



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Steffen Hinck

Prototypische Entwicklung eines 3D-Eingabegeräts für stationäre und mobile Anwendungen

Steffen Hinck

Prototypische Entwicklung eines 3D-Eingabegeräts für stationäre und mobile Anwendungen

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung
im Studiengang Master Informatik
am Studiendepartment Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Gunther Klemke
Zweitgutachter: Kai von Luck

Abgegeben am 30. April 2008

Steffen Hinck

Thema der Masterarbeit

Prototypische Entwicklung eines 3D-Eingabegeräts für stationäre und mobile Anwendungen

Stichworte

3D, mobile Anwendungen, Eingabegerät, Wearable Computing, Disaster Szenario, Feuerwehr, Rettungskräfte

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines prototypischen 3D Eingabegerätes für stationäre und mobile Anwendungen. Es wird ein Überblick über bisherige Projekte in diesem Bereich gegeben und anschließend werden Technologien vorgestellt, die eine Positionbestimmung der Hand vor dem Nutzer ermöglichen. Es wird auf die Hardware und Software des Prototypen eingegangen und abschließend die ersten Ergebnisse des Projektes bewertet.

Steffen Hinck

Title of the paper

Prototypical development of a 3D input device for stationary and mobile applications

Keywords

3D, mobile applications, input device, wearable computing, disaster scenario, firefighter

Abstract

The objective of this thesis is the prototypical development of a 3D input device for stationary and mobile applications. An overview of previous projects with similar objectives is given. Technologies which allow the positioning of the hand in front of the user will be introduced. The hardware and software will be detailed and the results will be discussed.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	7
1.2	Projektsprung	8
1.3	Gliederung	9
2	Technologien	10
2.1	Überblick über bisherige Projekte	10
2.1.1	SpaceActor	10
2.1.2	SpaceExplorer 3D-Input Device	12
2.1.3	Hybrid Input Device	13
2.1.4	Malleable Surface Interface	15
2.1.5	Datenhandschuh	16
2.1.6	iSphere Projekt	18
2.1.7	IPARLA Projekt	19
2.1.8	Novint Falcon	21
2.2	Anwendungsgebiete dieser Technologien	21
2.3	Wertung bisheriger Projekte	24
2.4	Gestenerkennung	25
3	Grundlagen benutzter Techniken	28
3.1	Positionsbestimmung	28
3.2	Mathematische Grundlagen der Positionsbestimmung	31
4	Konzeption	33
4.1	Rahmenbedingungen	35
4.1.1	Anforderungen an das System	35
4.2	Hardwareübersicht	36
4.2.1	RFID	36
4.2.2	Ultraschall / Funk	37
4.2.3	CPD-GPS	38
4.2.4	Kriterien für die Hardwareauswahl	38

4.2.5	Die IMAPS Module	39
4.3	Software Konzeption	42
5	Umsetzung	46
5.1	Projektbezogene Anwendung	46
5.2	IMAPS Module - Platinenaufbau	47
5.3	Ergonomie des Systems	48
5.4	Software	50
5.4.1	Software Architektur	50
5.4.2	Übertragungs - Protokolle	53
5.4.3	Bibliotheken	55
5.4.4	Fehleranfällige Bereiche und deren Absicherung	55
5.4.5	Das Windows API	56
5.4.6	Vorführungsanwendung	58
5.4.7	Anpassung an andere Betriebssysteme	58
5.4.8	Messungenauigkeiten und Filter	60
6	Ergebnisse der Prototypenentwicklung	63
6.1	Genauigkeit	63
6.2	Reaktionszeit des Systems	65
6.3	Winkelabhängigkeit	65
6.4	Nicht verwendete Bibliotheken	67
6.4.1	MTL Lib	67
6.4.2	NLMaP Lib	67
6.4.3	Bucher Algorithmus	68
6.5	Mögliche Probleme unter extremen Bedingungen	68
6.5.1	Auswirkungen dieser Probleme und deren Einstufung	69
6.6	Ergebnisbewertung	69
7	Zusammenfassung	71
7.1	Ausblick auf mögliche weiterführende Projekte	72
7.2	Platinendesign	74
7.2.1	Schaltplan	76
7.3	Fazit	76
A	Schaltpläne	83

Kapitel 1

Einleitung

Es ist ein Anspruch der Technik, als ein Hilfsmittel verstanden zu werden, durch das den Menschen die Bewältigung von Aufgaben in ihrer Umgebung vereinfacht wird. Computer haben Einzug in unser alltägliches Leben gefunden. Der Begriff „Ubiquitous Computing“ beschreibt diesen Zustand der Rechnerallgegenwart. Um uns herum kommunizieren komplexe Systeme miteinander, ohne dass wir jede Einzelheit dieser Kommunikation wahrnehmen oder lenken. „Seamless Interaction“¹ ist eines der Schlagworte, wenn es um die Kommunikation zwischen einzelnen Systemen, aber auch um die Kommunikation des Menschen mit diesen Systemen geht. Unter ihr versteht man die Interaktion von Nutzern und Programmen, bei denen Veränderungen und Anweisungen in realen und virtuellen Umgebungen gleichermaßen wahrgenommen werden.

Einer der wesentlichen Punkte der „Seamless Interaction“ ist der natürliche Umgang mit technischen Medien. Dieser natürliche Umgang ist eine Interaktion zwischen dem Nutzer und dem Rechner, bei welcher der Nutzer auf für den Menschen natürliche Interaktionsmöglichkeiten zurückgreifen kann. Hierzu zählen unter anderem Bewegungen und Gesten, welche ein Erkennen von dreidimensionalen Eingaben im Raum um den Nutzer notwendig machen.

Einen Schritt in diese Richtung stellt diese Arbeit dar. Sie beschäftigt sich mit der Umsetzung eines 3D-Eingabegerätes für mobile und stationäre Anwendungen. Zu diesem Zweck soll eine Handbewegung in ein Mauszeigersignal umgesetzt werden. Gleichzeitig entsteht auf diese Art und Weise auch die Grundlage für eine mögliche Gestenerkennung. Diese Steuerung wird durch eine Positionsortung der Hand ermöglicht, basierend auf der Ortung eines Modules auf dem Handrücken und 3 Modulen am Torso des Nutzers.

Die Arbeit wird die Möglichkeiten der Interaktion zwischen einem Nutzer und Wearable Com-

¹Nahtlose Interaktion

puting² am Beispiel von spezialisierten Fachleuten erörtern. Die Wahl fiel auf Rettungskräfte und Ingenieure.

1.1 Motivation

Für den Ablauf des Projekts wurden zwei mögliche Einsatzszenarien ausgewählt, die den Rahmen des Projekts vorgeben. Die Rettungskräfte einer Industrieanlage rücken aus, da ein Notfall gemeldet wurde. Es ist ein Feuer in einem sicherheitskritischen Bereich ausgebrochen. Um ihre Sicherheit zu erhöhen, wurden die Rettungskräfte mit zusätzlicher Technik ausgestattet. Sie verfügen über ein Positionsordnungssystem, welches ihnen und einem Leitstand jeweils ihre aktuelle Position innerhalb des Gebäudes mitteilt. Neben den Positionsdaten werden an den Leitstand noch zusätzliche Informationen über den gesundheitlichen Zustand der Rettungskraft, sowie über ihre direkte Umgebung übermittelt. Innerhalb des Szenarios muss ein Kurzschluss innerhalb einer Schalttafel unterbrochen werden. Zu diesem Zweck erhalten die zuständigen Einheiten einen Plan der Schaltanlage auf ein HUD³, welches z. B. schon in bestimmten Bereichen des Militärs (siehe Jukes (2004)) eingesetzt wird. Über eine Handbewegungen verändert die Rettungskraft intuitiv die Darstellung des Schaltplans, um sie für ihn optimal zu gestalten. In der Darstellung stellt ein kleiner blinkender roter Kreis die Position dar, wo der Kurzschluss vermutet wird, welcher zum Überhitzen des gesamten Systems geführt hat. Dieses Problem kann jetzt gezielt behoben, und damit Schlimmeres abgewendet werden.

Die benötigten Daten, wie Schaltkreispläne oder sonstige unterstützende Maßnahmen, werden vom Leitstand, welcher mit der Rettungskraft in Verbindung steht, zur Verfügung gestellt. Der Leitstand ist ein anschauliches Beispiel, wie ein Collaborative Workspace⁴ funktionieren kann. Für nähere Informationen sei hier auf die diesbezügliche Ausarbeitung von Andreas Piening (Piening (2007)) verwiesen.

Das eben beschriebene Szenario gibt den Aufgabenbereich des Rescue Projekts der HAW Hamburg wieder. Viele der genannten technischen Möglichkeiten sind bereits verfügbar oder in der Entwicklung. Während der vorangegangenen Teilprojekte wurde immer deutlicher, wie wichtig eine einfache, intuitive Eingabemöglichkeit ist. Rettungskräfte sind durch die oft lebensgefährlichen Situationen in denen sie sich befinden darauf angewiesen, nicht unnötig belastet zu werden. Die „Context Awareness“⁵ eines solchen Eingabesystemes wäre z.B. ein Schritt in diese Richtung.

In vielen Bereichen ist derzeit ein deutlich steigender Bedarf an 3D-Eingabegeräten zu erkennen. Als Beispiele sollen hier die Medizin, Konstruktion und Architektur genannt sein. In

²engl. tragbare (im Sinne von Kleidung) Datenverarbeitung. Hierbei handelt es sich um das Forschungsgebiet, das sich mit der Entwicklung von tragbaren Computersystemen beschäftigt.

³HUD - Head Up Display

⁴Eine Arbeitsumgebung, in der mehrere Nutzer zusammen in einer multimedialen Umgebung ein Problem lösen

⁵Kontextsensitivität - Das Verhalten des Systems wird der Umgebung/Situation angepasst.

den meisten Fällen handelt es sich um stationäre Anwendungen. Aber es ist auch ein Bedarf für mobile 3D-Eingabegeräte absehbar.

Als ein weiteres Beispiel neben der Rettungskraft soll hier ein Ingenieur dienen, der die Roboter in den Produktionsanlagen seines Unternehmens kontrolliert. Er ist ebenfalls mit einem HUD ausgestattet, das ihm die Bewegungen der Roboter anhand ihres aktuellen Programmes vorführt. Durch die 3D-Eingabe kann er leicht mit der Darstellung interagieren und so Schlüsse ziehen, ob die neue Programmierung innerhalb der Roboterzelle⁶ sicherheitsunbedenklich ist. Durch diese Prüfung erkennt der Ingenieur, ob es zu einer Kollision während der Arbeitsschritte kommen würde. Die neue Software wird zur erneuten Überarbeitung an die Entwicklungsabteilung gegeben. Ein hoher Schaden an den Geräten wird vermieden.

