zentralen Rechner im Museum liegen, damit die Anforderungen an den computergestützten Helfer möglichst gering sind und die Datenhaltung zentral von statten geht. So müssen Änderungen nur einmal vorgenommen werden und die Helfer können sich die benötigten Daten aktuell holen.

- **Hohe Rechenleistung:** Der Computer muss auf jeden Fall ausreichend schnell sein und genügend Kapazitäten zur Verfügung stellen, damit auch bei einer hohen Besucherzahl sofort alle wichtigen Daten zur Verfügung stehen.
- **Redundanz:** Für den Fall, dass irgendetwas an dem Computer defekt ist, muss es einen zweiten geben, der sofort die Aufgabe übernehmen kann. Ein Systemausfall soll möglichst ausgeschlossen sein.
- **Kommunikationsmöglichkeiten:** Der Computer muss mit dem computergestützten Helfer kommunizieren können. Auf Grund der bisherigen Anforderungen kann die Kommunikation natürlich nicht über ein Kabel erfolgen, daher bietet sich eine verbreitete Funkverbindung an.

5.1.6 Computergestützter Helfer

Dem Benutzer muss ein Gerät an die Hand gegeben werden, das die individuellen Daten für den Besucher direkt zur Verfügung stellt. Dies Gerät muss die Positions- und Orientierungsdaten gegebenenfalls auswerten und überprüfen oder auch überprüfen lassen, ob sich dort ein Exponat befindet. Zusätzlich muss er die Koordination sämtlicher Geräte, die dem Besucher zur Verfügung stehen, übernehmen.

- **Portabilität:** Auch hier gilt, dass der Helfer möglichst klein und leicht sein muss und die Akkulaufzeit trotzdem ausreichend ist.
- **Kommunikation:** Der Helfer muss mit dem Server über WLAN kommunizieren können. Zusätzlich muss er die Positions- und Orientierungsdaten erhalten können, einen Anschluss für die visuelle sowie akustische Unterstützung bieten und für die Kommunikation mit dem Besucher die entsprechenden Schnittstellen bieten.

- **Rechenleistung:** Da die Berechnungen soweit möglich zentral ablaufen, muss dies Gerät nicht unbedingt eine hohe Rechenleistung zur Verfügung stellen.

5.2 Anforderungen an die Software

Zu den Anforderungen an die Software ist zu sagen, dass im Design zwischen zwei Use Cases differenziert werden soll. Der erste Use Case behandelt die Einrichtung der Software, wobei der zweite und wichtigere Use Case sich um den Besucher beziehungsweise den Gebrauch des System handelt. Die hier entwickelte Software soll grundsätzlich folgenden Anforderungen genüge tragen:

- **Modularität:** Die Software soll in funktionale, in sich geschlossene und austauschbare Subsysteme gegliedert werden. Dabei ist auch eine genaue Festlegung von Schnittstellen zwischen den Modulen notwendig. Dies ermöglicht eine einfachere Weiterentwicklung. Auch in Hinsicht auf die Wiederverwendung von Code ist es sehr sinnvoll die Software modular zu gestalten.
- **Wartbarkeit:** Das Programm muss gut wartbar sein, damit Fehler einfacher erkannt werden können und notwendige Änderungen leicht vorgenommen werden können.
- **Plattformunabhängigkeit:** Auf Grund der vielen verschiedenen Einsatzmöglichkeiten dieses Systems ist es wichtig, dass das System flexibel ist. Damit ist gemeint, dass es auf verschiedenen Computersystemen mit Unterschieden in Architektur, Prozessor, Compiler und auch im Betriebssystem lauffähig ist.
- **Performance:** Es soll eine möglichst gute Performance erreicht werden. Möglichst wenig Ressourcen sollen benötigt werden und die Algorithmen sollen möglichst effizient arbeiten. Dies ist besonders wichtig für den Einsatz in leistungsschwachen Geräten wie PDAs.
- **Einfache Konfiguration:** Die Software soll einfach konfigurierbar sein, damit zum Beispiel im Falle des Austauschs von Hardware der schnelle Wiedereinsatz garantiert ist. Auch die Konfiguration neuer Exponente muss einfach und schnell möglich sein.

In der nachfolgenden Grafik werden die Anforderungen an die verschiedenen benötigten Softwarekomponenten dargestellt:

Im Design werden auf zwei unterschiedliche Anforderungen für den Administrator und für den Besucher hingewiesen, wobei die Grundziele die gleichen bleiben: Möglichst einfache Konfiguration und insbesondere einfache Nutzung des Systems für den Besucher, für den das System extra entwickelt wird.

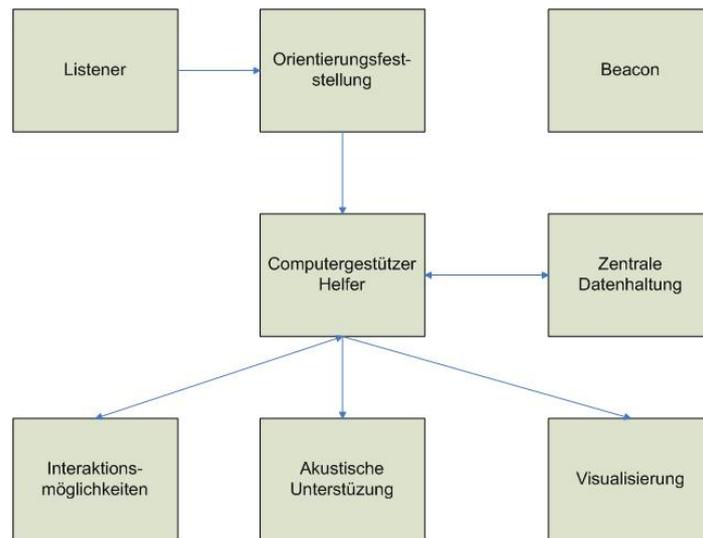


Abbildung 5.2: Übersicht über die Softwarekomponenten

5.2.1 Beacon

Die Software für die Beacon muss in einer hardwarenahen Programmiersprache geschrieben werden. Neben dem Schicken der Funk- und Ultraschallsignale muss die Software unter anderem auch das Problem behandeln, dass es keine Kollisionen mit anderen Beacon geben darf. Dies muss die entwickelte Software zum Installationszeitpunkt schon selbstständig erledigen. Zusätzlich müssen die Beacons entsprechend ihrer Position konfiguriert werden können und eine eindeutige ID muss ihnen zuweisbar sein. Dies ist die Aufgabe des Administrators. Der Besucher hat keine direkten Anforderungen an diese Software.

5.2.2 Listener

Die Software für die Listener, die mit der gleichen Hardwareplatine ausgestattet sind, soll die Entfernung zu dem Beacon berechnen. Die entsprechende Entfernung und die eindeutige ID muss dann über eine definierte Schnittstelle an ein weiteres Gerät übertragbar sein. Bei dieser Softwarekomponente hat weder der Administrator noch der Besucher besondere Ansprüche.

5.2.3 Orientierungsberechnung

Die Anforderungen an diese Softwarekomponente kann an dieser Stelle noch nicht klar formuliert werden, da verschiedene Designmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Die genaue

Definition der Anforderungen wird daher nach der Entscheidung für ein spezielles Hardware-
redesign getroffen.

5.2.4 Visuelle Zusatzinformationen

Die Anforderungen dieser Softwarekomponente sind folgende: Die Komponente muss eine kontinuierliche Verbindung zu dem Hardwaregerät, welches die Informationen anzeigt, herstellen. Dabei müssen bestimmte Konfigurationen vorgenommen werden können, zum Beispiel das Setzen der Auflösung und der Bildwiederholungsfrequenz. Sobald der computergestützte Helfer weiß, dass sich ein Exponat im Blickfeld des Benutzers befindet, muss diese Komponente entsprechende Zusatzinformationen einblenden können. Die Software muss erweiterbar sein für jegliche Art von Anzeigemöglichkeiten (Text, Animation, Film). Der Administrator hat die Aufgabe das Gerät über die Software zu konfigurieren, der Benutzer hat keine direkten Anforderungen an diese Softwarekomponente.

5.2.5 Interaktionsmöglichkeiten

Diese Komponente muss die Befehle, die durch das Kommunikationsgerät erstellt werden, verstehen und umsetzen können. Bei dieser Komponente ist es wichtig, dass sie gut gegen falsche oder nicht existierende Befehle abgesichert ist. Weiterhin muss sie, abhängig vom Kommunikationsgerät, eine gewisse Toleranz bei der Befehlsgabe sicherstellen. Dies sind Anforderungen, die der Besucher an diese Software stellt. Der Administrator hat bei dieser Komponente keine Aufgaben zu erledigen und daher keine direkten Ansprüche.

5.2.6 Akustische Unterstützung

Hier ist darauf zu achten, dass die Software für die akustische Unterstützung mit der visuellen synchronisiert ist, damit zum Beispiel nicht Bild und Ton versetzt laufen. Dies muss die Software gewährleisten. Die Anforderungen des Admins sind leichtes einpflegen neuer Audiodateien oder Sprachbefehle. Der Benutzer muss leicht die Sprache und die Lautstärke auswählen und nach Belieben die Wiedergabe unterbrechen oder neu starten können.

5.2.7 Zentrale Datenhaltung

Die Software auf dem zentralen Computer muss sicherstellen, dass jeder Benutzer über Funk möglichst ohne Zeitverzögerung die Daten bekommt, die er benötigt. Weiterhin muss

die Software dafür sorgen, dass jeder Helfer auch immer mit den aktuellsten Daten ausgestattet ist. Dies sind die Anforderungen des Besuchers. Der Administrator hat die Anforderung, dass das System leicht wartbar ist und Änderungen an den Daten beziehungsweise das Einfügen neuer Daten möglichst einfach ist.

5.2.8 Computergestützter Helfer

Bei der Software laufen alle Teilkomponenten zusammen. Die Software des Helfers ist dafür zuständig, um alle ein- und ausgehenden Daten zu verarbeiten. Das Gerät wird nicht direkt vom Benutzer bedient und die Software muss auch nicht vom Administrator angepasst werden, daher besteht auch bei dieser Komponente keine konkrete Anforderung seitens des Administrators und des Benutzers.

5.3 Design der Hardware

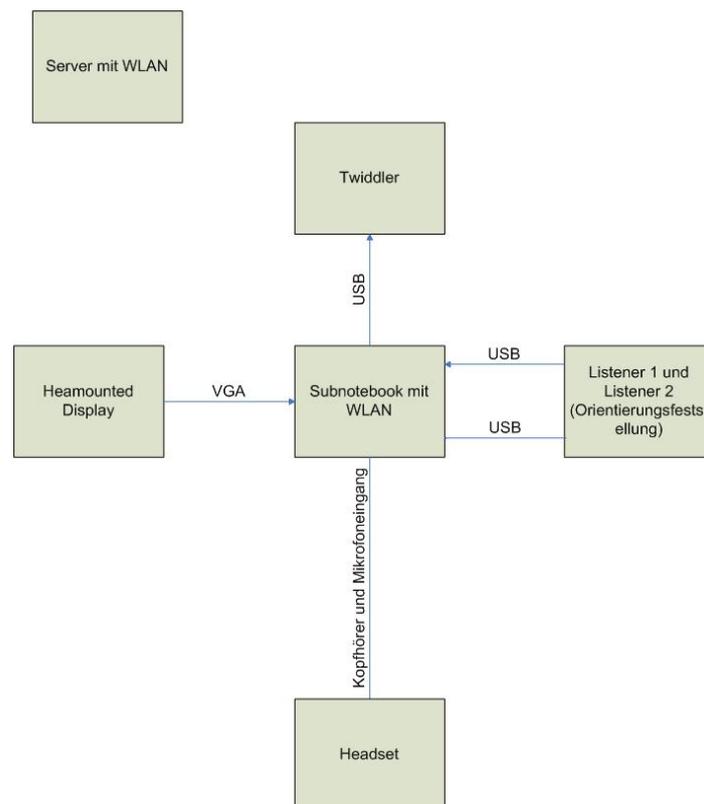


Abbildung 5.3: Schema der Hardwarekomponenten

Nach der Analyse der Anforderungen an die verschiedenen Hardwarekomponenten ist die nächste Aufgabe das Design des Gesamtsystems. Es wird nun dargestellt, welche Komponenten zum Einsatz kommen und wie sie sich in das Gesamtsystem einfügen. Zur Veranschaulichung der einzelnen Hardwarekomponenten wurde das Schema 5.3 auf der vorherigen Seite entwickelt:

5.3.1 Bestimmung der Position

Um zu Positionsangaben zu kommen, muss in einem ersten Schritt die Entfernung zu bestimmten bekannten Punkten gemessen werden. Die Entfernung wird bestimmt, indem gleichzeitig ein Funk- und ein Ultraschallsignal ausgesendet werden. Da sich elektromagnetische Wellen, also Funk, mit Lichtgeschwindigkeit (300.000km/s) ausbreitet und Ultraschall deutlich langsamer mit einer ungefähren Geschwindigkeit von 340m/s, kann man eine Differenzmessung durchführen. Näherungsweise kann man sagen, dass das Funksignal zeitgleich mit dem Senden beim Empfänger angekommen ist. Das nachfolgende Bild soll dies Prinzip verdeutlichen:

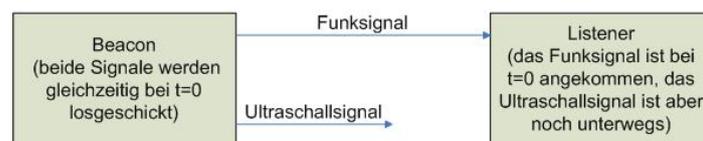


Abbildung 5.4: Schema zur Verdeutlichung der Entfernungsmessung

Dadurch kann man sozusagen den Beacon und den Listener synchronisieren. Hat der Listener das Funksignal empfangen, wird ein Zähler gestartet, der die Zeit misst, die vergeht, bis das Ultraschallsignal angekommen ist. Es wird also die Zeit bestimmt, wie lange das Ultraschallsignal vom Sender (Beacon) zum Empfänger (Listener) unterwegs war. Kennt man die Zeit, die das Signal vom Sender zum Empfänger benötigt hat, und dessen Geschwindigkeit, kann man daraus die Strecke berechnen, die das Signal zurückgelegt hat. Berechnet man so die Entfernung zu mindestens drei Beacons, deren Positionen bekannt sind, kann man das daraus entstehende Gleichungssystem lösen und die Koordinaten (x, y, z) berechnen.

Es wird also eine Platine entwickelt, an die entweder ein Beaconmodul oder ein Listenermodul angeschlossen werden kann. Auf dieser Platine befinden sich als zusätzliche Komponenten eine CANBUS-Schnittstelle für den Einsatz im RobotLab oder zur Kommunikation der Listener, damit diese die Orientierung bestimmen können, RS-232 um die Entfernungen auf einem anderen Gerät in Koordinaten umrechnen zu können, sowie eine CPU, die das Senden und Empfangen steuert, sowie verschiedene Berechnungen ausführt.

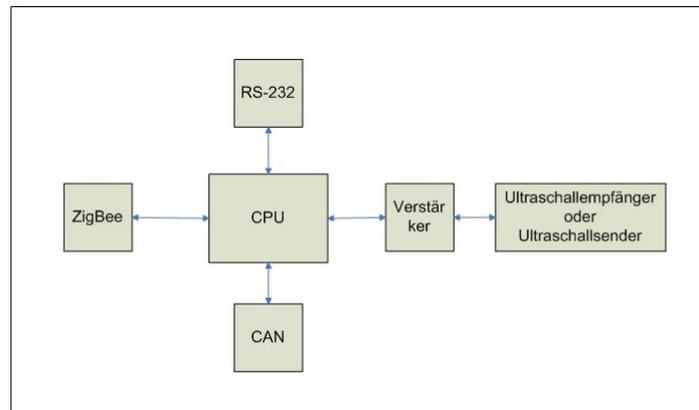


Abbildung 5.5: Blockschaltbild eines Listeners/Beacons

Bei den Beacons werden in der CPU noch die Koordinaten gespeichert sowie eine eindeutige ID. Diese werden mit dem Ultraschall- und Funksignal losgeschickt.

Bei dem Listener erhält die CPU also ein Paket, in dem enthalten ist, von welchem Beacon das Signal kommt, welche Koordinaten er hat und wie lange das Signal unterwegs war. Auf der CPU wird daraufhin die Entfernung berechnet. Das aus den Daten entstandene Paket kann dann über die RS-232-Schnittstelle abgegriffen werden.

5.3.2 Feststellung der Orientierung

Dieses Unterkapitel bildet einen Schwerpunkt dieser Arbeit. Daher werden verschiedene Designmöglichkeiten angesprochen und im Kapitel Realisierung der Hardware eine Umsetzung beschrieben. Im dritten Kapitel wurden klassische Methoden besprochen, durch die man grundsätzlich die Orientierung bestimmen kann. Die in Gebäuden typische Umgebung macht jedoch den Einsatz mit genauen Ergebnissen unmöglich, da die Messungen von der Umgebung gestört werden. Es gibt speziell zu der im vorherigen Unterkapitel besprochenen Hardware verschiedene Möglichkeiten die Orientierung zu bestimmen. Es werden nachfolgend vier verschiedene Designmöglichkeiten dazu beschrieben:

1. Eine relativ simple Möglichkeit die Orientierung zu bestimmen, sogar ohne ein extra Modul für die Orientierung zu entwickeln, ist folgendes: Zuerst wird die Annahme getroffen, dass man sich nur vorwärts bewegt. In einem nächsten Schritt werden über eine bestimmte Zeit die Positionsdaten ausgewertet und verglichen. Dadurch kann man bestimmen, wohin man sich bewegt hat. In Kombination mit der beschriebenen Annahme weiß man retrospektiv in welche Richtung geschaut wird. Ziel ist es, zu jedem Zeitpunkt die Blickrichtung zu kennen und zwar ohne Annahmen treffen zu müssen,

die der Museumsbesucher leicht auch ohne Absicht hintergehen kann. Deshalb macht dieser Ansatz eine Kommunikation mit dem System fast unmöglich.

2. Ein zweiter Ansatz ist es, die Orientierung mittels Phasenverschiebung dreier oder besser vierer in einem Dreieck so dicht wie möglich nebeneinander angeordneten Ultraschallsensoren zu bestimmen. Die drei Listener empfangen die Ultraschallsignale von einem Beacon. Auf Grund der Phasenverschiebung kann dann die Orientierung gemessen werden.

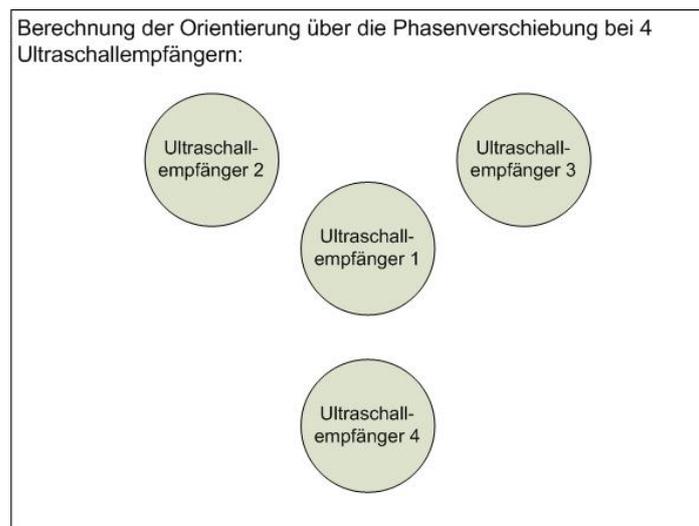


Abbildung 5.6: Bestimmung der Orientierung über Messung der Phasenverschiebung mit vier Ultraschallempfängern

Dieser Ansatz ist vermutlich der beste, dennoch fiel die Entscheidung dagegen, weil die Entwicklung den Rahmen einer Bachelorarbeit deutlich überschreitet und zudem die Kosten für die Entwicklung zu hoch werden und somit das schon stark ausgereizte Budget überzogen würde.

3. Die dritte Möglichkeit ist, die Orientierung nicht über drei Ultraschallempfänger, sondern über drei Listener, die ebenfalls in einem Dreieck angeordnet sind, zu bestimmen. Dabei messen alle drei Listener die Entfernung zu dem gleichen Beacon. Hierbei ist darauf zu achten, dass die drei Listener die gleiche Ultraschallwelle empfangen. Dies kann man auf folgende Art und Weise ermöglichen: Es sendet immer nur ein Beacon zur gleichen Zeit. Dies ist standardmäßig so, damit die Signale sich nicht stören. Dann versucht jeder Listener ein Signal von dem Beacon zu empfangen. Da die Beacons mit einer eindeutigen ID ausgestattet sind, lässt sich einfach überprüfen, ob das empfangene Signal von dem gleichen Beacon stammt. Sollte dies wider Erwarten nicht der Fall sein, müssen die Daten gelöscht werden. Sollte jeder Listener das Signal von dem

gleichen Beacon empfangen haben, muss der Empfang neuer Daten für eine gewisse Zeit gesperrt werden, bis die Daten ausgewertet werden konnten. Um dies möglich zu machen, sollen die drei Listener über CANBUS miteinander kommunizieren. Einer der Listener hat dann die Aufgabe, die Entfernungen zu sammeln und wenn er alle drei Entfernungen hat, diese über die serielle Schnittstelle abzuschicken. Das serielle Kabel wird mit einem Adapterkabel verbunden, damit die Daten per USB übertragen werden können, da der benutzte Laptop sowie fast alle PDAs nur mit USB und nicht mit RS232 ausgestattet sind. Sind die Daten auf dem entsprechenden Endgerät angekommen, können dort die Werte beispielsweise in einer Javaanwendung ausgewertet werden. Damit lässt sich die Orientierung feststellen.

Vorteil dieser Methode ist eine relativ hohe Genauigkeit und dass die Daten nur über ein einziges USB-Kabel laufen, vor allem für Geräte mit nur einem USB-Steckplatz.

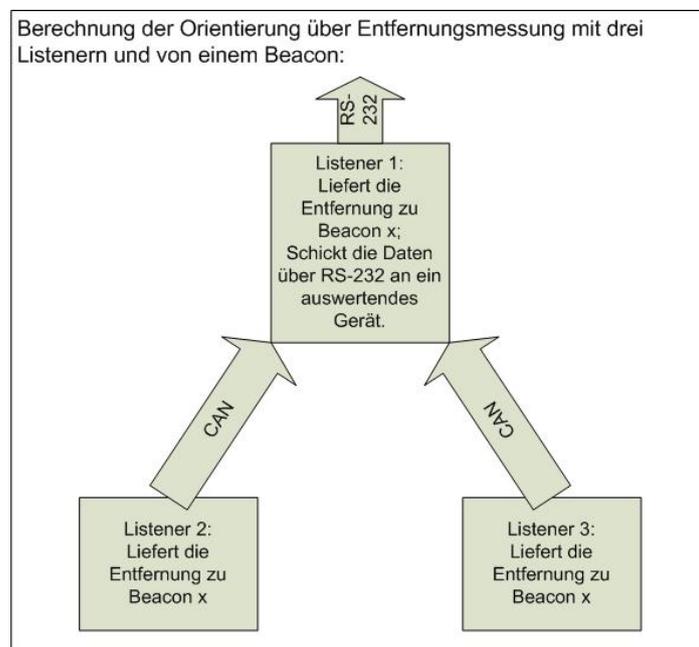


Abbildung 5.7: Berechnung der Orientierung über CANBUS

Trotzdem fiel die Entscheidung auch gegen diese Methode, da die Hardware, die zur Entwicklung unabdingbar ist, zu dem benötigten Zeitpunkt dafür nicht zur Verfügung stand.

4. So wird ein vierter Ansatz umgesetzt, der wie folgt aussieht: Es werden zwei Listener genommen, die sich auf einer Geraden eine bestimmte Entfernung zueinander befinden. Die Entfernung ist abhängig von der erreichten Genauigkeit bei der Positionsbestimmung. Je genauer diese bestimmt werden kann, um so näher können die Listener nebeneinander liegen und umso kleiner wird das Modul. Beide Listener sind

jeweils über USB mit einem Laptop verbunden. Der Unterschied zu der zweiten Variante ist, dass die Listener diesmal nicht die Entfernung von einem Beacon messen, sondern die Entfernung von drei verschiedenen Beacon entsprechend ihrer Standardkonfiguration, woraus diese ihre Koordinaten berechnen können, also die Position im Raum. Nimmt man nun den zweiten Listener dazu und bringt beide in eine bekannte Position relativ zueinander, kann man die Orientierung berechnen. So wird der eine Listener als der vordere definiert und der zweite Listener als der hintere.

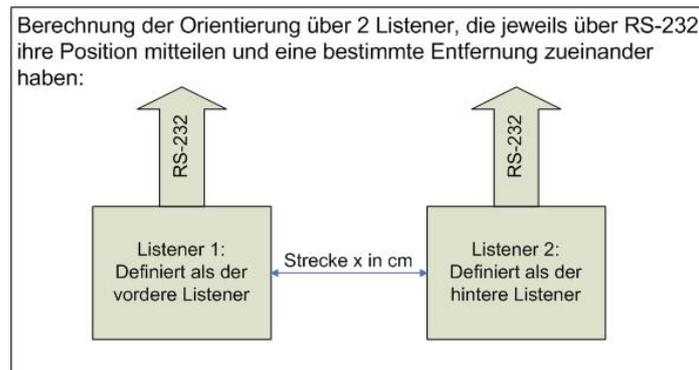


Abbildung 5.8: Bestimmung der Orientierung mit nur zwei Listnern

Die beiden Listener müssen auf der Geraden soweit voneinander entfernt sein, dass sich deren Koordinaten eindeutig voneinander unterscheiden. Wird diese Entfernung unterschritten, läßt sich die Position der beiden Listener nicht mehr unterscheiden. Dies hat dann zur Folge, dass sich auch die Orientierung nicht mehr berechnen läßt. Diese Gerade, die durch die beiden Listener beschrieben wird, muss direkt mit der Sagittal-Achse (durchläuft den Körper von vorne nach hinten) des Menschen oder Körpers übereinstimmen, um daraus später die Blickrichtung bestimmen zu können. Ein erstes Problem, welches hierbei auftritt, ist, dass nicht sichergestellt werden kann, dass die Koordinatenberechnung auf Grund der gleichen Signale von den gleichen Beacon erstellt wird. Ein weiteres Problem ist, dass die Ungenauigkeiten, die schon bei der Positionsberechnung entstehen, sich bei Berechnung der Orientierung potenzieren können, weil bei dieser Art der Orientierungsfeststellung nicht von den Entfernungen ausgegangen wird, sondern von der ermittelten Position. Das heißt bei der Positionsermittlung treten schon Ungenauigkeiten auf, die weiter genutzt werden, um die Orientierung zu berechnen. Hier liegt es also an der Berechnung der Position, dass eine genaue Orientierung ermittelt werden kann. Dazu sind auf jeden Fall Filter notwendig, die die Positionsberechnung genauer machen, so dass nicht gelegentlich irgendwelche Ausreisser auftreten, durch die alle weiteren Berechnungen unzureichend genau werden.

Ein Ansatz, um die Berechnung der Position eventuell genauer zu machen, ist der Kalmanfilter. Eine Alternative ist ein Exponentialfilter.