1.2 Projektursprung

Der Bedarf eines solchen Eingabegerätes entwickelte sich im Laufe des „Rescue“ Projekts der HAW Hamburg⁷. Es beschäftigt sich mit der Unterstützung von Rettungskräften durch moderne Technik in Form von Wearable Computing. Bei dem Projekt besteht eine Zusammenarbeit mit dem WearITatWork Projekt des Fraunhofer Instituts, welchem ein ähnliches Anwendungsszenario zu Grunde liegt.

In diesem Rahmen werden die Problemstellungen, denen sich Rettungskräfte im Einsatz gegenübersehen, analysiert. Anschliessend werden Konzepte entwickelt, bei denen die Rettungskräfte durch den Einsatz technischer Mittel entlastet und unterstützt werden. Die Rahmenbedingungen dieses Projekts wurden bereits in der vorhergegangenen Ausarbeitung (Hinck, 2006) beschrieben.

Das Rescue Projekt der HAW Hamburg besteht derzeit aus drei Teilbereichen: Dem Leitstand, dem Sensornetzwerk und den Rettungskräften.

Leitstand: Der Leitstand ist die Einsatzzentrale, in der ein Überblick über die Situation geschaffen wird und anhand von allen eingegangenen Informationen Entscheidungen über die Vorgehensweise getroffen werden. Er verfügt dafür über ausgewählte Anzeige- und Interaktionsmedien. Auf dem Leitstand wird in der Ausarbeitung von **Andreas Piening** „Leitstand für Disaster-Szenarien“ (Piening (2007)) näher eingegangen.

Sensornetzwerk: Das Sensornetzwerk dient in diesem Projekt zur Informationsgewinnung und kann in einer späteren Phase auch zur Kommunikation genutzt werden. Es handelt sich hierbei um ein sich selbst organisierendes Funksensornetzwerk, welches zur Gewinnung verschiedener Daten, wie zum Beispiel der Temperatur, genutzt wird. Es wird ebenfalls die Infrastruktur liefern, die für ein Positionierungssystem der Rettungskraft notwendig ist. Die Ausarbeitung „Vergleich von Projekten im Bereich Sensornetze unter

⁶Als Roboterzelle bezeichnet man den abgesperrten Arbeitsbereich des Roboters. Dieser Bereich wird durch die Reichweite des Roboters bestimmt

⁷Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

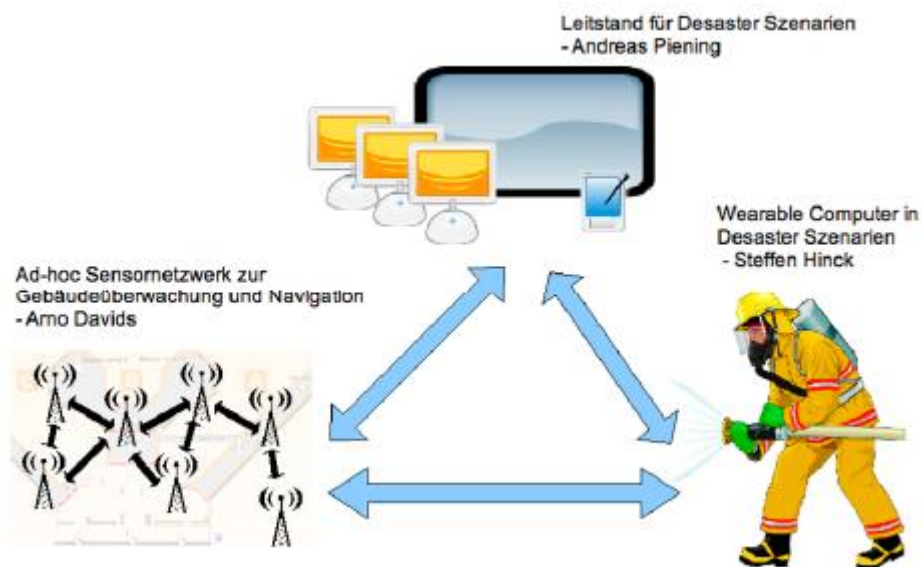


Abbildung 1.1: Übersicht des Rescue-Projekts

Berücksichtigung des Rescue-Umfelds“ (Davids (2007)) von **Arno Davids** beschäftigt sich mit diesem Teilbereich.

Rettungskräfte: Auf den dritten Teilbereich, die Rettungskräfte, wird in diesem Dokument näher eingegangen. Sie sollen in diesem Projekt differenziert mit Wearable Computing bei ihren jeweiligen Aufgaben optimal unterstützt werden. Als Beispiele wären hier ein Positionierungssystem oder das Übermitteln der Lebensdaten der Rettungskraft zu nennen.

1.3 Gliederung

Die Arbeit gibt nach der Einleitung in Kapitel 2 einen Überblick über bisherige 3D-Eingabegeräte und Anwendungsgebiete für solche Technologien. In Kapitel 3 wird auf die Grundlagen bisheriger Technologien zur Positionsbestimmung eingegangen, welche in der Arbeit später gebraucht werden. Im folgenden Kapitel 4 werden neue Ansätze für ein 3D-Eingabegerät dargestellt und es wird auf die funktionalen Techniken eingegangen. Es wird auf die Entscheidung für ein System eingegangen, und die Vorzüge die dadurch entstehen. Anschließend wird die Umsetzung (Kapitel 5) erläutert, sowie auf die projektbezogene Anwendung des Systems und Probleme, die während der Umsetzung entstanden sind, eingegangen. Abschließend werden in den letzten beiden Kapiteln (Kapitel 6 und 7) die Ergebnisse dieses Teilprojekts vorgestellt und ein Fazit aus der Arbeit gezogen.

Kapitel 2

Technologien

2.1 Überblick über bisherige Projekte

In diesem Kapitel soll ein grober Überblick über bisherige Technologien im Bereich der 3D-Eingabegeräte geliefert werden.

2.1.1 SpaceActor

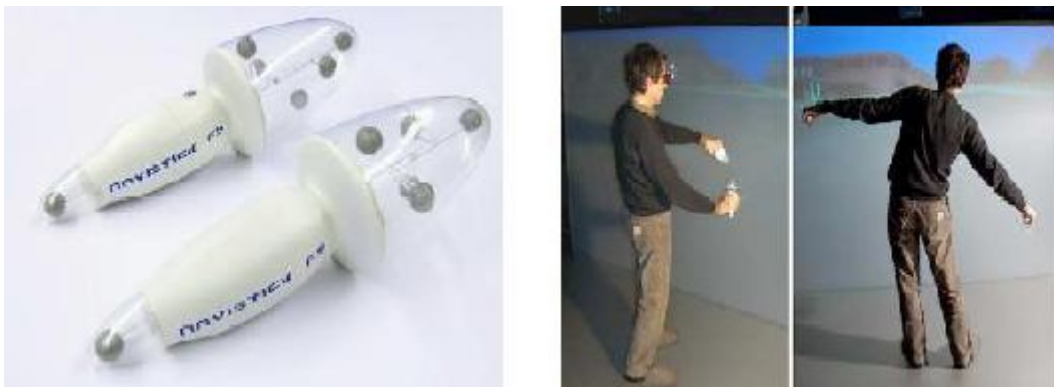


Abbildung 2.1: Navistick

SpaceActor (Mario Doulis, 2006) ist ein Projekt der Fachhochschule Aargau in der Schweiz. Es handelt sich bei dem Namen um einen Überbegriff, unter dem die Forschungsgruppe die Projekte NaviStick und Kwisath zusammenfasste.

Als technische Grundlage nutzen sie ein Ortungssystem, das anhand von 4 Infrarotkammern Rückschlüsse auf die Position ziehen kann. Ein solches optisches Infrarot Kamerasystem



Abbildung 2.2: Kwisath

wird z.B. von dem Unternehmen ART⁸ unter dem Namen ARTtrack/DTrack angeboten (siehe ART (2007)). Dieses System kann die Positionen und Orientierung von bis zu 20 Zielobjekten in einem vorher definierten Messvolumen bestimmen. Ein Zielobjekt besteht aus einer starren Anordnung von 4-20 kugelförmigen Markierungskörpern.

Die Infrarotkameras sind mit einer absoluten Position und einem Sichtwinkel versehen. Sie sind in der Lage, die Markierungen der Zielobjekte innerhalb ihres Bildes zu erkennen. Die Bilddaten der Kameras werden an den zentralen Rechner übermittelt, welcher daraus die 3D bzw. 6D⁹ Positionen der Marker berechnet und an den Nutzer weitergibt. Die Ergebnisse werden in Echtzeit mit etwa 30 ms Verzögerung ausgegeben.

Das Hauptaugenmerk der Gruppe lag auf dem Design und der Funktionalität der Eingabegeräte. Das Projekt ist aufgeteilt in den NaviStick und den Kwisath. In den bisherigen Applikationen wurden diese Eingabegeräte hauptsächlich für die Umsetzung von Flugbewegungen oder z.B. das Fahren eines Motorrades eingesetzt.

Bei dem NaviStick handelt es sich um 2 Geräte, die jeweils in einer Hand gehalten werden. Nach der Bestimmung der Lagen der jeweiligen Geräte, wird die Lage zueinander bestimmt und diese Information in eine Steuerinformation umgewandelt.

Bei dem zweiten Eingabegerät dieses Projekts, dem Kwisath, handelt es sich um einen Stab, dessen Position und Lage ebenfalls über die 4 Infrarotkameras ermittelt wird. Der Stab wird ansonsten genau wie die beiden Geräte des NaviStick gehandhabt. Die Inspiration für den

⁸Advanced Realtime Tracking GmbH

⁹3D zuzüglich der 3 Freiheitsgrade für die Orientierung im Raum.

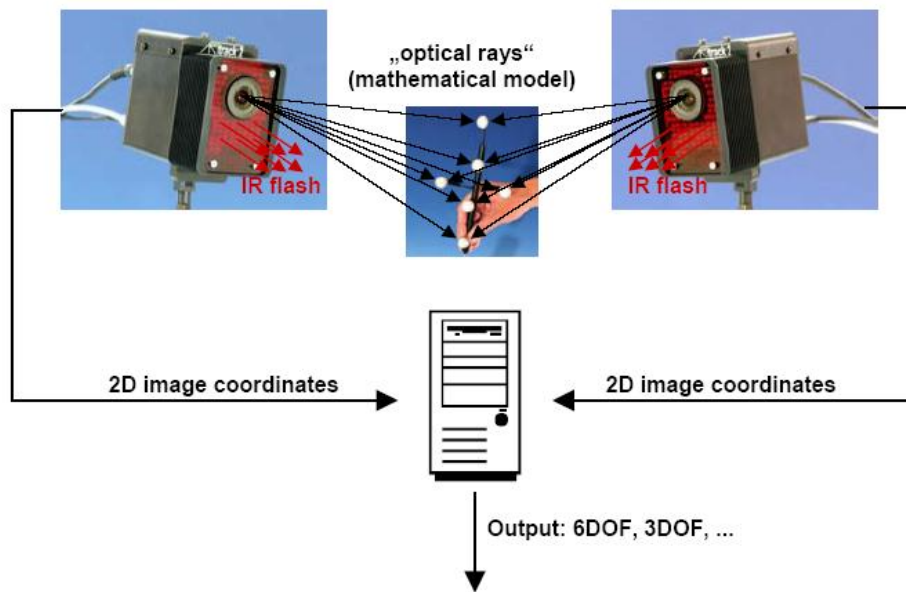


Abbildung 2.3: Das Prinzip der Ortung mittels Infrarotkameras

Kwisath wurde im Science Fiction und Fantasy Bereich gefunden. Während der Benutzertests stellte sich heraus, dass ungeübte Benutzer sehr schnell lernten, mit dem Kwisath umzugehen, während die Geräte des NaviStick ihnen Probleme bereiteten. Wo es beim Kwisath zu einer intuitiven Nutzung kam, war bei beim NaviStick ein höherer Grad an Konzentration notwendig. Während der Tests stellte die Hälfte der NaviStick Nutzer ein Unwohlsein bis hin zu Übelkeit durch die ungewohnte Bewegung kombiniert mit den visuellen Eindrücken fest. Für die hierzu notwendige Bildverarbeitung wird das Lightning Software Framework benutzt, das ein geeignetes, erweiterbares VR¹⁰ System darstellt. Durch die notwendige definierte Umgebung mit den Infrarotkameras handelt es sich bei diesem Projekt um ein System, das nur für stationäre Anwendungen geeignet ist.

2.1.2 SpaceExplorer 3D-Input Device

Als nächstes soll ein kommerzielles Projekt von 3D-Connexion kurz vorgestellt werden. Es handelt sich hierbei um den Space Explorer (3DConnexion (2007)), eines der 3D-Eingabe Geräte von 3DConnexion, die für Anwendungen am Arbeitsplatz geschaffen wurden. Bei diesem Gerät stellen Sensoren die Bewegungen eines hervorgehobenen Knopfes fest (siehe Bild 2.4) und setzt diese in Steuersignale um. Dadurch verfügt der Space Explorer über die Möglichkeit, Bewegungen in 6 Freiheitsgraden auszuführen. Wie bei allen Eingabegeräten braucht man ei-

¹⁰Virtual Reality



Abbildung 2.4: Space Explorer von 3DConnexion

ne entsprechende Software Schnittstelle, um mit den Eingabegeräten die 3D-Umgebungen zu bedienen. Durch seinen günstigen Preis findet dieses stationäre Eingabegerät bereits Anwendung in mehreren Zweigen der Industrie.

Der SpaceExplorer wurde, wie auch andere Eingabegeräte der Firma 3D-Connexion, speziell in Bezug auf den Bereich der Konstruktion entwickelt. Obwohl es natürlich auch in anderen Bereichen einsetzbar ist, war es gerade diese Spezialisierung und Anpassung an die Problemstellungen der Konstruktionsbüros, die zur Akzeptanz dieses Produktes und auch vieler anderer 3D-Eingabegeräte führte. Es wurde auf Grund der Bedürfnisse dieser Bereiche konzeptioniert, wobei auch der Kostenfaktor eine große Rolle spielt. Entsprechend gibt es Konstruktionsprogramme, wie zum Beispiel AutoCAD und SolidWords, die bereits mit dem SpaceExplorer gesteuert werden können. An diesem Beispiel kann man erkennen, wie schnell neue Eingabegeräte von den Benutzern akzeptiert werden können, wenn sie die Vorteile durch die Nutzung solcher Produkte erkennen.

2.1.3 Hybrid Input Device

Das Hybrid Input Device des Instituts für „Computer Graphic and Vision“ an der Technischen Universität Graz verwendet eine Technik basierend auf IR Kameras zur Steuerung, wie sie bereits im Projekt SpaceActor (Kapitel 2.1.1) erläutert wurde. In diesem Projekt wird diese Technik, in Verbindung mit anderen Techniken, zu einem neuen System zusammengeführt, das vielseitige Eigenschaften aufweist. Das Projekt für dieses Eingabegerät trägt den Namen „Eye of Ra“.

Das Gesamtsystem wurde entwickelt, um bei medizinischen Anwendungen mit dargestellten Daten besser interagieren zu können. Darunter fällt zum Beispiel das Bild, das von einem CT¹¹ aufgenommen wurde. Um den Medizinern eine Hilfestellung zu geben, werden die einzelnen Bilder des CT zu einem 3D-Bild der gescannten Körperzone zusammengesetzt. Zur

¹¹Computer Tomograph

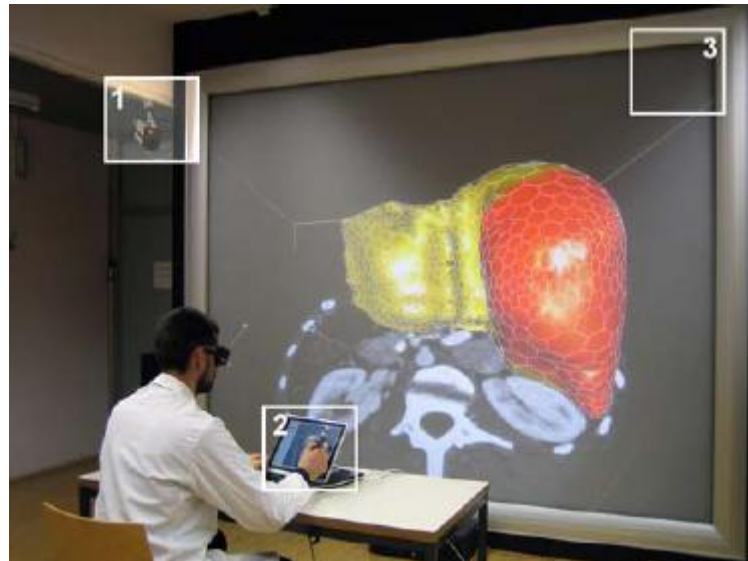


Abbildung 2.5: Arbeitsumgebung des Hybrid Input Device „Eye of Ra“. Zu sehen ist eine Kamera des optischen Tracking Systems (1), ein Tablet PC und das „Eye of Ra“ Eingabegerät(2) sowie das stereoskopische Grossbild Projektions System(3)

optimalen Vorbereitung auf eine Operation sollte es natürlich möglich sein, dieses 3D-Bild von allen Seiten zu betrachten. Dies bedarf einer Interaktion, was uns direkt zum Hybrid Input Device „Eye of Ra“ führt.

Das System besteht aus einem stereoskopischen Display, das in Verbindung mit einer entsprechenden Brille eine 3D-Sicht auf das Objekt (z.B. die Nahaufnahme einer Leber) ermöglicht und einem Touchscreen Display. Das Ziel ist es durch das Touchscreen-Display gleichzeitig 3D und 2D Handhabung der angezeigten Objekte zu ermöglichen. Hinzu kommt das Eingabegerät für 3D- und 2D Anwendungen, auf dem unser Fokus hier liegen soll. Wie im Projekt SpaceActor erfolgt die 3D-Ortung des Eingabegerätes durch 4 fest installierte Infrarotkameras.

Neben dem Eingabegerät findet ebenfalls ein Tracking¹² des Kopfes und der Blickrichtung statt, realisiert durch das gleiche ortbare Konstrukt wie am Eingabegerät, welches hierfür an einer Halterung am Kopf befestigt ist.

Das Eingabegerät (siehe Bild 2.6) besitzt neben dem Aufbau zur 3D-Ortung eine Spitze für die „Pencil“ Funktion des Touchscreens, 2 Buttons und ein Mause. Es wurde versucht, von den Benutzern akzeptierte Funktionalitäten anderer Eingabegeräte (wie z.B. der Maus) somit in das „Eye of Ra“ zu integrieren.

Wie auch bei dem Space Actor Projekt stellt der Kostenfaktor ein großes Hindernis für die-

¹²engl. verfolgen, eine Positionsbestimmung

ses Projekts dar, wenn es darum geht, es in den Alltagsgebrauch zu überführen. Es bleibt zu hoffen, dass sich die Preise von über 10.000 Euro pro Präzisionskamera bald relativieren.



Abbildung 2.6: Hybrid Input Device „Eye of Ra“

2.1.4 Malleable Surface Interface

Ein anderes interessantes Konzept für die 3D-Eingabe wird im Institut für „Human Communication Technologies“ an der Universität von British Columbia verfolgt. Das Ziel dieses Projekts war es, eine bezahlbare Alternative für ein Touchpad zu entwickeln, welches dazu in der Lage ist, Oberflächenmanipulationen zu registrieren, die an mehr als nur einem Punkt gleichzeitig stattfinden. Entsprechend setzt dies auch eine vollständige Multitouch Fähigkeit des Systems voraus. So entstand das Malleable Surface Interface¹³ (Florian Vogt (2004)). Es besteht aus einer dehnbaren Oberfläche und einer Kamera, die unterhalb dieser Oberfläche angebracht ist. Diese dehnbare Oberfläche ist mit einem Rastermuster aus Punkten versehen.

Die linke Seite des Bildes 2.7 zeigt den Gesamtaufbau des Interfaces mit der unter dem Aufbau angeordneten Kamera. Auf der rechten Seite wird eine Interaktion gezeigt (oben rechts), sowie auf ein Bild, wie die Kamera diese Interaktion wahrnehmen würde (unten rechts).

Man kann erkennen, dass die Druckbewegung auf die Oberfläche das Rastermuster verformt. Anhand des Kamerabildes dieses verformten Musters kann nun die bildverarbeitende Software errechnen, wo auf diese Oberfläche gedrückt wird, und wie tief sie „eingedrückt“ wird.

Das Projekt bietet somit viele interessante Ansätze, die es in Aussicht stellen, dass sich diese Eingabetechnik neben den bisherigen Touchpads, dessen Vorzüge sie ebenfalls bietet, etablieren könnte. Durch die Nutzung einfacher Videotechnologie verspricht dieses Eingabegerät, sollte es die Marktreife erreichen, eine günstige Alternative zu vielen Touchpads und 3D-Eingabegeräten zu werden.