5.3.3 Visualisierung der Zusatzinformationen

Das Hardwaredesign im Bezug auf die Anzeigemöglichkeit ist durch die hohen Anforderungen relativ stark eingeschränkt. In diesem Fall soll nichts selbst entwickelt werden, sondern bestehende Hardware nur genutzt werden. Daher stellt sich die Frage, welche Hardware sich eignet. Die einzigen beiden sinnvollen Möglichkeiten die bleiben, sind die Anzeige auf einem PDA oder auf einem Headmounted Display. Die Entscheidung für das Headmounted Display fällt nicht schwer, da zum Testen eines zur Verfügung stand und es sämtlichen Anforderungen entspricht. Sogar die Freiheit des Besuchers wird nicht eingeschränkt, da das Gerät am Kopf befestigt wird, so hat der Besucher beide Hände zu anderweitigem Einsatz frei. Es wurde sich für ein Gerät der Firma Micro Optical entschieden. Wenn man möchte kann man lediglich durch die Augenbewegung die Zusatzinformationen auf dem Display sehen oder daran vorbeischaun.

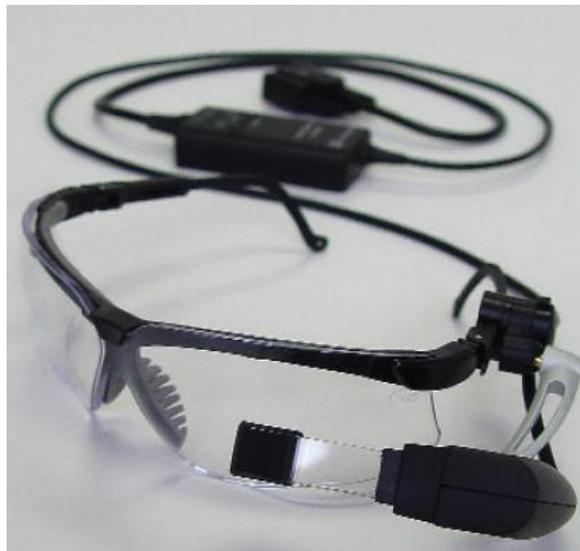


Abbildung 5.9: Headmounted Display der Firma Micro Optical, in diesem Szenario im Einsatz

5.3.4 Interaktionsmöglichkeiten

In diesem Fall ist die Entscheidung für ein bestimmtes Design noch nicht getroffen worden, denn die jeweiligen Vor- und Nachteile konnten auf das Szenario bezogen noch nicht getestet werden. Zudem ist es denkbar, zwei oder eventuell alle drei Möglichkeiten zu kombinieren. Daher werden an dieser Stelle die drei Designmöglichkeiten besprochen:

5.3.4.1 Headset/Mikrofon

Für ein Headset bzw. Mikrofon spricht, dass es schon sehr preiswerte Modelle gibt, die auch einen ziemlich guten Filter für Spracheingaben beinhalten. Zudem gibt es schon ziemlich ausgereifte Spracherkennungstools. Ein weiteres Argument dafür ist, dass auf jeden Fall Kopfhörer benötigt werden und es genügend Modelle gibt, bei denen gleichzeitig ein Mikrofon integriert ist. Dagegen spricht, dass die Programme für eine gute Spracherkennung erst trainiert werden müssen und es in einem Museum viele Besucher mit verschiedenen Akzenten und Sprachen geben wird. Ein zweiter Grund, der dagegen spricht, ist die mögliche Lautstärke in einem Museum, die die Spracheingaben stören könnte. Hinzu kommt noch, dass die Lautstärke sich deutlich erhöht, wenn jeder Besucher mit seinem computergestützten Helfer spricht, erst recht, wenn dies nicht auf Anhieb funktioniert.

5.3.4.2 Twiddler

Ein Twiddler ist ein Eingabegerät, welches vergleichbar mit einem Gamepad ist, aber meistens nur in einer Hand gehalten wird. Daraus ergibt sich der erste Nachteil. Mit einem Twiddler wird die Handlungsfreiheit des Benutzers eingeschränkt. Ein weiterer Punkt, der kritisch betrachtet werden muss, ist die individuelle Benutzung. Da ein Besucher in der Regel das selbe Museum nicht mehrfach besucht, hat er nicht viel Zeit den Umgang mit dem Twiddler zu üben. Andererseits muss der Twiddler auch nicht viele Knöpfe zur Verfügung stellen, da es völlig ausreicht, wenn man bestätigen und abrechnen, sowie nach oben und unten scrollen kann. Eventuell noch ein weiterer Knopf, der kontextabhängig ist und dessen Funktion im Display angezeigt wird. Ein klarer Vorteil des Twiddlers ist, dass die Störanfälligkeit sehr gering ist.

5.3.4.3 Bewegungsmuster

Vom Prinzip her ist dies eine sehr schöne Möglichkeit mit dem System zu interagieren. Allerdings stellt sich die Frage, ob das Positions- und Orientierungssystem überhaupt genau genug wird, um dies zu ermöglichen. Es ist vorstellbar, dass bestimmte Bewegungen bestimmte Befehle an das System widerspiegeln. Zum Beispiel könnte das Abwenden von dem Exponat das Beenden des Vortrages bedeuten. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die Bewegungen ganz einfach bleiben, damit die Kommunikation fehlerfrei ablaufen kann. Die Störanfälligkeit bei entsprechender Genauigkeit ist vermutlich eher gering, also ein Vorteil. Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass bereits vorhandene Hardware weiter genutzt werden kann, so dass der Besucher nicht noch ein Gerät mit sich herumtragen muss.

5.3.5 Akustische Unterstützung

Auch in diesem Fall soll auf bereits bestehende Hardware zurückgegriffen werden. Kommt das Mikrofon nicht zum Einsatz, erfüllt ein günstiges paar Kopfhörer, welches noch verkabelt ist, seine Aufgabe zur akustischen Unterstützung. Kommt das Mikrofon hingegen doch zum Einsatz empfiehlt sich ein Headset, welches Mikrofon und Kopfhörer vereint. Auch hier ist eine günstige verkabelte Version zu empfehlen, da bei einer Funkverbindung zu leicht Interferenzen auftreten können und dann auch wieder eine Stromversorgung über einen Akku notwendig ist. In diesem Fall ist kein Vorteil an einer kabellosen Verbindung zu erkennen.

5.3.6 Zentrale Datenhaltung

Zur zentralen Datenhaltung eignet sich ein leistungsstarker Server. Dieser wird mit WLAN ausgestattet, um mit dem computergestützten Helfer verlässlich kommunizieren zu können. Für WLAN wurde sich entschieden, weil es schon standardmäßig bei vielen Geräten dabei ist. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Daten vor Manipulation durch Verschlüsselung zu schützen. Des Weiteren muss er redundant ausgelegt sein, wie in den Anforderungen festgelegt wurde. Ansonsten reicht ein handelsüblicher Server. Wo letztendlich die Berechnungen stattfinden, kann man von der Leistungsfähigkeit des kleinen Helfers abmachen, soll aber prinzipiell auf diesem Gerät stattfinden.

5.3.7 Computergestützter Helfer

Es gibt grundsätzlich zwei Designmöglichkeiten. Wünschenswert ist es, dass der Helfer so klein wie möglich ist, aber noch genug Rechen- und Akkuleistung mitbringt, um seine Aufgaben zu erfüllen. Fällt die Entscheidung auf einen PDA, muss dieser mit WLAN und einem USB-Anschluss ausgestattet sein, sowie einer Schnittstelle zum Headmounted Display. In diesem Fall werden sämtliche Berechnungen auf den Server übertragen und der PDA bekommt immer nur fertige Ergebnisse geliefert und ist für die Kommunikation der einzelnen Komponenten zuständig. Auf Grund der Tatsache, dass für die Orientierungsfeststellung zwei USB-Anschlüsse benötigt werden und kein PDA zur Verfügung stand, an dem man das Headmounted Display anschließen kann, fiel die Entscheidung zwangsweise auf ein Subnotebook. Der Vorteil ist, dass dies Subnotebook standardmäßig WLAN, zwei USB-Anschlüsse und eine Schnittstelle für den Monitor bietet. Das Subnotebook ist mit einer 8,9" Bildschirm-diagonalen ziemlich klein und damit auch einigermaßen portabel. Um einen Teil der Berechnungen oder vielleicht auch alle ausführen zu können, hat er genug Rechenleistung. Die Akkudauer ist bei beiden Geräten ein kritischer Punkt, aber dadurch, dass die Displays in beiden Fällen nicht benötigt werden, wird hier der größte Stromverbraucher eingespart und

die Akkulaufzeit damit deutlich erhöht. Es kann allerdings sein, dass pro Tag ein Ersatzakku benötigt wird.

5.3.8 Unterbringung der Hardware

Nicht ganz unerheblich, wenn auch nur am Rande zur Aufgabe gehörend, ist die Frage der Unterbringung der Hardwarekomponenten. Denn nur mit einer vernünftigen Möglichkeit die Hardware verschwinden zu lassen, läßt sich das Szenario in die Tat umsetzen. Es ist also angedacht, eine bequeme Kopfbedeckung zu entwickeln, in der das Headmounted Display fest integriert ist, so dass es keinen Unterschied macht, ob der Besucher Brillenträger ist oder nicht. Des Weiteren sind in die Kopfbedeckung die Kopfhörer mit eingebaut. Zu guter letzt ist oben auf der Kopfbedeckung das Modul zur Bestimmung der Position und Orientierung befestigt, so dass die Ausrichtung mit aufsetzen der Kopfbedeckung erledigt ist. Zugleich wird damit garantiert, dass die Listener immer guten und direkten Empfang von den Beacons haben. Damit dürfte die Kopfbedeckung auch nicht zu schwer sein. Für die restliche Hardware wird am besten ein ganz kleiner und leichter Rucksack benutzt. In ihm verschwinden die Kabel und das Subnotebook. Der Twiddler wird, wenn es zum Einsatz kommt, nach aussen verlegt und direkt in die Hand des Besuchers gegeben.

5.4 Design der Software

An dieser Stelle werden die Anforderungen an die Softwarekomponenten in ein Design der einzelnen Komponenten umgesetzt. Um das Design zu veranschaulichen, stellen die zwei Use Cases auf der folgenden Seite dar, welchen Anforderungen das Design auf Administrator-Ebene (Abbildung 5.10) und auf Besucher-Ebene (Abbildung 5.11) entspricht.

5.4.1 Beaconconfiguration

Die Beacon sind hardwarenah in C programmiert. Es wird eine Schnittstelle geschaffen, die es dem Administrator möglich macht, nachdem er den Beacon an einen seriellen Port angeschlossen hat, über eine GUI die entsprechenden Koordinaten und die eindeutige ID zu vergeben. Dies muss in der Regel pro Beacon nur einmal geschehen.