¹³Malleable Surface Interface: Formveränderndes Oberflächen Interface

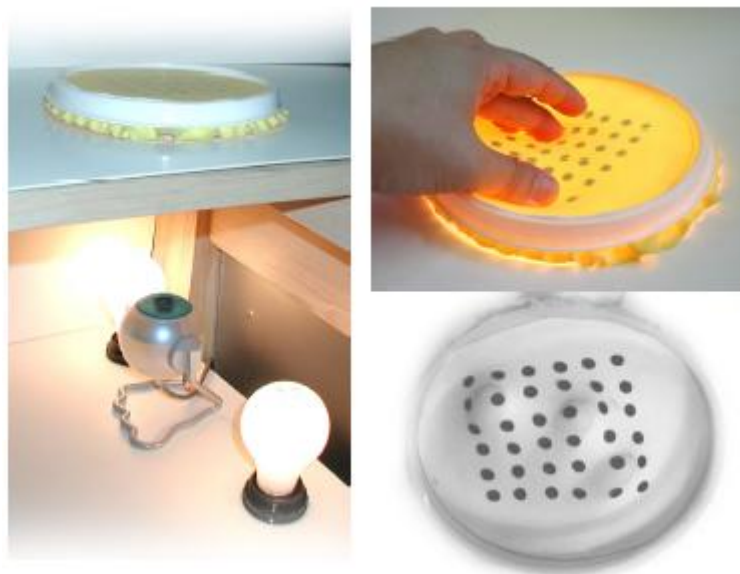


Abbildung 2.7: Malleable Surface Interface

2.1.5 Datenhandschuh

Der 3D-Handschuh, oder auch Datenhandschuh¹⁴ ist bereits zu Beginn der ersten VR¹⁵ Umgebungen entwickelt worden. Das Ziel bei der Entwicklung der ersten Datenhandschuhe war die Interaktion des Nutzers mit einer virtuellen 3D-Umgebung zu ermöglichen. Er soll das Bewegen und Greifen von Objekten innerhalb eines definierten, virtuellen Raumes realisieren, aber auch als Eingabemöglichkeit dienen, um eine Steuerung innerhalb dieser Umgebung zu ermöglichen. An dieser Stelle wird nicht auf ein spezielles Modell eingegangen, sondern ein kurzer Einblick in die von ihnen genutzte Technik gegeben.

Die gängigste Variante solche Handschuhe umzusetzen, bestand in der Nutzung von Dehnungsmessstreifen, welche auf einem Handschuh (z.B. auf dem Fingerrücken) befestigt sind. Dehnungsmessstreifen verändern je nach Biegung ihren Widerstand und können daher genutzt werden, um eine Veränderung in der „Haltung“ der Hand zu registrieren.

Um dem Benutzer ebenfalls ein Gefühl für die Umgebung, die er verändert, zu vermitteln, wurden neuere Modelle von Datenhandschuhe mit einer Force Feedback Funktion ausgestattet. Diese soll dem Nutzer ermöglichen zu erfühlen, wann er einen Gegenstand in der Virtuellen Welt greift.

Auch die Spieleindustrie legt derzeit wieder verstärktes Augenmerk auf den Bereich der Datenhandschuhe, nicht zuletzt auf Grund der Erfolge neuartiger Eingabegeräte wie der Wii

¹⁴engl. data glove, erste kommerzielle Entwicklung von 1986

¹⁵(engl.) virtual reality - Virtuelle Realität



Abbildung 2.8: Beispiel eines Datenhandschuhs: P5 Glove von Alliance Distributors

Stick von Nintendo¹⁶. Sony arbeitet, wie ein eingereichtes Patent¹⁷ erkennen lässt, bereits an einem Datenhandschuh für die nächste Generation ihrer Konsolen. Neben dem Erkennen von Handflächen und Fingerbewegungen ist der Handschuh mit Gyro- und Bewegungssensoren ausgestattet und soll über ein taktiler Feedback verfügen. Inwiefern dieses Konzept schlussendlich umgesetzt wird, muss sich noch zeigen. Das Unternehmen Nintendo entwickelte bereits 1989 einen Datenhandschuh für die Spieleindustrie, den „Power Glove“. Dieser erfüllte jedoch nicht die von Nintendo in ihn gesetzten Erwartungen, da er von den Nutzern nicht akzeptiert wurde.

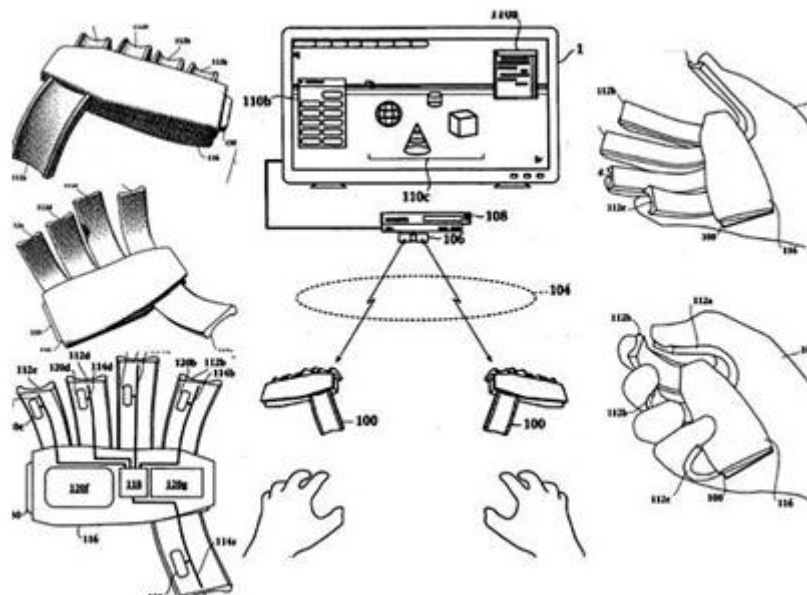


Abbildung 2.9: Zeichnungen aus dem eingereichten Patent von Sony

2.1.6 iSphere Projekt

Das iSphere Projekt (Jackie Lee (2005)) des Medien Labors des MIT¹⁸ wurde mit dem Ansatz entwickelt, Objekte innerhalb von 3D-Modellierungs Systemen schnell und intuitiv zu bearbeiten.

Hierzu wurde ein Dodekaeder¹⁹ entwickelt, bei dem jede einzelne Seite mit einem kapazitiven Sensor versehen ist, welcher innerhalb eines Winkels von 11° und einer Entfernung

¹⁶Der Wii Stick nutzt Infrarot LED's und eine Infrarotkamera um seine Zeigerichtung zu bestimmen

¹⁷United States Patent Application 20070075966

¹⁸Massachusetts Institute of Technology

¹⁹12-seitiger Würfel

von etwa 15 cm arbeitet. Dieser Sensor kann registrieren, ob sich eine Hand in der Nähe der jeweiligen Seite befindet. Es wird ebenfalls registriert, wenn sich die Hand weiter nähert oder entfernt. Die so gewonnenen Informationen werden in Befehle wie z.B. drücken, ziehen oder drehen eines 3D-Objektes umgewandelt. Die Sensoren werden in Zyklen von einem Mikro-

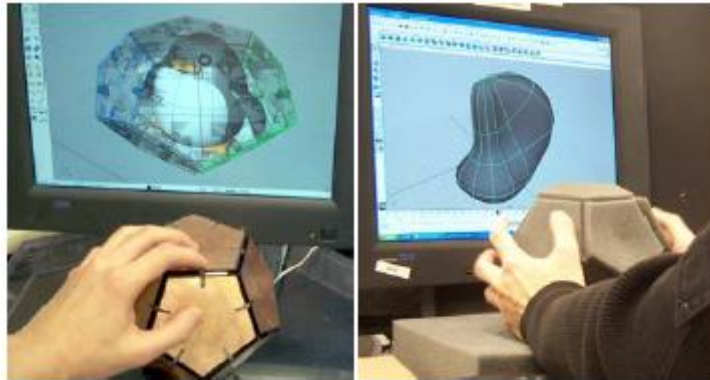


Abbildung 2.10: iSphere des MIT

controller ausgewertet und mittels einer RS232 Schnittstelle an einen Rechner übertragen. Das Eingabegerät wurde derzeit für die Nutzung mittels der Alias|Wavefront MAYA 6.0 API²⁰ konzipiert.

Innerhalb einer Studie, in der die Praxistauglichkeit des iSphere mit der Tauglichkeit von Maus und Keyboard verglichen wurden, ergab sich, dass die gestellten Aufgaben (einfache Objektmodellierungen) mittels des iSphere schnell und intuitiv lösen ließen, während bei der Eingabe mittels Mouse und Keyboard nur diejenigen ähnliche Ergebnisse lieferten, die bereits Vorkenntnisse mit Alias Maya 6.0 hatten.

Es muss an dieser Stelle allerdings ebenfalls erwähnt werden, dass die Genauigkeit des iSphere noch nicht völlig ausgereift ist, so dass während der Modellierungsstudie die Teilnehmer fast die Hälfte der Zeit damit verbrachten, ihre Modellierungseingaben zu korrigieren (vor und zurück), da das Gerät nicht so präzise arbeitete, wie es für sie wünschenswert gewesen wäre.

2.1.7 IPARLA Projekt

Das IPARLA Projekt ist ein Gemeinschaftsprojekt, das sich zum Ziel gesetzt hat, mobilen Nutzern eine optimale Interaktion zwischen ihnen und der Visualisierung zu ermöglichen. In diesem Zuge entstand an der University of Bordeaux ein mobiles 3D-Eingabegerät. Es ist somit eines der wenigen mobilen Eingabegeräte für 3D-Anwendungen.

Neben einem PDA²¹, der mit einer Kamera versehen ist, wird zusätzlich noch ein Steuer-

²⁰Application Programmers Interface

²¹Personal Digital Assistant

element benötigt. Hierzu wird ein RGB-Bild²² verwendet, welches mit einem speziellem Rastermuster versehen ist. Die durch rote Rasterlinien getrennten Felder sind jeweils mit einer eindeutigen Kollorierung versehen. Während die Größe des Rastermusters im Bild der Kamera Aufschluss über die Entfernung zu dem Bild gibt, kann anhand der Kollorierung der Felder die Position des Bildes zur Kamera bestimmt werden. Durch diese Art der Eingabe wird den Beschränkungen (wie z.B. der kleine Bildschirm) eines PDA entgegengewirkt. So kann ein für den Nutzer natürliches Bewegen des Bildes eine gleichgeartete Bewegung mit einem sich verändernden Sichtausschnitt auf dem PDA zur Folge haben.



Abbildung 2.11: Mobiles 3D-Eingabegerät des IPARLA Projekts

Dieses Projekt entstand auf der Grundlage von ähnlichen Projekten der Universität Bordeaux und der Universität Halle, die bereits ein Eingabegerät nach dem gleichen Prinzip für den 2D-Raum verwirklicht hatten.

Das Projekt ist ein sehr interessanter Ansatz für die 3D-Interaktion, da es neben dem Anzeigegerät mit einer Kamera und dem Bild als Steuerelement keine weiteren Installationen in der Umgebung oder an der Person notwendig sind. Die Nutzung stellt sich somit recht unkompliziert dar. Nachteilig in der derzeitigen Konfiguration ist die Voraussetzung des Einsatzes beider Hände (siehe Bild 2.11) und die Notwendigkeit eines optimalen Kamerabildes.