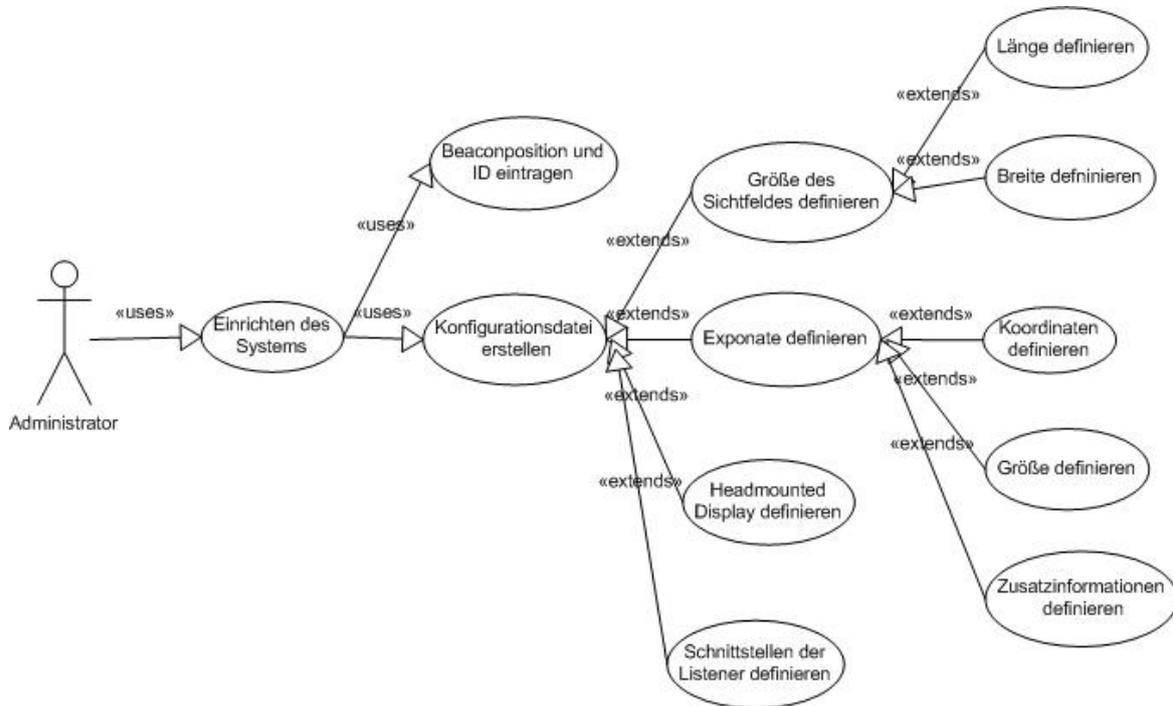


Abbildung 5.10: Use Case - Einrichtung des Systems durch einen Administrator

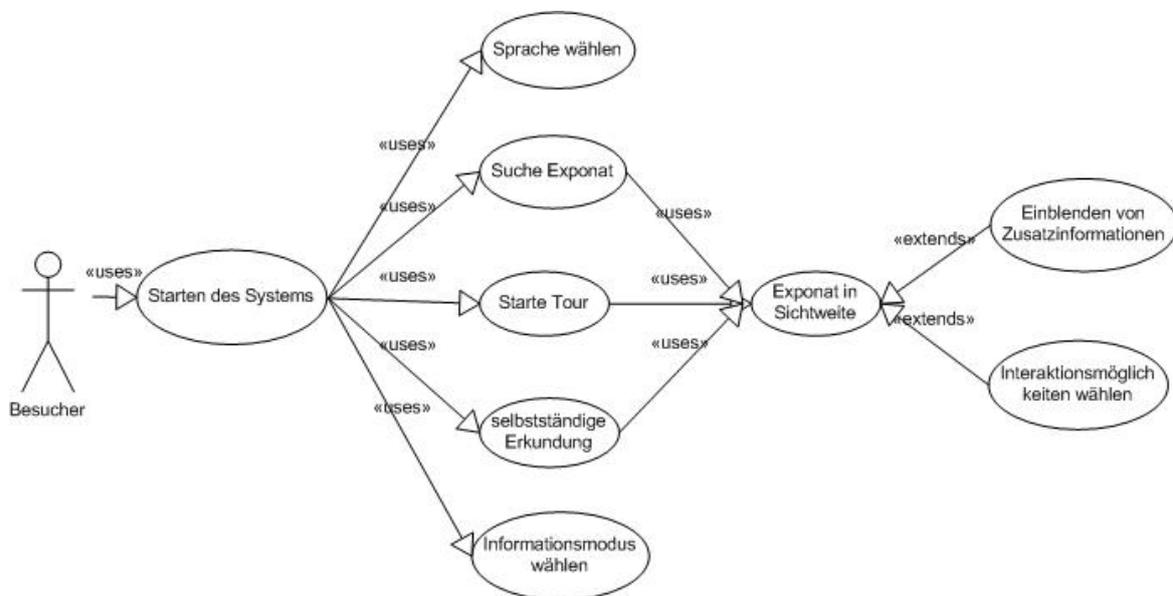


Abbildung 5.11: Use Case - Nutzung durch einen Besucher

5.4.2 Positionsberechnung

Bei der Software zur Positionsbestimmung wird sich, gemäß der Plattformunabhängigkeit und der anderen Anforderungen, für Java entschieden. Die Positionsberechnung findet also nicht auf dem Listener statt, sondern dieser liefert lediglich die Entfernungen und die ID des Beacon. Diese Daten werden über RS-232 übertragen und in einem Javaprogramm berechnet. Hierzu wird eine Bibliothek zur Verfügung gestellt. Weder der Administrator noch der Besucher haben direkten Kontakt mit dieser Komponente.

5.4.3 Orientierungsdaten

Entsprechend der Positionsberechnung wird die Orientierung auch extern in Java berechnet. Dies Modul liefert nur die Koordinaten. Dazu wird die Bibliothek zur Positionsberechnung eingebunden. Zusätzlich wird ein Eventhandler geschrieben, der bestimmt über welchen USB-Anschluss die Daten kommen und damit bestimmt ob es die Koordinaten des vorderen oder hinteren Listeners sind. Auch hierzu haben auf Grund des modularen Aufbaus weder Administrator noch Besucher eine direkte Schnittstelle.

5.4.4 Visualisierung auf dem Headmounted Display

Für die Anzeige auf dem Headmounted Display muss die Software nicht viel erledigen. Das Display wird einfach als externes Display definiert, darüber wird die entsprechende GUI dargestellt. Die Software muss lediglich eine Konfigurationsmöglichkeit bieten, um die Bildwiederholungsfrequenz und die Auflösung zu definieren. Dies kann der Administrator zentral über die Configurationkomponente machen.

5.4.5 Interaktionsmöglichkeiten

Da es noch keine Entscheidung für ein konkretes oder mehrere Geräte gibt, gibt es auch noch kein genaues Design. Bei einem Headset ist es sinnvoll eine kommerzielle Sprachsoftware anzuschaffen, die müßte dann lediglich eingebunden werden und die entsprechenden Befehle mit Aktionen versehen werden. Zwei bekannte und zuverlässige Produkte sind von IBM Via Voice und das Dragon NaturallySpeaking.

Fällt die Entscheidung auf den Twiddler bietet sich der Twiddler2 von der Firma HandyKey an. Das Gerät ist Einhandtastatur und Maus in einem Gerät. Hiermit lässt sich in mobilen Anwendungen Text eingeben und die Maussteuerung benutzen. In diesem Fall werden die

Eingaben für das System ganz normal über Maus und Tastatur erfolgen und dementsprechend sind diese in Java einzubinden.

Die dritte Möglichkeit sind die Bewegungsmuster, für die noch eine extra Softwarekomponente geschrieben werden muss, die entsprechende Bewegungen erkennt. Egal welche Möglichkeit umgesetzt wird, ist das die wichtigste Schnittstelle für den Besucher, dieser muss durch intuitive Bedienung davon überzeugt sein. Der Administrator muss eventuell die Geräte konfigurieren, aber dies soll eigentlich alles fest vorgegeben sein.

5.4.6 Akustische Unterstützung

Diese Komponente muss mit der Anzeige synchronisiert sein. Des Weiteren müssen Audiodateien erstellt werden und den entsprechenden Aktionen, die der Besucher auswählen kann, zugewiesen werden. Das Erstellen von Audiodateien ist für den Administrator von Bedeutung, wenn neue Exponate dazu kommen. Wenn die Sprache aufgenommen wurde, dazu eignet sich eine handelsübliche Aufzeichnungssoftware. Im einfachsten Fall der Audiorecorder von Windows. In der Konfigurationskomponente muss der Administrator die Dateien den Exponaten zuweisen können.

5.4.7 Zentrale Datenhaltung

Es werden alle Daten, die für jeden Benutzer gleich sind, auf dem Server verwaltet. Da das Gesamtdesign auf Java ausgelegt ist und eine WLAN-Verbindung genutzt werden soll, geschieht die Verteilung der Daten folgendermaßen:

Auf dem Computer läuft ein Web-Server und dort liegt auch das Programm, welches verteilt wird. Die Verteilung geschieht über Java Web Start. So ist für jeden Helfer garantiert, dass beim Start überprüft wird, ob die aktuellsten Daten vorliegen. Ist dies der Fall wird ein zwischengespeicherter Teil auf dem Helfer direkt aufgerufen und dadurch die Startgeschwindigkeit erhöht. Sollte dies nicht der Fall sein, wird das aktuelle Programm erst auf den Helfer kopiert. Aufzurufen ist das Programm über eine JNLP-Datei oder direkt über den Browser, wenn er das Java Plugin unterstützt.

5.4.8 Configuration

Diese Komponente macht es möglich alle variabel einstellbaren Funktionen zentral einfach konfigurieren zu können. Damit bildet diese Komponente nur eine Schnittstelle zum Administrator. Für diesen muss die Konfiguration einfach umsetzbar und erweiterbar sein.

5.4.9 Berechnungen

An dieser Stelle werden sämtliche Berechnungen bereit gestellt. Durch die zur Verfügungstellung von Funktionen und die Abkapselung ist für eine leichte Erweiterbarkeit gesorgt. Mit dieser internen Softwarekomponente haben weder der Administrator noch der Benutzer Kontakt, das heißt sie haben auch keine Anforderungen.

5.4.10 Controller

Das Javaprogramm orientiert sich an dem MVC-Modell. In dieser Komponente laufen alle Teilbereiche zusammen. Alle wichtigen Module werden an dieser Stelle zentral zusammengefügt. Dies macht eine leichte Wartbarkeit möglich. Alle nötigen Einstellungen werden über die Komponente Configuration erledigt. Daher hat der Administrator keine direkten Anforderungen an diese Komponente, demzufolge der Benutzer auch nicht.

5.4.11 Simulation

Diese Komponente wird geschaffen, um eine Möglichkeit zu haben, die Ergebnisse von den Testdaten oder echten Daten zu überprüfen. In dieser Komponente sind die Exponate in einer Art Übersichtskarte zu sehen, sowie der Besucher und sein Sichtfeld. Diese Komponente dient dem lediglich dem Administrator, um überprüfen zu können, ob alles seine Richtigkeit hat. Im normalen Betrieb läuft die Simulation nicht mit, daher bestehen auch keine weiteren Anforderungen.

5.4.12 Testdaten

Eine Möglichkeit Testdaten einzulesen wird aus dem Grund geschaffen, weil die Möglichkeit besteht, dass die Hardware nicht rechtzeitig fertig wird. Es soll trotzdem möglich sein, das System auf seine Lauffähigkeit zu überprüfen. Diese Komponente hat sobald die realen Daten zur Verfügung stehen keine weitere Funktion. Die Testdaten werden aus zwei separaten Dateien eingelesen, um den Empfang von echten Daten zu simulieren.

5.5 Realisierung der Hardware

Dieses Unterkapitel beschreibt die Teile des Designs, die im Zuge der Bachelorarbeit realisiert wurden. Das sind in der Hauptsache die für den Listener und Beacon identische Grundplatine, die steckbaren Beacon- und Listenermodule und das Orientierungsmodul.

Bevor es an die Realisierung der Beacon- und Listenerhardware ging, die Sebastian Gregor übernommen hat, wurden Absprachen über das Design, die Anschlüsse und die jeweiligen Anforderungen getroffen.

5.5.1 Grundplatine

Wie im Design beschrieben, wurde eine Platine entwickelt, die sowohl für den Listener als auch für den Beacon genutzt werden kann. Diese Platine enthält einen RJ-45 Stecker, an den wahlweise ein Listener oder ein Beacon angeschlossen werden kann. Der Listener ist mit einem Ultraschallempfänger und der Beacon entsprechend mit einem Ultraschallsender ausgestattet. Zur Entfernungsmessung ist die Platine zusätzlich zum Ultraschall mit einem Funkmodul ausgestattet. Hierbei wurde sich für das ZigBee-Modul EasyBee entschieden, da es einen deutlich schlankeres Protokoll hat als das Pendant Bluetooth. Des Weiteren ist die Platine mit einem Atmelcontroller ausgestattet, dem AT90Can128. Dieser wurde ausgewählt, um die Kommunikation über CANBUS zu erleichtern. CANBUS wurde auf Grund des möglichen Einsatzes im RobotLab der Schaltung hinzugefügt. Abgesehen von dem CAN-Treiber ist dieser Controller baugleich mit dem ATMEGA128 von Atmel. Um die Listener auswerten zu können, muss man die Daten entsprechend auslesen können, dies geschieht über die serielle Schnittstelle RS-232.

5.5.2 Beacon

Die Abbildung 5.12 zeigt einen Beaconprototypen. Das Modul in seinem endgültigen Design wird noch kompakter aussehen. Zum Ersten wird die Steckverbindung für den Ultraschallsender entfallen, dafür wird dieser direkt angelötet. Dadurch wird der Beacon erstmal deutlich kompakter. Zusätzlich entfallen die Kommunikationsmöglichkeiten nach außen (CANBUS und RS-232), da diese bei dem Beacon nicht notwendig sind. Dieser soll lediglich seine Funk- und Ultraschallsignale zusätzlich mit seinen Koordinaten und der eindeutigen UserID senden. Die Ultraschallsender namens MA40B8S sind von der Firma Murata. Wenn verschiedene Räume mit den Beacon ausgestattet werden, ist zusätzlich vorgesehen, dass die Beacon nicht mehr über Batterien mit Strom versorgt werden, sondern eine andere Möglichkeit der Stromversorgung geschaffen wird. Hierzu bieten sich handelsübliche Lampen an Drahtseilen an, die an der Decke befestigt werden. Über diese Drahtseile werden gewöhnlich

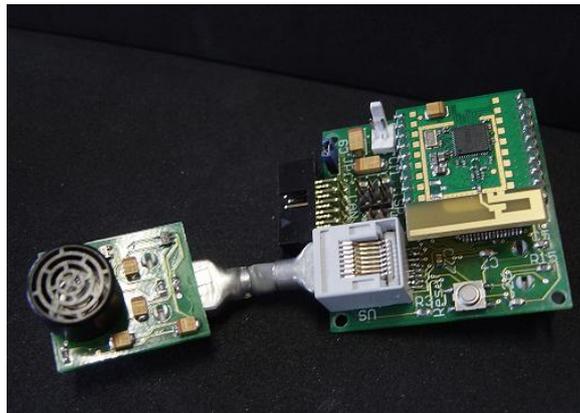


Abbildung 5.12: IMAPS: Grundplatine steckbar mit Beacon

die Lampen, bei dieser Anwendung allerdings die Beacon, mit dem entsprechenden Strom kontinuierlich versorgt.

5.5.3 Listener



Abbildung 5.13: IMAPS: Grundplatine steckbar mit Listener

Die Listener werden vorerst auf dieser prototypischen Platine angeschlossen bleiben. Der Vorteil keiner festen Verlötung besteht darin, dass man den oder die Listener nach außen legen kann, damit die Ultraschallempfänger, ebenfalls von der Firma Murata (MA40B8R), die Signale auch optimal empfangen können. Dabei kann für die bessere Handhabung der Rest der Hardware (Platine und Batterien) irgendwo in der Kleidung oder ähnlichem verschwinden. Die Kommunikationsschnittstellen über den CANBUS und RS-232 bleiben weiterhin erhalten, damit die Möglichkeit besteht, die Listener an Laptops per Adapterkabel von RS-232 auf USB anzuschließen oder für die Anwendungen im RobotLab über CANBUS mit den Robotern zu verbinden.

5.5.4 Orientierung

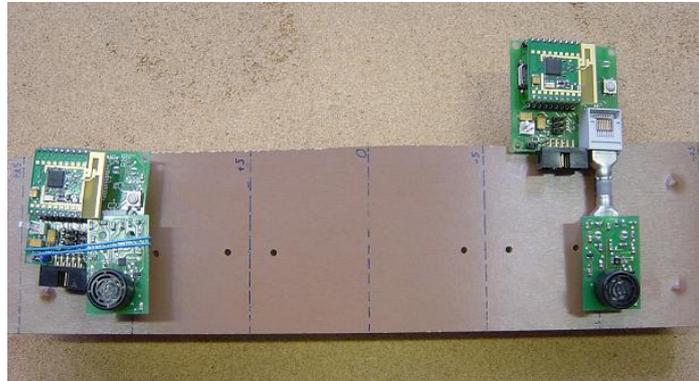


Abbildung 5.14: IMAPS: Orientierung - Prototyp

Auf Grund der in Kapitel 5.3.2 genannten Gründe, fiel die Entscheidung für den vierten Ansatz. Genau wie im Design besprochen, wurde die Hardware realisiert. Die Abbildung 5.14 zeigt, wie die zwei Listener auf einer Geraden, eine definierte Entfernung voneinander entfernt, befestigt sind. Diese Entfernung ist bei dem prototypischen Aufbau variabel gestaltbar, entsprechend der erreichbaren Genauigkeit. Die beiden Listener sind über einen Adapter von RS-232 auf USB jeweils am Laptop angeschlossen und liefern separat ihre Koordinaten.

5.6 Realisierung der Software

Die entwickelte Software lässt sich in mehrere Bereiche aufteilen. Es wurde bei den Anforderungen und im Design beschrieben, dass viel Wert darauf gelegt wird, dass die Software modular aufgebaut ist. Für das Softwaredesign wurde sich an dem dreischichtigen Architekturmodell MVC (Model-View-Controller) orientiert. Als Model dienen die beiden Klassen, die die Testdaten und die echten Daten zur Verfügung stellen. Die Views verkörpern die beiden Klassen Simulation und Headmounted Display. Der Controller stellt die Verbindung zwischen den beiden Schichten her und steuert diese. Die verschiedenen Bereiche werden im Folgenden näher erläutert. Auf der nächsten Seite befindet sich die dazugehörige Abbildung 5.15, die einen Überblick über die realisierten Softwarekomponenten gibt.

5.6.1 Configuration

Den einfachsten Bereich stellt eine Klasse Configuration dar. In dieser statischen Klasse werden alle wichtigen Komponenten, die gegebenenfalls eingestellt oder angepasst werden

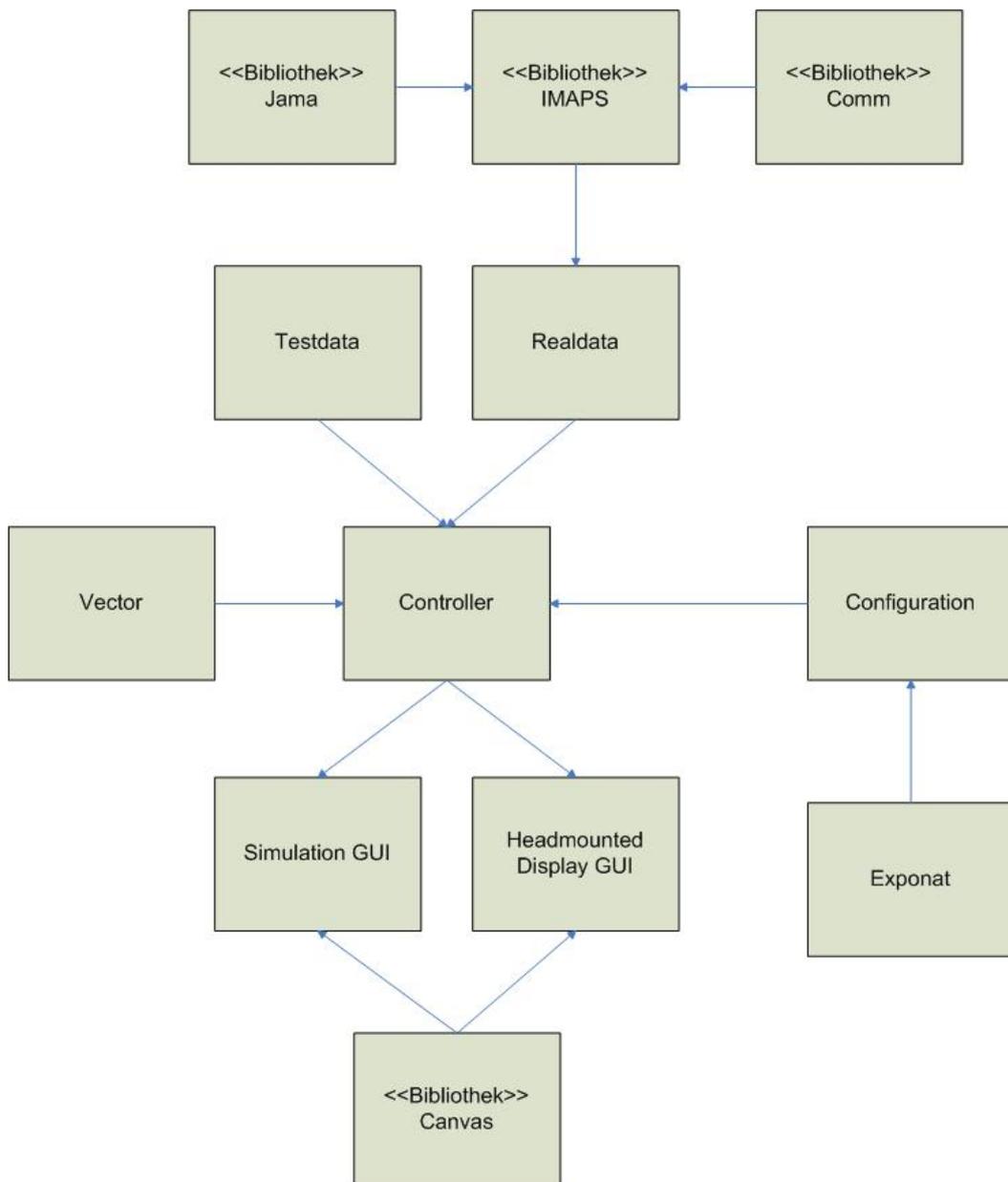


Abbildung 5.15: Darstellung der einzelnen Klassen in einem Diagramm

müssen, definiert. Das ist zum einen die Konfiguration der Listener, über welchen COM-Port sie laufen, mit welcher Baudrate, etc. Zum anderen werden die Exponate dort mit Koordinaten, Größe und Zusatzinformationen über die Exponate bestimmt. In der ersten Grundversion reicht es aus für jedes Exponat eine rechteckige Form anzunehmen, das heißt die Grundfläche jedes Exponates wird als eine rechteckige Fläche abgebildet. Für eine nächste Version kann es sinnvoll sein andere Flächen von Exponaten zu zulassen. Dies hängt hauptsächlich von der erreichten Genauigkeit ab. Zuletzt kann in dieser Klasse noch die Größe des Sichtfeldes bestimmt werden. Hier stehen als Konfigurationsmöglichkeiten die Länge und die Breite des Sichtfeldes zur Verfügung.

5.6.2 Vector

Für die Berechnungen wurde eine Klasse Vector geschrieben. In dieser Klasse finden sich sämtliche für die Berechnungen notwendigen Methoden. Damit werden die Vektoren beziehungsweise die Exponate und das Sichtfeld berechnet. Zurzeit wird in dieser Klasse nur mit zweidimensionalen Vektoren gerechnet. Aber durch die Kapselung in dieser Klasse, ist es leicht möglich, sollte es notwendig sein, die Vektoren auf eine dritte Dimension zu erweitern.

5.6.3 TestData

Um eine Simulation überhaupt möglich zu machen, wird die Klasse Testdaten erstellt. Diese Klasse bildet das Model. Um die Simulation zu ermöglichen werden zwei Dateien erstellt, die genau wie später im Einsatz, jeweils die Koordinaten aller drei Dimensionen (x,y,z) des vorderen und des hinteren Listeners enthalten. Eben diese Daten können entsprechend aus den beiden Dateien ausgelesen werden, um die Simulation mit Leben zu füllen.

5.6.4 Simulation

Die Klasse Simulation selbst ist also neben dem nachfolgend erklärten Headmounted Display ein Teil der View. Hier wird um die Simulation sichtbar zu machen die Canvasbibliothek benutzt. Dadurch wird eine leere rechteckige Fläche auf dem Bildschirm erzeugt. Canvas reagiert auf Input Events, zur Darstellung muss die Methode `paint()` überschrieben werden. Diese Klasse ist also dafür zuständig die statischen Exponate anzuzeigen und natürlich das dynamische Sichtfeld mit seinen beiden Listeners. Die Daten dazu stammen aus der Klasse Controller.

5.6.5 HeadmountedDisplay

Die Komponente HeadmountedDisplay benutzt ebenfalls die Canvasbibliothek und lässt durch sie eine schwarze Fläche erzeugen, die der Größe des Anzeigefeldes des Headmounted Displays gleicht. Schwarz wird laut Tests von Mirko Gerling¹ als am wenigsten störend empfunden, daher ist die Fläche, die auf dem Headmounted Display angezeigt wird, ebenfalls schwarz. Diese Klasse kommuniziert mit der Controllerklasse. Wird dort das entsprechende Exponat aus der Methode des Controllers zurückgeliefert, werden in diesem Fall auf dem Headmounted Display die entsprechenden Informationen zu dem Exponat, welche in der Klasse Configuration gesetzt wurden, eingeblendet. Die Einblendung bleibt so lange bestehen, wie der Nutzer sich das Exponat anschaut.

5.6.6 Controller

Die Klasse Controller verbindet also die Klassen miteinander und in ihr befindet sich sozusagen die Geschäftslogik. In dieser Klasse werden die Testdaten oder die echten Daten eingelesen, die wichtigen Daten aus der Klasse Configuration geholt, die Fenster für die Simulation und das Headmounted Display erstellt. Die entsprechenden Werte werden dort berechnet und dann weitergegeben an die Simulation und im Falle einer Übereinstimmung von Exponat und Sichtfeld auch an das Headmounted Display.

Genauer funktioniert das folgendermaßen: Sind die Koordinaten, Größe und Namen der Exponate sowie die aktuelle Position der Listener eingelesen, kann mit der Berechnung begonnen werden. Momentan wird ein optimierungsfähiger Algorithmus verwendet, der sämtliche Koordinaten, die das Exponat in dem Koordinatensystem belegt, berechnet. Da die Nachforschungen nach einem besseren Algorithmus erst zu einem sehr späten Zeitpunkt erfolgreich waren, blieb keine Zeit diesen Algorithmus zu implementieren. Aber als Verbesserung bietet sich der Hidden Line Algorithmus² an.

Bevor die Koordinaten des Sichtfeldes berechnet werden können, muss erst die Größe des Sichtfeldes berechnet werden.

Berechnung des Sichtfeldes:(siehe Abbildung 5.16 auf der nächsten Seite)

Es sind die Positionen beziehungsweise die Koordinaten der beiden Listener bekannt. Ebenfalls ist bekannt, welcher der beiden Listener der vordere und welcher der hintere ist. Diese beiden Punkte werden \vec{V} für den vorderen Listener und \vec{H} für den hinteren Listener genannt. Als letztes wird die Entfernung der beiden Listener zueinander benötigt, um die Länge des Sichtfeldes berechnen und in die entsprechende Richtung anzeigen zu können.

Mittels der Vektorrechnung und den beiden Vektoren \vec{V} und \vec{H} der Listener lässt sich die

¹Quelle: [Gerling \(2006\)](#)

²Quelle: [Achim Janser und Otten \(1996\)](#)

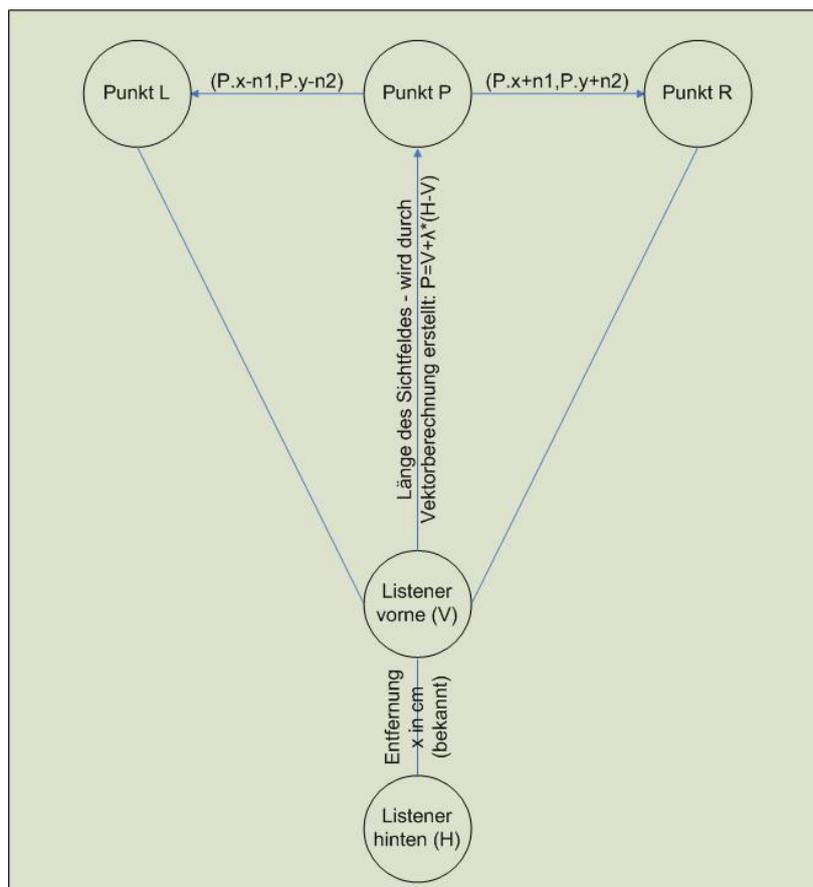


Abbildung 5.16: Grundlage zur Berechnung des Sichtfeldes

Vektorgleichung aufstellen. Dadurch kann die Strecke s zwischen den beiden Vektoren berechnet werden. Die Strecke s muss mit einem entsprechenden $\lambda_{\text{Sichtfeldlaenge}}$ multipliziert werden, um eine bestimmte Länge des Sichtfeldes zu erreichen. Der neu bestimmte Punkt wird P genannt.