²²Ein Bild in den Farben Rot, Grün und Blau

2.1.8 Novint Falcon



Abbildung 2.12: Das Falcon 3D-Eingabegerät der Firma Novint

Mit dem Novint Falcon soll ein weiteres Produkt aus dem Bereich der kommerziellen 3D-Produkte Erwähnung finden. Wie auch bei dem Space Explorer muss der Nutzer direkt mit dem Eingabegerät Kontakt haben. Ein über ein Gestänge mit der Basis des Gerätes verbundenes Griffelement wird hierbei für die Eingabe genutzt. Was dieses System gegenüber anderen dennoch hervorhebt, ist die „Force Feedback“²³Eigenschaft, über die es verfügt. In Verbindung mit der Funktion der 3D-Eingabe ergibt sich hierdurch die Möglichkeit, dem Nutzer ein Gefühl über ein Gewicht oder sogar über die Oberflächenstruktur des jeweilig gehandhabten Objektes zu vermitteln.

Der Falcon bietet somit die Eigenschaft, einen weiteren menschlichen Sinn, den Tastsinn, anzusprechen. Obwohl der Falcon vor allem auf die Spieleindustrie abzielen scheint, gibt es noch kein Spiel, das diese Eigenschaften nutzt. Somit bleiben vorerst die mitgelieferten Demoawendungen wohl die einzigen Anwendungsgebiete, welche die Möglichkeiten des Falcons voll ausnutzen. Es bleibt zu hoffen, dass diese Produktidee weiterentwickelt wird und nicht auf Grund mangelnder Anwendungen aufgegeben wird.

2.2 Anwendungsgebiete dieser Technologien

Um den Nutzen dieser Eingabegeräte in unserer heutigen Welt zu veranschaulichen, soll in diesem Kapitel auf ihre derzeitigen Anwendungsgebiete eingegangen werden.

In jedem dieser Anwendungsgebiete findet eine Interaktion zwischen dem Nutzer und einer 3D-Umgebung statt. Dies kann ein Darstellungsprogramm sein, das für den Nutzer eine natürlich erscheinende Interaktion mit den Daten erlaubt, aber es kann sich hierbei auch um ein Programm für 3D-Diagramme und Baupläne handeln, die anhand von komplexen

²³Beim Force Feedback wird über Motoren mittels Kraftimpulsen auf das Griffelement eingewirkt

Bearbeitungsprozessen verändert werden. Diese Veränderungen können sowohl durch einen einzelnen Nutzer angestoßen sein als auch durch mehrere Nutzer innerhalb eines Collaborative Workspace. Es handelt sich dabei um eine Arbeitsumgebung, in der die Nutzer an verschiedenen Projekten zusammenarbeiten. Bei einem Collaborative Workspace steht das Teamwork stark im Vordergrund, entsprechend müssen die Eingabetechniken auch auf ggf. Eingaben mehrerer Personen ausgelegt sein.

Bei einer genaueren Betrachtung der Anwendungsgebiete erkennt man schnell, dass - obwohl ihnen allen das gleiche Prinzip der Interaktion zwischen Nutzer und einer Umgebung zugrunde liegt - die jeweiligen Anforderungen alles andere als uniform sind.

Als Beispiele seien die Bereiche der Konstruktion, Medizin, Grafik, aber auch die Spieleindustrie genannt.

Die Konstruktion wurde hier als ein Oberbegriff für alle Bereiche gewählt, in denen Konstruktionspläne erstellt werden. Dabei kann es sich um einen Architekten, aber ebensogut um einen Ingenieur handeln, der eine neue Turbine entwickelt (als Beispiel siehe Bild 2.13). Gerade dieser Bereich beinhaltet den derzeit größten Bedarf an 3D-Interaktion. Im Vergleich zu den im Folgenden erwähnten Bereichen, steht bei den Eingabegeräten in diesem Bereich der schnelle Nutzen im Vordergrund, weniger die langfristige Forschung.

Der Bereich der Medizin ist ein gutes Beispiel für Projekte, bei denen die Forschung oft im Vordergrund steht und der praktische Nutzen nicht außer acht gelassen wird. Die Medizin hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt, und somit auch die Rahmenbedingungen, unter denen die Ärzte arbeiten. Endoskope²⁴ ermöglichen mittels einer nur kleinen Öffnung in den Körper zu blicken oder dort sogar Operationen vorzunehmen. CT's²⁵ erzeugen schichtweise ein komplettes 3D-Bild der untersuchten Stellen. Dies alles erfordert ebenfalls Veränderungen in der Interaktion mit den so gewonnenen Daten. Das Projekt „Eye of Ra“ (Seite 13) zeigte bereits eine Herangehensweise in Bezug auf Eingabegeräte im medizinischen Bereich, doch bis zu einer Praxistauglichen Anwendung wird für diesen Bereich noch einiges an Entwicklungszeit eingeplant werden.

Gerade in den letzten Jahren hat sich gezeigt, was alles mit Computergrafik möglich ist. Es gibt wenige große Kinokassenschlager, die nicht mittels grafischer Effekte die am Computer entstanden sind, aufgewertet werden. Dinosaurier laufen über die Leinwand, Raumschiffe rasen durch den Weltraum. Ein Großteil dieser Bilder sind 3D-Animationen, welche durch Zuhilfenahme von 3D-Eingabegeräten gezeichnet werden.

Als abschließendes Beispiel soll der Nutzen von 3D-Eingabegeräten für die Spieleindustrie genauer erläutert werden. Mit jeder neuen Rechnergeneration und neuen Technik entstehen

²⁴kleine Kameras am Ende eines dünnen, beweglichen Schlauches/Armes

²⁵Computer Tomograph

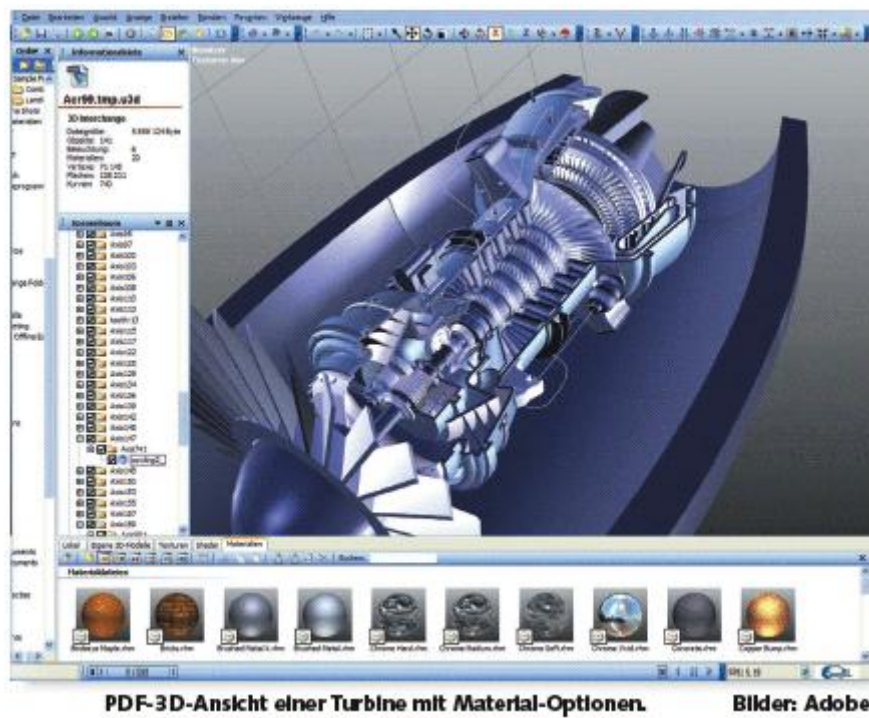


Abbildung 2.13: Beispiel einer Konstruktionszeichnung einer Turbine

neue Möglichkeiten für neue Eingabegeräte und anspruchsvollere Spiele. Technologien wie das Eingabegerät der Wii-Konsole bieten bereits einige 3D-Interaktionsmöglichkeiten. Die nächste Generation der Konsolen und Computerspiele wird auf diesen Neuerungen aufbauen und wiederum Neues bieten. Die 3D-Technologien stehen bereits bei vielen Herstellern in den Startlöchern. Sony entwickelt so zum Beispiel eine neue, günstige Variante des 3D-Handsuhes, von dem eine Variante bereits in Kapitel 2.1.5 beschrieben wurde. Aber auch der Kwisath aus Kapitel 2.1.1 ist direkt im Bereich der Spieleindustrie anzusiedeln. Je stärker die Entwicklung neuer Spiele voranschreitet, desto mehr wächst der Wunsch, besser und natürlicher mit dieser Spielwelt zu interagieren.

Die eben genannten Beispiele spiegeln die vielfältigen Einsatzgebiete wider. Mit ihnen gehen ebenso vielfältige, oftmals sehr unterschiedliche Anforderungen einher. Die generelle Herangehensweise besteht darin, zu analysieren, wie ein Mensch natürlich mit dem jeweiligen Medium interagieren würde. Welche Gewohnheiten er bei der Interaktion aufweist, und welche somit auch in einem neuen Eingabegerät wünschenswert wären. Anhand von diesen Grundlagen wird anschließend ein Eingabegerät entwickelt, das optimal auf die jeweiligen Anforderungen zugeschnitten ist wie z.B. auf die Nutzung bei Konferenzen oder in Arbeitsgruppen.

2.3 Wertung bisheriger Projekte

Der Überblick über die bisherigen Projekte lieferte bereits erste Erkenntnisse, inwiefern die eingesetzten Technologien im Rahmen der in Kapitel 1.1 beschriebenen Szenarien nutzbringend eingesetzt werden können.

Die nachfolgende Tabelle soll dies nochmals verdeutlichen. Die Wertung erfolgt hierbei nach folgenden Kriterien:

Mobilität: Ist es dem Nutzer möglich sich frei zu bewegen?

Nutzung / Bedienungsanforderungen: Speziell in Bezug auf die Verfügbarkeit der Hände. Müssen sie das Steuergerät halten, oder sind sie frei verfügbar?

Preis: Welche Systeme scheiden für eine spätere Nutzung durch ihren hohen Preis aus?

Wie aus der Tabelle 2.1 ersichtlich wird, ist die Nutzung in einer festen Umgebung dominierend für 3D-Anwendungen. Diese Technologien bieten oftmals Funktionalitäten, wie die Bestimmung einer Position und die mit dieser Position verbundenen Zeigerichtung.

Was sich jedoch zeigt, ist, dass keine der Technologien für das Szenario der Rettungskräfte geeignet ist. Die meisten dieser Projekte erfüllen nicht die Mobilitätsanforderungen des Szenarios.

Tabelle 2.1: Überblick über die Projekte

Projekt	Mobilität	Nutzung	Bemerkung
Space Actor	stationär	einhandig	zu hoher Preis(Hochleistungskameras)
Space Explorer	stationär	beidhändig	-
Hybrid Input Device	stationär	einhandig	zu hoher Preis(Hochleistungskameras)
Malleable Surface Interface	stationär	einhandig	-
Datenhandschuh	mobil	einhandig	-
iSphere Projekt	stationär	beidhändig	-
IPARLA Projekt	mobil	beidhändig	mögliche Nutzung(Szenario Ingenieur)
Novint Falcon	stationär	einhandig	-

Der Einsatz im Bereich der Rettungskräfte stellt ein völlig neues Gebiet mit wiederum neuen Anforderungen dar. Bei den Anforderungen wird man mit einer sich verändernden Position in einer nicht definierten Umgebung konfrontiert. Das IPARLA Projekt erfüllt die Anforderung an die Mobilität, aber wie im Kapitel 4.1 gezeigt wird, ist es nicht innerhalb der Rahmenbedingungen dieses Projekts einsetzbar.