Nachdem die Länge des Sichtfeldes berechnet wurde, fehlt noch die Berechnung der Breite des Sichtfeldes. Dazu wird ein Vektor berechnet, der im Punkt P startet, dessen Skalarprodukt Null ergibt und sich damit rechtwinklich zu dem Vektor VP befindet, und die Einheitslänge besitzt. Mit einem $\lambda_{\text{Sichtfeldbreite}}$ kann dieser Vektor das Sichtfeld zu den beiden Seiten aufspannen.

Dazu werden die beiden folgenden Formeln n_1 und n_2 benutzt.

$$n_1 = (-\vec{Y} / \sqrt{\vec{X}^2 + \vec{Y}^2}) * \lambda_{\text{Sichtfeldbreite}}$$

$$n_2 = (\vec{X} / \sqrt{\vec{X}^2 + \vec{Y}^2}) * \lambda_{\text{Sichtfeldbreite}}$$

3

Damit werden zwei neue Ortsvektoren \vec{L} und \vec{R} berechnet.

Die drei Vektoren $\vec{P}\vec{R}$, $\vec{P}\vec{L}$ und $\vec{L}\vec{R}$ spannen ein Dreieck auf, welches das Sichtfeld in der entsprechenden Größe repräsentiert.

Nun können die Koordinaten des Sichtfeldes berechnet und mit den bereits berechneten Koordinaten der Exponate verglichen werden. Die Koordinaten der Exponate werden selbstverständlich nur einmal zu Beginn berechnet oder können auch alternativ direkt statisch übergeben werden, nachdem diese einmal berechnet wurden.

Die Koordinaten des Sichtfeldes müssen entsprechend, sobald neue Koordinaten übermittelt wurden und sich diese von den vorherigen unterscheiden, neu berechnet werden. Realisiert ist das über zwei Methoden. Die eine berechnet die Koordinaten des Sichtfeldes und die andere vergleicht sie mit den Koordinaten des Exponates. Die Methode wird für jedes Exponat automatisch aufgerufen. Als Rückgabewert liefert diese Methode in der Testphase die entsprechenden Koordinaten, um die Ergebnisse besser überprüfen zu können. Geschieht dies wird in der Simulation an der entsprechenden Stelle im Sichtfeld die Koordinate mit einem x markiert. In der endgültigen Version bricht die Suche sofort ab, wenn eine Koordinate von einem Exponat mit einer Koordinate des Sichtfeldes übereinstimmt und liefert entsprechend das Exponat zurück.

³Die beiden Nebenrechnungen n_1 und n_2 ermöglichen es einen Vektor zu berechnen, der orthogonal zu VP ist und die Einheitslänge besitzt. Das $\lambda_{\text{Sichtfeldbreite}}$ ist dafür zuständig, die Breite des Sichtfeldes zu definieren.

5.6.7 OrientationData

Diese Komponente ist für die Orientierungsdaten zuständig. Über einen Eventhandler wird das Empfangen der echten Daten gesteuert. Die echten Koordinaten werden selbstverständlich nicht wie die Testdaten aus zwei Dateien eingelesen, sondern direkt von dem jeweiligen Listener empfangen.

Vorgehensweise:

Die Kommunikationsschnittstelle der Listener ist, um deren Koordinaten nach aussen weitergeben zu können, jeweils eine RS232-Schnittstelle. Der verwendete Laptop bietet, wie die meisten neuen Geräte, keine Möglichkeit mehr einen COM-Port direkt anzuschließen. Daher müssen für beide Listener jeweils ein Adapterkabel von RS232 zu USB eingesetzt werden. Der Zugriff auf die USB Schnittstellen aus Java heraus gestaltet sich mit der zugehörigen Bibliothek (comm.jar)⁴ genauso wie der Zugriff auf den COM-Port, da unter Windows dem USB-Port ein virtueller COM-Port zugewiesen wird.

Das Empfangen der Koordinaten läuft eventgesteuert. Es wird also ein Eventhandler für beide Listener beziehungsweise Ports erstellt. Tritt ein entsprechendes Event auf, wird geprüft, von welchem Port dieses kam. Dadurch werden die zugehörigen Koordinaten korrekt für die Berechnungen an den Controller weitergegeben.

⁴wird von Sun für Windows-Systeme nicht weiterentwickelt

6 Evaluation

In diesem Kapitel geht es darum in einem ersten Schritt zu ermitteln, wie gut und genau die entwickelte Software und natürlich auch die Hardware funktionieren.

6.1 Software

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit der Evaluierung der entwickelten Software. Von der realisierten Software eignen sich nicht alle Komponenten zur Evaluierung. Die Komponente Configuration speichert lediglich konstante Werte, die beim Start des Systems zur Verfügung gestellt werden. So lange keine fehlerhaften Eingaben gemacht werden, arbeitet diese Komponente zuverlässig. Mit TestData verhält sich das ähnlich, diese Komponente liefert lediglich Testkoordinaten und bietet somit nicht viele Möglichkeiten zur Evaluierung. Die übrigen Komponenten werden nachfolgend evaluiert.

6.1.1 Vector

Diese Klasse stellt die alle wichtigen Rechenoperationen mit Vektoren zur Verfügung. Sie ist verhältnismäßig einfach zu testen, in dem man für jede Berechnung Rechnungen per Hand durchführt und diese Ergebnisse überprüft. Die Funktionen der Klasse liefern den Tests und der Anwendung nach zu urteilen korrekte Ergebnisse.

6.1.2 Simulation

Diese Softwarekomponente funktioniert auch ohne Probleme. Während die Simulation läuft, werden die ganze Zeit die Exponente angezeigt und der Besucher mit dem Sichtfeld wird entsprechend seiner Bewegungen genau abgebildet. Anhand der Simulation lassen sich leicht Fehler erkennen. Getestet werden konnte sie aber nur mit den Testdaten, da die echten Daten leider nicht zur Verfügung stehen. Stehen die echten Daten zur Verfügung, sind keine weiteren Probleme zu erwarten.

6.1.3 Controller

Da das System sehr modular aufgebaut ist und die einzelnen Module korrekt arbeiten, gibt es bei dem Zusammenfügen der Komponenten im Controller auch keine weiteren Probleme.

6.1.4 HeadmountedDisplay

Die Softwarekomponente wird mittels der ausgereiften Canvas-Bibliothek erzeugt. Dabei sind keine Probleme aufgetreten. Es ist auch nicht zu erwarten, dass zukünftig dabei Probleme auftreten.

6.1.5 OrientationData

Diese Komponente kann leider nicht getestet werden, da die erforderliche Hardware dafür nicht zur Verfügung steht. Aber vom Prinzip soll die Software bis auf mögliche kleine Fehler direkt funktionsbereit sein. Es muss lediglich darauf geachtet werden, dass die neuen Orientierungsdaten, also die Koordinaten des vorderen und hinteren Listeners erst zum Berechnen des neuen Sichtfeldes weitergegeben werden, wenn beide Listener neue Koordinaten geliefert haben. Sonst besteht die Möglichkeit, dass im Controller ein Sichtfeld falscher Größe berechnet wird.

6.2 Hardware

An dieser Stelle geht es zuerst darum herauszufinden, wie genau die Positionierung möglich ist. Da die Berechnung der Orientierung darauf aufbaut, wird danach die Genauigkeit der Orientierung bestimmt.

6.2.1 Positionsbestimmung

Nun werden zwei verschiedene Versuchsaufbauten dargestellt. Nachfolgend werden die resultierenden Ergebnisse beschrieben.



Abbildung 6.1: Versuchsaufbau - Bodenplatte (100cm x 80cm) mit diversen Testpositionen und drei Beacons

6.2.1.1 Versuchsaufbau

Eigentlich hängen die Beacon an der Decke und senden ihre Signale nach unten in den Raum, dabei befinden sich die Listener zum Beispiel in der Hand; bei dem Szenario des Museumsführers eher auf dem Kopf der Besucher.

In dieser Phase des Testens wurde das System allerdings noch nicht in einem Raum, wie oben beschrieben, installiert. Der grundlegende Versuchsaufbau sieht daher folgendermaßen aus:

Auf dem Fußboden liegt eine Platte auf der wiederum die Beacons liegen. Die Einheiten des Koordinatensystems werden in Zentimetern festgelegt. Auf der Platte wurde zuerst der Nullpunkt des Koordinatensystems festgesetzt $(x/y/z)=(0/0/0)$. Dort wurde der erste Beacon mit der eindeutigen ID 1 platziert. In einem nächsten Schritt wurde die y-Achse aufgetragen, das Koordinatensystem geht in y-Richtung bis $(0/80/0)$. Dort wurde dann der zweite Beacon mit der ID 2 platziert. Der dritte Beacon mit der ID 3 kam an die äußerste Position der x-Achse auf den Punkt $(100/0/0)$.

Der Listener über den seine Koordinaten, beziehungsweise die der Nutzer später berechnet werden sollen, hängt in einer Höhe von 177cm (dies entspricht der z-Achse) von der Decke. Soweit der Versuchsaufbau, wie er bei beiden Aufbauten gleich ist. Unterschiedlich ist, dass im ersten Versuch die Beacons senkrecht nach oben ausgerichtet sind. Im zweiten Versuch sind die Beacons auf die Mitte des Koordinatensystems in einer Höhe von ca. 180cm ausgerichtet.

Nun wird der Listener immer in der gleichen Höhe von 177cm über fünf vorher gemesse-

ne und festgelegte Koordinaten positioniert. Bei jedem der fünf Versuche werden fünfzig Messungen unternommen. Die Messergebnisse werden so ausgewertet, dass pro Koordinate der größte und kleinste Wert, sowie die Spanne der Abweichungen später tabellarisch dargestellt werden. Diese fünf Versuche werden also zweimal durchgeführt, einmal mit senkrecht und einmal mit zentral ausgerichteten Beacons.

6.2.1.2 Versuchsergebnisse

Es wurden die zwei beschriebenen Versuchsaufbauten durchgeführt, um klären zu können, bei welchem der beiden Versuche eine höhere Genauigkeit erreicht werden kann.

Die Versuchsergebnisse der ersten Versuchsreihe werden in den nachfolgenden fünf Tabellen beschrieben.

Bei dem ersten Versuch (siehe Tabelle 6.1) befindet sich der Listener direkt über dem zweiten Beacon. Das heißt der Listener kann die Ultraschallsignale der anderen beiden Beacon nur noch ganz schlecht empfangen, weil die Kegel in denen sich die Ultraschallsignale der Beacon eins und zwei ausbreiten in diesem Fall nicht mehr direkt auf den Listener zeigen. Daraus resultieren die enorm starken Schwankungen von maximal 58cm der y-Achse.

Max. Werte	X	Y	Z
	-13	+160	+163
Min. Werte	X	Y	Z
	-65	+102	+154
Amplitude	X	Y	Z
	52	58	9

Tabelle 6.1: Listener senkrecht: V1 - (x/y/z)=(0/80/177)

Der zweite Versuch (siehe Tabelle 6.2) der ersten Versuchsreihe zeigt eine deutlich höhere Genauigkeit mit maximalen Schwankungen von 18cm in y-Richtung. Die stark zugenommene Genauigkeit lässt sich dadurch erklären, dass sich der Listener diesmal sowohl mittig auf der x-Achse als auch mittig auf der y-Achse befindet.

Im dritten Versuch (siehe Tabelle 6.3) hat die Genauigkeit dann wieder abgenommen, da der Listener sich wieder im Randbereich befindet. Diesmal ist er zwar mittig der x-Achse, aber am oberen Rand der y-Achse. Daher lassen sich die Ungenauigkeiten von bis zu 44cm erklären.

Max. Werte	X	Y	Z
	+56	+53	+178
Min. Werte	X	Y	Z
	+46	+35	+175
Amplitude	X	Y	Z
	10	18	3

Tabelle 6.2: Listener senkrecht: V2 - (x/y/z)=(50/40/177)

Max. Werte	X	Y	Z
	+54	+122	+175
Min. Werte	X	Y	Z
	+44	+78	+168
Amplitude	X	Y	Z
	10	44	7

Tabelle 6.3: Listener senkrecht: V3 - (x/y/z)=(50/80/177)

Bei diesem vierten Versuch (siehe Tabelle 6.4) befindet sich der Listener relativ weit unten an der x-Achse, allerdings mittig auf der y-Achse. Die sehr starken Messungenauigkeiten lassen sich daher zu diesem Zeitpunkt noch nicht genau erklären.

Max. Werte	X	Y	Z
	+12	+85	+179
Min. Werte	X	Y	Z
	-33	-39	+159
Amplitude	X	Y	Z
	45	124	20

Tabelle 6.4: Listener senkrecht: V4 - (x/y/z)=(15/40/177)

Bei diesem fünften Versuch (siehe Tabelle 6.5) sieht man noch einmal sehr deutlich, dass, solange der Empfang des Listeners von den Beacons gut ist, also die Kegel der einzelnen Beacon genau auf den Empfänger treffen, die Messungenauigkeiten sich in Grenzen halten. In diesem Fall befindet sich der Listener also wieder relativ zentral in dem Koordinatensystem. Daraus resultieren die guten Messwerte, die maximal um 14cm abweichen.

Nun folgen die Messergebnisse des zweiten Versuchsaufbaus, bei dem die Positionen des Listeners gleich sind, jedoch die Beacons zentral ausgerichtet sind:

Max. Werte	X	Y	Z
	+90	+31	+178
Min. Werte	X	Y	Z
	+76	+20	+175
Amplitude	X	Y	Z
	14	11	3

Tabelle 6.5: Listener senkrecht: V5 - (x/y/z)=(70/30/177)

Der Listener befindet sich also wieder direkt über dem zweiten Beacon (siehe Tabelle 6.6). Das Problem bei dieser Messung ist insbesondere der zweite Beacon, der wie die anderen auch zentral ausgerichtet ist. Das bedeutet, dass der Beacon zwei, der sich direkt unter dem Listener befindet, seine Ultraschallsignale an dem Listener vorbei sendet. Daraus resultieren die enorm starken Schwankungen von maximal 105cm der y-Achse.

Max. Werte	X	Y	Z
	+50	+149	+178
Min. Werte	X	Y	Z
	-42	+44	+155
Amplitude	X	Y	Z
	92	105	23

Tabelle 6.6: Listener zentral: V1 - (x/y/z)=(0/80/177)

Der zweite Versuch der zweiten Versuchsreihe (siehe Tabelle 6.7) zeigt eine deutlich höhere Genauigkeit mit maximalen Schwankungen von 21cm in y-Richtung. In diesem Fall sind die Messergebnisse ziemlich ähnlich zu dem zweiten Versuch der ersten Messreihe. Die größere Genauigkeit lässt sich wieder dadurch erklären, dass sich der Listener diesmal sowohl mittig auf der x-Achse als auch mittig auf der y-Achse befindet.

Max. Werte	X	Y	Z
	+52	+29	+178
Min. Werte	X	Y	Z
	+43	+50	+174
Amplitude	X	Y	Z
	9	21	4

Tabelle 6.7: Listener zentral: V2 - (x/y/z)=(50/40/177)

Dieser dritte Versuch (siehe Tabelle 6.8) gleicht von den Ergebnissen her ebenfalls dem der

ersten Versuchsreihe mit einer leichten Verbesserung, wenn man die maximale Abweichung betrachtet. Diese liegt hier bei 29cm. Insgesamt ist aber wieder zu sagen, dass die Genauigkeit wieder abgenommen hat, da der Listener sich wieder im Randbereich befindet. Diesmal ist er zwar mittig der x-Achse, aber am oberen Rand der y-Achse.

Max. Werte	X	Y	Z
	+54	+105	+177
Min. Werte	X	Y	Z
	+40	+76	+172
Amplitude	X	Y	Z
	14	29	5

Tabelle 6.8: Listener zentral: V3 - (x/y/z)=(50/80/177)

Dieser vierte Versuch (siehe Tabelle 6.9) zeigt deutlich bessere Messungen als der vierte Versuch der ersten Versuchsreihe. Man kann in diesem Fall die Messabweichungen bei allen drei Koordinaten ungefähr halbieren. Diesmal hat sich das zentrale Ausrichten der Beacons zum ersten Mal gelohnt. Die Messabweichungen des vierten Versuchs aus dem ersten Versuchsaufbau lassen sich also darauf zurückführen, dass die Beacon senkrecht nach oben ausgerichtet waren und damit der Listener die Ultraschallsignale nicht direkt empfangen konnte. Bei diesem Versuch befindet sich der Listener relativ weit unten an der x-Achse, allerdings mittig auf der y-Achse.

Max. Werte	X	Y	Z
	+18	+73	+171
Min. Werte	X	Y	Z
	-3	+23	+180
Amplitude	X	Y	Z
	21	50	9

Tabelle 6.9: Listener zentral: V4 - (x/y/z)=(15/40/177)

Bei diesem fünften Versuch (siehe Tabelle 6.10) sieht man wieder sehr deutlich, dass der Empfang des Listeners von den Beacons gut ist, solange die Kegel der einzelnen Beacon genau auf den Empfänger treffen. In diesem Fall befindet sich der Listener also wieder relativ zentral in dem Koordinatensystem, daraus resultieren die guten Messwerte. Die Messwerte weichen kaum von den Messwerten aus der ersten Versuchsreihe ab. Durch die zentrale Ausrichtung der Beacon konnte hier kein Vorteil erreicht werden.

Max. Werte	X	Y	Z
	+89	+38	+178
Min. Werte	X	Y	Z
	+73	+24	+174
Amplitude	X	Y	Z
	16	14	4

Tabelle 6.10: Listener zentral: V5 - (x/y/z)=(70/30/177)

6.2.1.3 Resultat

Die Messergebnisse der beiden Versuchsreihen haben ergeben, dass die senkrechte Ausrichtung gegenüber der zentralen Ausrichtung keine großen Unterschiede macht, sie haben beide ihre Stärken und Schwächen.

Das bedeutet für die Installation, dass die Beacons nicht zu weit auseinander sein dürfen, so dass der Listener an jedem Punkt von mindestens drei Ultraschallsignalen direkt erreicht werden kann. Das Problem mit den Randfällen löst sich dann auch automatisch, wenn man die Beacons quadratisch mit einer Seitenlänge von maximal zwei Metern anordnet und der Raum bis in die Ecken damit ausgestattet ist. Dadurch umgeht man das Problem außerhalb der Reichweite von mindestens drei Beacons zu sein.

Auf Grund der Laufzeitmessung der Ultraschallsignale kann dann ein entsprechender Filter die Beacons herausfiltern, die nicht direkt zu dem Listener senden konnten und damit eine zu lange Signallaufzeit haben. Dadurch und durch den Empfang von vier Beacons kann die Genauigkeit dann vermutlich noch erhöht werden. Das Manko, dass es zwischendurch immer wieder Ausreißer bei den Messwerten gibt, konnte bis zum Zeitpunkt der Messungen nicht behoben werden, aber es wird weiter daran gearbeitet. Voraussichtlich wird eine Verbesserung zu diesen Ergebnissen bei den Versuchsergebnissen der Bachelorarbeit von Sebastian Gregor zu finden sein.

6.2.2 Orientierungsbestimmung

Um die Orientierung bestimmen zu können, wurde eine Konstruktion erstellt, auf der die Listener in verschiedenen bestimmten Abständen zu einander platziert werden können. Genaueres folgt im nächsten Abschnitt, dem Versuchsaufbau.

6.2.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist grundsätzlich der gleiche wie er in dem Kapitel 6.1.1 beschrieben wurde. Der einzige Unterschied besteht darin, dass nicht nur ein Listener zum Einsatz

kommt, sondern zwei - zur Bestimmung der Orientierung. Dazu wurde eine Plattform erstellt, auf der die Möglichkeit besteht, die Listener in Abständen von 5cm nebeneinander platzieren zu können. Die maximale Entfernung zwischen den beiden Listenern beträgt 30cm. Diese Plattform kann an die Decke gehängt werden. Durch diese Konstruktion kann man sicher gehen, dass die Abstände zwischen den Listenern sich während der Versuche nicht verändern und dass die Listener immer senkrecht zum Boden zeigen. Ein zusätzliches Lot, das eben über der Bodenplattform hängt, ermöglicht genaues Ausrichten der Listener in dem Koordinatensystem. Dadurch wird gewährt, dass die Listener sich auch tatsächlich über den gemessenen Koordinaten befinden.

Der Versuch läuft dann folgendermaßen ab: Die beiden Listener empfangen gleichzeitig ihre Daten, die daraufhin ausgewertet werden können. Danach wird die Bodenplatte jeweils um 5° gedreht und es wird wieder gemessen. Dies wird dann erneut mit verschiedenen Listenerabständen durchgeführt (5, 10, 20cm Abstand).

6.2.2.2 Versuchsergebnisse

Hier sollten nun wie im Kapitel 6.1.2 die Ergebnisse der verschiedenen Versuche dargestellt werden. Leider liefert der eine der beiden Listener keine Werte mehr. Da der Fehler noch nicht gefunden beziehungsweise behoben werden konnte, sind noch keine Ergebnisse und Vergleiche zwischen den Versuchsreihen möglich.

Allerdings lässt sich dazu noch folgendes sagen: Die Ungenauigkeiten bei der Positionsbestimmung sind stärker als erwartet. Da sich bei dieser Entwicklung des Kompass die Fehler potenzieren können, wäre vermutlich zum jetzigen Zeitpunkt, wenn zwei Listener zur Verfügung stehen würden, keine genaue Feststellung der Orientierung möglich.

6.2.2.3 Resultat

Da es keine konkreten Versuchsergebnisse gibt, fällt ein Resümee zunächst schwer. Aber es zeichnet sich ab, dass diese Realisierung zur Feststellung der Orientierung nicht sehr genau werden wird. Eine Möglichkeit diese Genauigkeit noch zu erhöhen, besteht darin einen vernünftigen Filter zu entwickeln, der Ausreißer bei der Positionsbestimmung glättet. Dies versucht Sebastian Gregor zur Zeit in seiner Arbeit. Gegebenenfalls könnte man auch Daten sammeln und entsprechend die Werte mitteln oder die Ausreißer entfernen, bevor man die neue Orientierung zur Berechnung des Sichtfeldes weiterleitet. Denn es ist nicht zu erwarten, dass sich die Nutzer extrem schnell drehen. Es ist natürlich vom jeweiligen Szenario abhängig, aber eine Aktualisierung der Orientierung einmal in der Sekunde sollte ausreichen.

Nicht zu vergessen bleibt, dass es sicherlich noch eine Reihe von möglichen Filteralgorithmen gibt, deren Auswirkungen auf jeden Fall überprüft werden sollten, sobald die Hardware

dafür in zuverlässigem Maße zur Verfügung steht.

Bei der Hardware ist das Fazit der Analyse schlechter als bei der Software. Da die für diese Versuchsreihe notwendige Hardware erst zu spät zur Verfügung steht, sind hier noch deutliche Verbesserungen möglich, um die Fehlerpotenzierung drastisch zu verringern. Es wurde die vermutlich schlechteste Alternative gewählt, in der Hoffnung diese zumindest noch umsetzen zu können, da hierfür weniger Listener und vor allem die Listener erst zu einem späteren Zeitpunkt benötigt wurden. Aber auch dafür hat es nicht ganz gereicht. Hier stecken also noch eine Menge an Möglichkeiten zur Optimierung drin.

6.3 Resultat

Diese Arbeit baut was die Hardware angeht eigentlich auf einer Arbeit auf, die die Grundlage für diese Arbeit erst schaffen sollte. Da aber die Entwicklung der Hardware gleichzeitig mit dieser Arbeit geschah, war es abzusehen, dass ein zeitliches Problem entstehen kann. Für diese Arbeit ist es wichtig, dass das System in seinen Grundzügen funktioniert und genügend Hardware zur Verfügung steht. Dies war nicht der Fall. Daher wurde rechtzeitig ersatzweise eine Simulation geschaffen, durch die das Szenario zumindest mit fiktiven Koordinaten umgesetzt werden kann.

So konnten Testdaten aus zwei verschiedenen Dateien (Koordinaten des vorderen Listeners und des hinteren Listeners) erstellt und alternativ zu den eigentlichen Daten eingelesen werden, um dies Szenario durchzuführen. Bei diesen Testdaten wird angenommen, dass sich die beiden Listener in einem Abstand von 10cm zueinander befinden. Die Objekte beziehungsweise Exponate bekommen statische Koordinaten und werden mit den Koordinaten des Sichtfeldes verglichen. Sobald eine Übereinstimmung auftritt, wird entsprechend des Szenarios eine Zusatzinformation auf dem Headmounted Display eingeblendet. In diesem Fall ist es nur eine Zusatzinformation in Form eines Textes gewesen, aber für die Zukunft sind auch kleine Animationen oder Filme über das Exponat denkbar.

Die realisierte Software wurde getestet und funktioniert. Da die Hardware, die die echten Koordinaten liefern sollte, nicht funktioniert, kann über Funktion der Komponente mit den Orientierungsdaten keine definitive Aussage getroffen werden, da entsprechende Tests fehlen.

Es gibt aber auch Softwarekomponenten, die noch Optionen für Verbesserungen bieten. Zum Beispiel sind Performanceverbesserungen möglich. Es bietet sich dabei an den Algorithmus zur Bestimmung, ob das Sichtfeld mit dem Exponat übereinstimmt, zu optimieren. Im Vergleich zur allerersten Version hat zwar schon eine Verbesserung stattgefunden,

aber beispielsweise wäre der „Hidden Line“-Algorithmus¹ eine Möglichkeit die Berechnung zu optimieren. Aus zeitlichen Gründen wird dies nur angesprochen und nicht umgesetzt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die entstandenen Schwierigkeiten hauptsächlich darauf zurückzuführen sind, dass diese Arbeit erst hätte begonnen werden sollen, wenn die Hardware definitiv funktionsfähig ist. Dieses Problem ist zwar bekannt gewesen, aber deutlich unterschätzt worden. Diese Bachelorarbeit hatte den Anspruch sehr praxisbezogen zu sein. Kurzfristig musste auf Grund der Schwierigkeiten, die nicht rechtzeitig gelöst werden konnten, der Schwerpunkt verlegt werden.

Da Probleme dieser Art bei solch einem großen Projekt immer mit in die Planung einbezogen werden müssen, wurde rechtzeitig eine Simulation entwickelt, die eine Umsetzung des Szenarios möglich macht. Nachteilig ist lediglich, dass es durch das Problem des zweiten defekten Listeners dennoch keine genauen Abschätzungen bezüglich der Größe des Moduls und der Genauigkeit zur Bestimmung der Orientierung gibt.