2.4 Gestenerkennung

Einige der 3D-Eingabegeräte bieten interessante Möglichkeiten in Bezug auf die Gestenerkennung. Die Gestenerkennung hat im Rahmen dieses Projekts vor allem unter dem Gesichtspunkt der „Seamless Interaction“ Bedeutung. Um eine natürliche Interaktion zwischen dem Nutzer und einer virtuellen Umgebung zu ermöglichen, ist es notwendig, die natürlichen Interaktionsweisen der Nutzer genauer zu betrachten. Gesten stellen von ihnen dar.

Unter Betrachtung dieses Punktes entsteht ein alternatives Einsatzgebiet für 3D-Eingabegeräte. In einer virtuellen Umgebung bietet die Gestenerkennung zum Beispiel Möglichkeiten, anhand der aktuellen Position des Nutzers seine Orientierung im Raum anzuzeigen. Auf diese Weise können Bewegungen und Drehungen um die Achsen des Nutzers ermöglicht werden.

Als ein Beispiel für ein solches Forschungsprojekt soll das Computer Grafik Labor der ETH Zürich angeführt werden. Im Speziellen bietet hier die Arbeit von Doo Young Kwon und Markus Gross über „A Framework for 3D Spatial Gesture Design and Modeling Using a Wearable Input Device“ (siehe Kwon und Gross (2007)) vielversprechende Ansätze.

Zum Erkennen von Bewegungen wird bisher ein Eingabegerät, welches mit Beschleunigungssensoren versehen ist, genutzt. Die Bilder 2.14 und 2.15 verdeutlichen dieses Prinzip. Die erfassten Bewegungsdaten werden über zwei Mustervergleichstechniken in Eingabesignale umgewandelt. Bei den Mustervergleichstechniken handelt es sich um das „Dynamic Time



Abbildung 2.14: Der Arbeitsraum des Nutzers

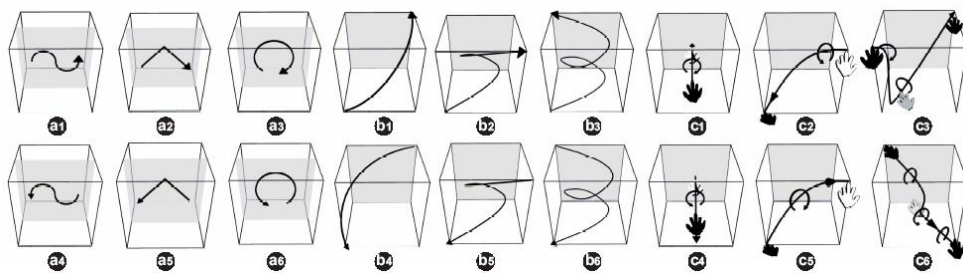


Abbildung 2.15: Mögliche Gesten einer Beispiel Anwendung eines Projekts der ETH Zürich

Warping“ (DTW) und das „Hidden Markov Models“ (HMMs), welche beide in der einschlägigen Literatur eingesehen werden können.

Ein interessantes, neues Einsatzgebiet würde entstehen, wenn dieses Eingabegerät in Verbindung mit anderen Technologien, wie dem Sony Datenhandschuh, gebracht wird. Durch eine ausgereifte Gestenerkennung auf Softwareseite könnte eine solche Kombination dazu genutzt werden, sprachbehinderten Menschen zu helfen. Es wäre möglich, die von ihnen genutzte Zeichensprache anhand der erkannten Gesten in eine rudimentäre Sprache umzuwandeln. So wäre eine Kommunikation mit Menschen möglich, die nicht ebenfalls die Zeichensprache beherrschen.

Kapitel 3

Grundlagen benutzter Techniken

3.1 Positionsbestimmung

Für das Erkennen von Positionsveränderungen im dreidimensionalen Raum benötigen wir Informationen über Fixpunkte innerhalb des Raumes, anhand derer die aktuelle Position relativ zu den Fixpunkten ermittelt wird. Diese Fixpunkte können entweder die alte Position sein oder stationäre Punkte, deren Positionen bekannt sind.

Im Falle einer bekannten Ausgangsposition werden Informationen über die zurückgelegte Strecke und ihre Richtung benötigt, anhand derer die neue Position berechnet wird. Da diese Informationen jedoch nicht direkt zur Verfügung stehen, müssen sie z.B. über eine Beschleunigung in eine bestimmte Richtung errechnet werden. Diese Berechnung ist jedoch mit Ungenauigkeiten behaftet.

Das Problem dieses Verfahrens liegt derzeit in der „Koppelung“, welche auch als „Dead Reckoning“²⁶ bezeichnet wird. Durch jede Positionsveränderung wächst der mögliche Fehler für die aktuelle Position, was ohne einen zeitweisen Abgleich, der z.B. durch einen Reset oder ein Bestätigen der Position erfolgt, schnell zu unbrauchbaren Daten führen kann. Obwohl sich derzeit mehrere Forschungsprojekte damit beschäftigen (so z.B. das Fraunhofer Institut), den durch Dead Reckoning entstehenden Fehler zu verringern, wird es noch einige Zeit brauchen bis Ergebnisse vorliegen.

Das Verfahren die Position über den Einsatz von Fixpunkten zu bestimmen, findet z.B. in gängigen Systemen wie GPS Anwendung. Um die Position zu bestimmen, benötigen wir die Entfernungen der Position zu den Fixpunkten, deren Koordinaten bekannt sind oder die Winkel, in denen sich die zu bestimmende Position zu den Fixpunkten befindet.

²⁶Dead Reckoning ist bekannt aus der Seefahrt, wo anhand der Geschwindigkeit und der Richtung die neue Position ermittelt wurde. Mittlerweile wird hierbei in großem Maße ebenfalls auf Satellitengesteuerte Positionsbestimmung (GPS - Global Positioning System) zurückgegriffen.

Diese beiden Methoden zur Positionsbestimmung werden Multilateration und Multiangulation²⁷ genannt.

Multilateration Bei der Multilateration wird die Position anhand von 3 oder mehr bekannten Fixpunkten und ihren Entfernungen zu einer unbekannt Position errechnet. (siehe Bild 3.1)

Multiangulation Bei der Multiangulation sind ebenfalls 3 oder mehrere Fixpunkte, ein Winkel und eine Richtung zu einer unbekannt Position bekannt. (siehe Bild 3.2)

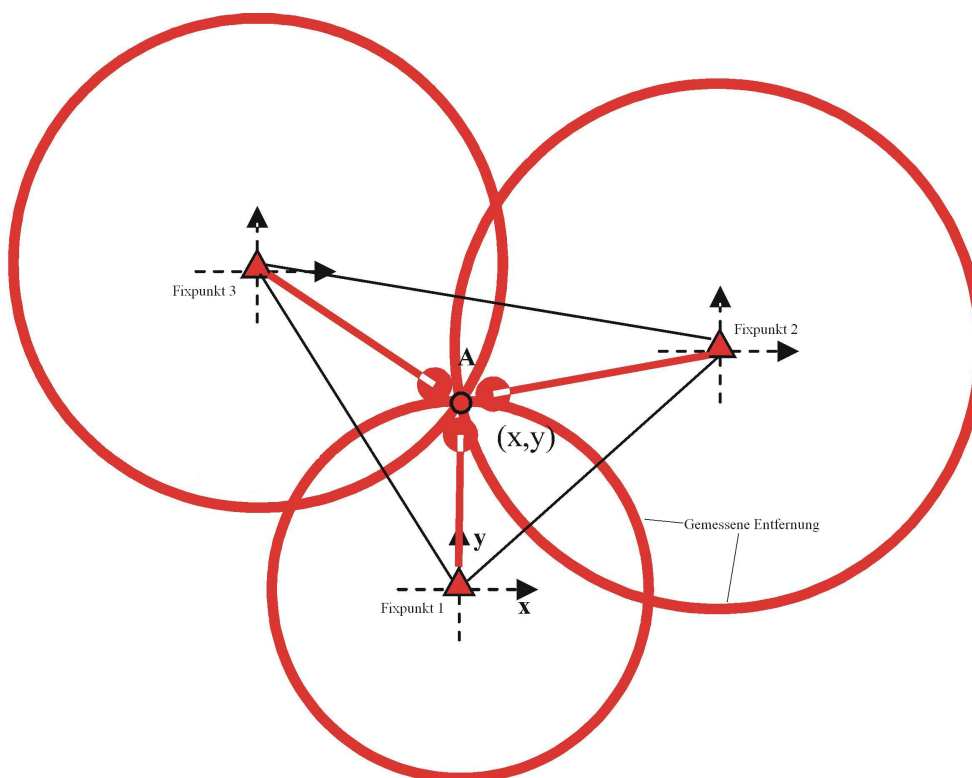


Abbildung 3.1: Multilaterationsverfahren

Diese beiden Verfahren lassen sich bei Bedarf auch kombinieren. Da im weiteren Verlauf der Arbeit die Multilateration von Wichtigkeit sein wird, ist ihr ein eigenes Kapitel (siehe Kapitel 3.2) gewidmet. Um die, für die Multilateration benötigten Entfernungen zu ermitteln werden derzeit 4 verschiedene Verfahren angewendet:

²⁷Trilateration und Triangulation werden hierbei ebenfalls durch die Multilateration und die Multiangulation abgedeckt

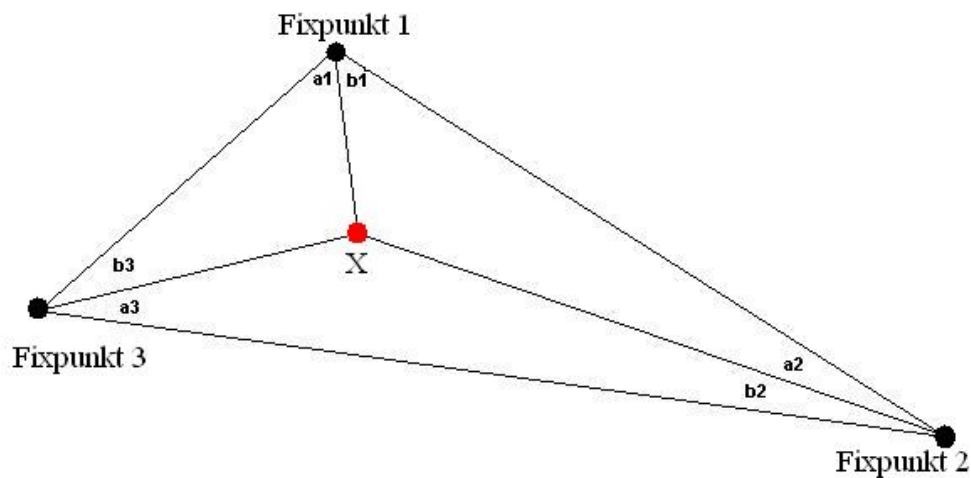


Abbildung 3.2: Multilaterationsverfahren - a_1, b_1 , usw. sind die jeweils bekannten Winkel

Signallaufzeit (engl. time - of - flight): Das Verfahren der Signallaufzeit (ToF) bestimmt die Laufzeit eines Signals, dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit bekannt ist und dessen Sendezeit dem Empfänger bekannt ist. Es setzt daher voraus, dass der Sender und der Empfänger über synchronisierte Uhren verfügen. Um die Entfernung zwischen dem Sender und dem Empfänger zu ermitteln, wird die gemessene Zeit mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit multipliziert.