¹Quelle: [Achim Janser und Otten \(1996\)](#)

7 Zusammenfassung

7.1 Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit war es, das Szenario eines modernen Museumsführers zu designen und teilweise zu realisieren. Das System besteht aus den Hauptkomponenten Positions- und Orientierungserkennung und einem User Interface. Wobei sich das User Interface noch einmal in die Informationsbereitstellung, in der Hauptsache über ein Headmounted Display (Augmented Reality), sowie die Interaktionsmöglichkeiten unterteilen lässt. Design, Realisierung und Evaluation wurden sowohl für die Hardware- als auch die Softwarekomponenten durchgeführt. Dabei wurde das gesamte System erfolgreich designed. Auf Grund eines zu großen Umfangs für eine Bachelorarbeit wurden nur bestimmte Bereiche des Designs realisiert. Die realisierten Komponenten wurden entsprechend evaluiert.

Die umgesetzten Komponenten sind die Feststellung der Position und Orientierung, daraus resultierend die Berechnung des Sichtfeldes, die Anzeige über ein Headmounted Display, als auch das Softwarekonzept für die einzelnen umgesetzten Komponenten. Auf Grund der Tatsache, dass nicht sicher war, ob die IMAPS-Hardware rechtzeitig in Betrieb genommen werden konnte, wurde zusätzlich noch eine Simulation entwickelt. Insgesamt lässt sich folgendes aussagen:

Die Realisierung der Positionsfeststellung ist in einem ersten Schritt gelungen, wenn sie auch noch verbesserungswürdig ist. Bei der Orientierungsfeststellungen ist es auf Grund der Tatsache, dass nur ein funktionstüchtiger Listener zur Verfügung stand, nicht mehr zu einem Test gekommen. Es ist aber absehbar, dass dies bei entsprechender funktionsfähiger Hardware möglich ist. Die Berechnung des Sichtfeldes funktioniert einwandfrei und dessen Größe lässt sich einfach entsprechend der Anforderungen einstellen. Auch die Anzeige über das Headmounted Display verläuft ohne Probleme, so dass dem Besucher, sobald sich ein Exponat in seinem Sichtfeld befindet, die Zusatzinformationen eingeblendet werden. Diese Funktionalität konnte nur durch die entwickelte Simulation überprüft werden, da wie gesagt leider keine echten Testdaten vorlagen. Das gesamte Softwaredesign konnte ebenfalls umgesetzt werden und ist entsprechend der Anforderungen modular aufgebaut, so dass Änderungen oder Erweiterungen leicht vorgenommen werden können.

Abschließend ist zu sagen, dass die Umsetzung des Szenarios erfolgreich ist, wenn auch kleine Einschränkungen und Probleme noch behoben werden müssen.

7.2 Ausblick

Die konkrete Vision dieser Arbeit bezieht sich auf den Museumsführer. Hier ist denkbar und wünschenswert, dieses Szenario in verschiedene Richtungen weiter auszubauen.

Ein wichtiger Bereich ist zum Beispiel die Erhöhung der Positionsgenauigkeit und damit zusammenhängend die Genauigkeit bei der Feststellung der Orientierung. In einem Museum, in dem die Exponate sehr groß und relativ weit voneinander entfernt sind, ist direkt keine hohe Genauigkeit im wenigen Zentimeterbereich bei der Positionsbestimmung und im wenigen Gradbereich bei der Feststellung der Orientierung notwendig. Aber betrachtet man dies genauer, gibt es doch zwei wichtige Gründe diese Genauigkeiten zu erhöhen. Zum einen wird dadurch die Größe des Orientierungsmoduls kleiner. Möglichst verschwindend kleine Passformen sind ein Ziel des Wearable Computing und daher auch beim Museumsbesuch, in dem der Besucher unter anderem dies Modul mit sich herumtragen muss, wichtig. Zum anderen sinken durch die höhere Genauigkeit auch die Vorgaben an das Museum. So können dann die Exponate näher beieinander liegen und trotzdem noch vom Orientierungsmodul unterschieden werden, damit die richtigen Informationen angezeigt werden.

Möchte man die Orientierungsbestimmung zum Beispiel auf den Roboterfußball übertragen, wird sofort deutlich, auf Grund des viel kleineren Maßstabs im Vergleich zum Museumsführer, dass die Genauigkeit noch zunehmen muss und gleichzeitig die Größe des Orientierungsmoduls abnehmen muss, da diese auf den Robotern befestigt werden müssen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist auf Grund der schnelleren Bewegungen, dass häufiger aktuelle Werte zur Verfügung stehen müssen als es beim Museumsbesuch der Fall ist.

Abschließend ist zur Orientierungsbestimmung noch folgendes zu sagen: Es wurde der vierte Designvorschlag auf Grund der vorliegenden Hardware umgesetzt. Um eine Verbesserung der Orientierungsbestimmung zu erreichen ist es sinnvoll über den dritten oder sogar den zweiten Vorschlag nachzudenken und umzusetzen.

Der nächste Bereich, den diese Arbeit behandelt, ist das Headmounted Display. Hier sollte man möglichst schnell weg von langweiligen Textinformationen hin zu interessanten Zusatzinformation in Form von Animationen, kleinen Filmen und natürlich akustischer Unterstützung. Wenn man an Animationen denkt, ist der Einsatz der Software von Metaio sehr interessant. Der Einsatz in dieser Arbeit scheiterte leider auf Grund deutlich zu hoher Kosten für dies Produkt.

Ein Gebiet mit dem sich in dieser Arbeit nicht intensiv beschäftigt wird, ist die Interaktion. Der Museumsbesucher möchte beziehungsweise muss auf möglichst einfache und intuitive Art und Weise mit dem System kommunizieren können, um seine Bedürfnisse kundtun und umsetzen zu können. Da fallen Befehle ein, wie einen Vortrag zu stoppen, neu zu beginnen, anzuhalten oder gegebenenfalls den Sprachmodus zu wechseln oder ähnliches. Hier sind ganz verschiedene Interaktionsmöglichkeiten denkbar:

Eine wäre die Kommunikation über Sprachsteuerung, die über ein zusätzlich angeschlosse-

nes Headset möglich wäre. Diese Möglichkeit wird vermutlich bei gefüllten Museen zu einem hohen Lärmpegel und viel schlimmer noch zu vielen Fehlinterpretationen der Spracheingabe führen.

Eine alternative Möglichkeit wäre zum Beispiel der Twiddler, den Mirko Gerling¹ schon in seiner Arbeit „Wearable Computing and Mobile Augmented Reality“ eingesetzt hat. Hier würde der Nachteil sein, dass zumindest eine Hand mit dem Gerät beschäftigt wäre und die Bedienung zurzeit noch nicht wirklich intuitiv ist.

Eine weitere Vision wäre - bei entsprechender Genauigkeit - durch bestimmte Bewegungen des Orientierungsmoduls dem System bestimmte Befehle zukommen zu lassen. Über das Headmounted Display wäre es auch zu jeder Zeit möglich entsprechende Bewegungen für bestimmte Befehle einzublenden, die entsprechend der Situation in der sich der Besucher befindet dynamisch angepasst werden. So sieht das Menu wenn sich kein Exponat im Sichtfeld befindet anders aus, als wenn dies der Fall ist.

Dies sind eine Reihe von interessanten Möglichkeiten, die mehrere Abschlussarbeiten füllen können.

¹Quelle: [Gerling \(2006\)](#)

Literaturverzeichnis

- [Achim Janser und Otten 1996] ACHIM JANSER, Wolfram L. ; OTTEN, Werner: *Lehrbuch Computergraphik und Bildverarbeitung*. Vieweg Verlag, 1996
- [et al. 2001] AL., R. W. et: *The Active Badge Location System*. ACM Trans. Information System, 2001
- [Archeoguide 2006] : *Archeoguide*. 11. Juli 2006. – URL
<http://archeoguide.intranet.gr/project.htm>
- [Ascension 2006] : *Ascension Technology*. 11. Juli 2006. – URL
<http://www.ascension-tech.com/>
- [Azuma 1993] AZUMA, R.: *Tracking requirements for augmented reality*. Comm. of the ACM,7, 1993
- [Bartnik 2006] BARTNIK, Roman: *Weiterentwicklung einer Technologiebasis für interaktive Gruppenarbeitsräume*. Februar 2006
- [Cricket 2006] TECHNOLOGY, Massachusetts I. of: *Cricket*. 27. Juni 2006. – URL
<http://nms.csail.mit.edu/projects/cricket/>
- [Eric Foxlin 1998] ERIC FOXLIN, George P.: *A Wide-Range Wireless Motion-Tracking System for Augmented Reality and Virtual Set Applications*. Orlando, FL : ACM SIGGRAPH, 1998
- [Ewerlin 2006] EWERLIN, Dirk: *RFID in der Fertigung*. März 2006
- [Fischer 2005] FISCHER, Christian: *Entwicklung von ZigBee-Modulen für spontane Netzwerke*. August 2005
- [Fischer 2006] FISCHER, Christian: *Multimodale Interaktionen in Collaborative Workplaces*. Mai 2006
- [Fleuren 2004] FLEUREN, Tino: *Location Sensing für ortsabhaengige Dienste auf Basis von Web-Services*. Juli 2004
- [Funknavigation - Decca 2006] BUSCH, H.: *Decca Funknavigation*. 01. Juli 2006. – URL
<http://www.seefunknetz.de/decca.htm>

- [G. Welch und Colucci 1999] G. WELCH, L. Vicci S. Brumback K. K. ; COLUCCI, D.: *The HiBall tracker: High-performance wide-area tracking for virtual and augmented environments*. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 1999
- [Galileo 2006] WIRTSCHAFT, Generaldirektion E. und: *GALILEO*. 27. Juni 2006. – URL http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_de.htm
- [Gerling 2006] GERLING, Mirco: *Wearable Computing and Mobile Augmented Reality*. Februar 2006
- [GPS 2006] KOWOMA: *GPS*. 25. März 2006. – URL <http://www.kowoma.de/gps/>
- [Gyroskop 2006] WIKIPEDIA: *Gyroskop*. 11. Juli 2006. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Kreiselkompass>
- [IPSI - Fraunhofer Institut 2006] : *IPSI - Fraunhofer Institut*. 11. Juli 2006. – URL <http://www.ipsi.fraunhofer.de>
- [Kutak 2006] KUTAK, Edyta: *Entwicklung eines Location Tracking Systems für die Indoor Navigation*. Juni 2006
- [MagicMap 2006] IBACH, Peter: *MagicMap*. 27. Juni 2006. – URL <http://www2.informatik.hu-berlin.de/rok/MagicMap>
- [Magnetkompass 2006] WIKIPEDIA: *Magnetkompass*. 11. Juli 2006. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetkompass>
- [NDI: Aurora 2006] INC., Northern D.: *Aurora*. 11. Juli 2006. – URL <http://www.ndigital.com/aurora.php>
- [Orr und Abowd 2000] ORR, Robert J. ; ABOWD, Gregory D.: *The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking*. April 2000
- [Oxygen 2006] TECHNOLOGY, Massachusetts I. of: *Oxygen*. 27. Juni 2006. – URL <http://oxygen.lcs.mit.edu/>
- [Polhemus-Liberty 2006] POLHEMUS: *Liberty*. 29. Juni 2006. – URL <http://www.polhemus.com/LIBERTY.htm>
- [Priyantha 2005] PRIYANTHA, Nissanka B.: *The Cricket Indoor Location System*. Mai 2005
- [RFID 2006] MANAGER, CIO IT-Strategie für: *RFID Einsatzgebiete*. 06. April 2006. – URL <http://www.cio.de/strategien/projekte/810122/index2.html>

- [Senkbeil 2005] SENKBEIL, Martin: *Konzeption eines Systems zur PC-Bedienung mittels Gestenerkennung im Sinne des Disappearing Computers*. Juli 2005
- [SmartKom 2006] : *SmartKom*. 11. Juli 2006. – URL <http://www.smartkom.org/>
- [Stammermann 2005] STAMMERMANN, Klaus: *Nutzung von RFIDs in einem auf Web-Services basierenden Informationssystem*. Juni 2005
- [Stein 2005] STEIN, Martin: *Entwicklung eines auf RFID basierenden mobilen Objekt-Tracking-Systems*. Februar 2005
- [TZI - Bremen 2006] BREMEN, TZI U.: *TZI Universität Bremen*. 11. Juli 2006. – URL <http://www.tzi.de/index.php?id=150&L=0&list=WL>
- [UbiComp - Mark Weiser 2006] WEISER, Mark: *Ubiquitous Computing*. 10. Februar 2006. – URL <http://www.ubiq.com/ubicomp/>
- [Vallidis 2002] VALLIDIS, Nicholas: *A Spread Spectrum Approach to Occlusion in Accoustic Tracking*. Juni 2002
- [Wang 2004] WANG, Kevin J.: *An Ultrasonic Compass for Context-Aware Mobile Applications*. Juni 2004
- [WEARITATWORK 2006] : *WEARITATWORK*. 11. Juli 2006. – URL <http://www.wearitatwork.com>
- [Welch und Foxlin 2002] WELCH, Greg ; FOXLIN, Eric: *Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal*. IEEE Computer Graphics and Applications, special issue on "Tracking", 2002
- [Wherenet - aktives RFID-RTLS 2006] LTD., PR Newswire E.: *Wherenet - Größtes aktives RFID-RTLS der Welt*. 01. Mai 2006. – URL <http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=152957>
- [Wii 2006] NINTENDO: *Nintendo Wii*. 27. Juni 2006. – URL <http://wii.nintendo.com>
- [Wiki - Gehirnströme 2006] WIKIPEDIA: *Gehirnströme*. 10. Februar 2006. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Gehirnströme>
- [Wiki - Sextant 2006] WIKIPEDIA: *Sextant*. 11. Juli 2006. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Sextant>

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §22(4) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 16. Juli 2006

Ort, Datum

Unterschrift