Rundenzeit (engl. round - trip - time) : Die Rundenzeit (RTT) ermittelt die Entfernung durch die Laufzeit eines ausgesendeten Signals. Ein Funkmodul sendet ein Signal aus, welches von einem weiteren Funkmodul empfangen und erneut ausgesendet wird. Das erste Funkmodul ermittelt die Zeit, die vergeht, bis es das „Echo“ seines Signals empfängt. Diese gemessene Zeit wird halbiert und anhand der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals wird auf eine Entfernung geschlossen.

Laufzeitunterschied (engl. time - difference - of - arrival): Der Laufzeitunterschied (TDoA) nutzt ein Verfahren mit zwei Signalen, um die Entfernung zwischen Sender und Empfänger zu ermitteln. Die eingesetzten Signale verfügen über unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Der Empfänger errechnet mit dem Zeitunterschied der Ankunft der Signale eine Entfernung. Dieses Verfahren kann alternativ auch mit einem Sender, welcher nur ein Signal aussendet, und zwei synchronisierten Empfängern umgesetzt werden.

Signalstärke Für die Berechnung einer Entfernung mit diesem Verfahren benötigt man prä-

zise Daten über das Verlustverhalten der Signalstärke. Der Empfänger nutzt Daten aus Referenzmessungen um eine Entfernung des Senders abzuschätzen. Durch Reflexionen an Gebäude, Personen oder Gegenständen stellt sich die Gewinnung präziser Daten über das Verlustverhalten eines Signals schwierig dar.

3.2 Mathematische Grundlagen der Positionsbestimmung

Das mathematische Verfahren, welches in diesem Projekt zur Positionsbestimmung genutzt wird, wird Multilateration genannt. Es handelt sich hierbei um ein Verfahren, bei dem eine unbekannt Position anhand von vier Entfernungen zu bekannten, absoluten Bezugspunkten berechnet wird. Jeder dieser Bezugspunkte besitzt entsprechend einen X-, Y- und Z-Wert.

Die vier Entfernungen und deren jeweilige Bezugspunkten werden in die Gleichung 3.1 eingesetzt. So ergeben sich vier Gleichungen mit drei Unkenannten. Ein solches Gleichungssystem kann eindeutig gelöst werden.

In Gleichung 3.1 stehen x, y und z für die unbekannt Position des Empfängers, x_i, y_i und z_i stellen die jeweilige Position des Bezugspunktes dar, mit i als Index, welcher den Sender bezeichnet. $v * t_i$ gibt die berechnete Entfernung des Senders zum Empfänger wieder, wobei es sich bei v um die Signalgeschwindigkeit handelt und bei t_i um die Laufzeit des Signals vom Sender zum Empfänger. Im dreidimensionalen Raum kann man es sich so vorstellen, dass jede Entfernung sich kugelförmig um ihren Bezugspunkt erstreckt. Im Schnittpunkt dieser 4 Kugeln befindet sich der Empfänger. Die Gleichung wird als euklidischer Abstand bezeichnet, hier im speziellen für den dreidimensionalen Raum.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = d_i^2 = (vt_i)^2 \quad (3.1)$$

Durch die Nutzung der atomaren Multilateration lässt sich die Anzahl der notwendigen Messwerte und den dadurch erhaltenen Entfernungen auf 3 reduzieren um eine absolute physikalische Positionsinformation bereitzustellen. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass sich alle Bezugspunkte auf einer Ebene befinden. Dadurch wird der Wert Z_i für alle Gleichungen auf null gesetzt (Bezugspunkt: X,Y,0). Bei näherem Interesse über die atomare Multilateration sei auf die Quelle (Miu, 2002) verwiesen.

Das neu entstandene Gleichungssystem mit 3 Gleichungen und 2 Unbekannten ist ebenfalls wieder lösbar. Aus diese Gleichungen werden jetzt die z-Werte eliminiert und sie werden in ein Matrix System überführt. Entsprechend ergeben sich die unteren Gleichungen 3.2, 3.3 und 3.4.

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (3.2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_0) & 2(y_1 - y_0) \\ 2(x_2 - x_0) & 2(y_2 - y_0) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{m-1} - x_0) & 2(y_{m-1} - y_0) \end{bmatrix}, \vec{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} (x_1^2 - x_0^2 + y_1^2 - y_0^2 - v^2(t_1^2 - t_0^2)) \\ (x_2^2 - x_0^2 + y_2^2 - y_0^2 - v^2(t_2^2 - t_0^2)) \\ \vdots \\ (x_{m-1}^2 - x_0^2 + y_{m-1}^2 - y_0^2 - v^2(t_{m-1}^2 - t_0^2)) \end{bmatrix}, m \geq 3 \quad (3.4)$$

Da die Signalgeschwindigkeit v bekannt ist, ebenso wie t_i , können anschließend durch das Lösen der Gleichung 3.4 die entsprechenden x - und y -Koordinaten des Empfängers berechnet werden. Dies erfolgt unter der Voraussetzung, dass die Determinante der Matrix ungleich 0 ist. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass es sich bei der Matrix der Gleichung um eine 2×2 Matrix mit 2 Unbekannten handelt. Ein solches Gleichungssystem ist nur unter der oben genannten Voraussetzung eindeutig lösbar. Erneutes Einsetzen der errechneten Koordinaten in die Gleichung 3.1 liefert die z -Koordinate des Empfängers.

Kapitel 4

Konzeption

Für die Umsetzung eines 3D-Eingabegerätes für mobile Anwendungen, welches in der Lage ist eine Handbewegung in eine Steuerbewegung umzusetzen, wird ein Hardware System benötigt, das die Position der Hand bestimmen kann.

Da die Mobilität eine der wichtigsten Anforderungen dieses Projekts ist, muss sich dieses System am Körper des Nutzers befinden. Anders könnte nicht gewährleistet werden, dass eine Nutzung in einer unbekanntem Gegend möglich ist. Daher scheiden die bisherigen stationären 3D Eingabegeräte und deren Techniken für eine solche Anwendung aus.

Für die Umsetzung eines mobilen Systemes eignen sich Positionierungsmodule, die in der Lage sind die Entfernungen, die zwischen ihnen liegen, zu bestimmen. Die verschiedenen Verfahren für eine Entfernungsermittlung wurden bereits in Kapitel 3.1 erläutert. Um für dieses Projekt nutzbare Daten zu erhalten, benötigen diese Module Genauigkeiten die im Zentimeterbereich liegen.

Zu diesem Zweck werden 3 Module, die Fixpunkte für die Ortung darstellen, auf der Kleidung am Torso des Nutzers angebracht. Die relativen Positionen der Fixpunkte sind dem Gesamtsystem bekannt. Damit ist das System in der Lage den vierten Punkt auf dem Handrücken im dreidimensionalen Raum zu bestimmen. Das Handmodul wird mit einem kleinen, tragbaren Rechner verbunden sein. Durch das Handmodul werden Entfernungsdaten des Moduls zu den Fixpunkten an den Rechner übermittelt, wo diese für eine Positionsrechnung genutzt werden. Anschließend wird diese Positionsinformation in ein Steuersignal in Form eines Mauszeigers umgewandelt.

Als Anzeigemedium ist ein HUD²⁸ angedacht, im Speziellen ein Virtual Retinal Display²⁹. Im Zuge der Prototypenentwicklung ist das Anzeigemedium jedoch vorerst ohne Bedeutung und wird daher nicht näher ausgeführt.

²⁸Head Up Display

²⁹Netzhautprojektions Display

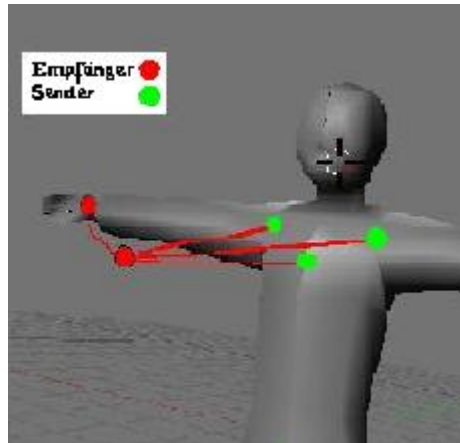


Abbildung 4.1: Positionierung der Module am Körper. Frühe Zeichnung, optimale Positionierung wäre auf 2/3 der Höhe des Torsos



Abbildung 4.2: QRT-Rechner und ein Virtual Retinal Display

4.1 Rahmenbedingungen

Das Projekt ist durch Rahmenbedingungen definiert, einer Einsatzumgebung und den Anforderungen, die aus ihr erwachsen.

Innerhalb des Szenarios soll auf den Einsatz eines 3D-Eingabegerätes bei Rettungskräften in extremen Situationen eingegangen werden. Es liegt eine hohe Belastung für das Material und für die Rettungskraft vor. Es ist mit starker Rauchbildung, Hitze und einer nicht vorhandenen Sicht zu rechnen. Für die Konzeptionierung des Prototypen werden diese Umweltbedingungen wie Rauch und Hitze, jedoch vorerst außer Acht gelassen.

4.1.1 Anforderungen an das System

Durch die Benutzung des Eingabegerätes von Rettungskräften und der Einsatzumgebung ergeben sich bereits die ersten Anforderungen:

Ortsunabhängigkeit/ Mobilität Das System soll für stationäre und mobile Anwendungen nutzbar sein. Die Gewichtung liegt daher auf der mobilen Anwendung, da diese die stationäre einschließt. Mobilität ist notwendig, um den Nutzen für eine Rettungskraft im Einsatz zu gewährleisten.

Die Größe und das Gewicht Im Sinne der Mobilität muss das System sich am Körper der Rettungskraft befinden, in unserem speziellen Fall am Torso und auf dem Handrücken. Um die Rettungskraft nicht unnötig zu behindern, ist ein leichtes und kleines System wünschenswert.

Keine auf Sicht basierende Ortung Da mit starker Rauchbildung zu rechnen ist, muss das Eingabegerät vollständig auf Sicht (Kameras) verzichten.

Einfache Bedienung/ Usability Stress und ggf. geringe Bewegungsfreiheit sollen die Bedienbarkeit nicht über die Maße einschränken. Die Hände der Rettungskraft müssen für andere Aufgaben frei sein.

Zuverlässigkeit Der Zuverlässigkeit wird in diesem Fall nicht nur auf Grund der Usability viel Stellenwert beigemessen, sondern vor allem durch die Tatsache, dass diese Technik in Gefahrensituation Anwendung finden soll und dabei stets verlässlich und störunanfällig sein muss.

Kostenfaktor Um eine Nutzung des Eingabegerätes durch die Rettungskräfte zu ermöglichen und auch ggf. die Möglichkeit einer kommerziellen Nutzung des Prinzips zu ermöglichen, sollten die Kosten für ein Eingabegerät möglichst gering sein.

Gestik / Arbeitsraum Ein den Projektrahmen einschränkender Faktor entsteht aus der Definition des Arbeitsraumes, welcher durch die Armlänge, dem maximalen Bewegungsradius vor dem Körper, entsteht. Nähere Informationen in Kapitel 5.3.

Diese Anforderungen werden im folgenden Kapitel aufgegriffen. An ihnen wird die Auswahl einer geeigneten Technik herbeigeführt.

4.2 Hardwareübersicht

Im Folgenden soll auf Elektronik eingegangen werden, welche den Ansprüchen innerhalb des Szenarios voraussichtlich gewachsen ist. Alle Techniken, die auf Sicht basieren werden hierbei außer Acht gelassen, da die Sicht laut den Rahmenbedingungen nicht gewährleistet werden kann. Um eine Positionserkennung des Empfängers nur mittels mitgeführter Sender zu ermöglichen bieten sich vor allem zwei Systeme an. RFID's und Ultraschallmodule.

Es wird im Speziellen auf die Möglichkeiten, die diese Module für eine solche Anwendung bieten, eingegangen. Mittels einer Triangulation wird jeweils die Entfernung des Modules am Handrücken zu den drei Modulen am Körper ermittelt. Diese Entfernungen werden an ein Rechnermodul übermittelt, in dem anschließend eine relative Position der Hand im Raum errechnet wird.

Innerhalb des Rechnermoduls wird dieses Signal durch einen Treiber in ein Steuersignal umgewandelt.

4.2.1 RFID

Derzeit wird in vielen Projekten mit RFID³⁰s gearbeitet und geforscht. Sie sind in Bereichen wie z.B. der Indoor Positionierung³¹ oder der Logistik angesiedelt. Diese Bereiche unterscheiden sich oft grundlegend von dem Ziel dieser Arbeit, sollten aber dennoch genannt werden, um die Vielfältigkeit der Einsatzgebiete von RFID hervorzuheben. Bei diesen Modulen handelt es sich um Funkmodule, die entweder aktiv oder passiv arbeiten können. Aktive Module verfügen über eine eigene Energieversorgung³². Sie befinden sich normalerweise in einem Ruhezustand, bis sie ein Aktivierungssignal erhalten, auf welches hin sie ihre Daten ausgeben. Bei den genutzten Verfahren liegt die Reichweite der aktiven Module bei etwa 100 Metern.

Die passiven RFID Module haben hingegen keine eigene Energieversorgung. Ihre Betriebsspannung erhalten sie über einen Kondensator, welcher sich durch die als Antenne genutzte Spule mittels Induktion auflädt. Die passiven RFID Module werden also durch das

³⁰Radio Frequency Identification

³¹Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden

³²Es handelt sich hierbei im Allgemeinen um eine Batterieversorgung, die jedoch nicht für das Senden des modulierten Rücksignals genutzt wird.

Lesegerät, mit welchem sie kommunizieren, direkt aufgeladen. Der Nachteil dieser Technik ist in der Reichweite zu finden, welche sich auf einen maximalen Raum von einigen Zentimetern beschränkt.

RFID Module können durch das Verfahren, welches anhand der Messung der Signalstärke einen Rückschluss auf die Entfernung zulässt, für dieses Projekt eingesetzt werden. Mittels dreier RFID's kann so mithilfe eines beschränkten Wertebereiches³³ die Position des Empfangsmodulen bestimmt werden.

Dieses Prinzip der Ortung wird zum Beispiel bei der Ortung von WLAN Access Points genutzt. In diesem Bereich wies es erstaunliche Erfolge und Genauigkeiten auf. Allerdings darf der Unterschied in den Größenordnungen nicht vergessen werden, da bei der Positionsbestimmung von WLAN Access Points keine zentimetergenauen Ergebnisse erforderlich sind.

Ein Nachteil bei RFID's stellt die Größe des Lesemoduls/-gerätes dar, welche bereits in einfachen Platinenversionen in etwa 60mm * 80mm beträgt (siehe Parallax (2005)).

4.2.2 Ultraschall / Funk

Die Grundlage der Positionsbestimmung mittels Ultraschall Modulen ist das TDoA³⁴ Verfahren, das die Laufzeitunterschiede von Signalen für seine Berechnungen nutzt. Ein Funk- und ein Ultraschallsignal breiten sich von der gleichen Quelle mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus, Licht- und Schallgeschwindigkeit.

Das Ultraschallsignal kann die meisten Körper auf seiner Bahn nicht durchdringen und wird durch diese reflektiert und gedämpft. Das macht eine direkte Sichtlinie zwischen dem Sende- und dem Empfangsmodul notwendig.

Die Schallgeschwindigkeit, mit der sich das Ultraschallsignal der Module ausbreitet, ist von zwei wesentlichen Punkten abhängig. Der Umgebungstemperatur und dem Druck. Jeder dieser beiden Faktoren wirkt sich beim Anwachsen des Wertes in einer Erhöhung der Schallgeschwindigkeit aus.

Diese Technologie wird in den IMAPS Modulen genutzt, auf die später im Kapitel 4.2.5 noch gesondert eingegangen werden soll.

³³ohne eine Beschränkung des Wertebereiches würde man 2 Positionen erhalten, eine korrekte, und eine gespiegelte, hinter den Modulen

³⁴Time Difference of Arrival

4.2.3 CPD-GPS

In Bezug auf Outdoor Einsatzgebiete³⁵ verdient ein auf GPS basierendes System in diesem Kontext Erwähnung. Es handelt sich um das Carrier Phase Differenzial GPS³⁶.

Das GPS ist in der Lage, die Position eines Empfängers auf jedem Ort der Erde festzustellen, von dem aus Funkkontakt zu mindestens vier Satelliten besteht. Theoretisch würden bereits drei Satelliten ausreichen, um die genaue Position zu bestimmen, dabei würde jedoch von einer Position unmittelbar auf der Erdoberfläche ausgegangen werden also von einer Höhe von null Metern. Um auch die Höhe zu erfassen, also eine dreidimensionale Positionsbestimmung durchführen zu können, muss auf mindestens vier Satelliten zurückgegriffen werden.

Das Prinzip der Positionsbestimmung basiert auf der Berechnung der Laufzeiten von ständig von den Satelliten ausgestrahlten Signalen. Diese Signale enthalten Informationen darüber, um welchen Satelliten es sich handelt, an welcher Position sich dieser befindet und zu welchem Zeitpunkt das Signal auf den Weg geschickt wurde.

In mindestens 90 Prozent der Messungen beträgt die Abweichung nun weniger als 10 Meter. Dies ist für unsere Zwecke natürlich viel zu ungenau. Eine Möglichkeit die Genauigkeit von GPS stark zu verbessern ist das Verfahren des Differentiellen GPS. Aus einer sehr exakt bekannten Position und einem GPS-Signal lässt sich ein Korrekturwert errechnen, welcher für GPS-Empfänger in der geographisch nahen Umgebung zu deutlich genaueren Positionswerten führen kann.

Bei der so genannten „Pseudorange Korrektur“ ermittelt eine Basisstation die Fehler der Strecken zu den Satelliten und übermittelt diese an die GPS Module. Hierdurch ist eine Korrektur möglich, welche die Positionsgenauigkeit bereits auf weniger als einen Meter erhöht.

Durch zusätzliche Messungen der Trägerphase der GPS-Signale (siehe Brinkkötter-Runde (1995)) erreichen die CPD GPS eine Genauigkeit von teilweise deutlich unter einem Zentimeter.

4.2.4 Kriterien für die Hardwareauswahl

Die Hardwareauswahl für das Projekt gestaltete sich einfach, weil die Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologien schnell auf der Hand lagen und sich diese in den wichtigen Details stark voneinander unterschieden.

Die CPD-GPS Technologie besitzt einige sehr interessante Anwendungsgebiete, aber für unser Eingabegerät kommt sie nicht in Frage, da sie durch mehrere Kriterien ausscheidet. Mit einem Preis von 3-5 tausend Euro pro Modul liegt sie weit außerhalb des angestrebten Rahmens. Obwohl man von diesem Modul nur die Antenne auf dem Handrücken befestigen müsste, ist das Gesamtsystem in seinen Ausmaßen dennoch nicht akzeptabel. Die GPS Technologie, und damit auch die CPD GPS Technologie, ist allerdings auf Satellitensignale

³⁵Außeneinsatz, unter freiem Himmel

³⁶Carrier Phase Differenzial Global Positioning System

angewiesen, die innerhalb von Gebäuden nicht garantiert werden können. Auf Grund dieser ortsbedingten Unzuverlässigkeit scheidet CPD-GPS als Technologie dieses Projekts zur Positionsbestimmung aus.

Die RFID's stellen einen vielversprechenden Ansatz dar, der wahrscheinlich auch verfolgt worden wäre, würden nicht die derzeit genutzten Lesegeräte durch ihre Größe einen unpraktischen Ansatz darstellen. Auch die Technologie, über die Signalstärke eine Position zu bestimmen, ist für unsere Anwendungsgebiete, einen Arbeitsbereich von etwa einem Quadratmeter, mit den damit erforderlichen Genauigkeiten, noch nicht genug ausgereift. Dennoch sollte man ein Auge auf dieser Technologie behalten, da sie für die Zukunft, nicht nur allein durch ihre geringen Kosten, sondern auch durch die interessanten Entwicklungen in diesem Bereich, sehr vielversprechend ist.

Auf Grund ihrer einfachen Technik sind die Ultraschallmodule kostengünstig in der Anschaffung. Die Größe und das Gewicht ermöglichen auch bereits in der Prototypen-Variante eine mobile Version des Systems, die die Rettungskraft nicht über die Maße hinaus behindern wird. Durch vorangegangene Projekte mit den IMAPS Modulen, den Ultraschallmodulen der HAW Hamburg, ist bereits Erfahrung und Wissen bezüglich ihrer Implementierung vorhanden. Die hinter ihnen stehende Technik zur Positionsbestimmung ist mehrfach erprobt und stellt daher eine gute Grundlage für erfolgreiches Projekt dar.

Aus diesen Gründen fiel die Entscheidung zugunsten der Ultraschallmodule als Hardwaregrundlage.

4.2.5 Die IMAPS Module

Die IMAPS³⁷ Module der HAW HAMBURG sind Positionierungs Module für den Einsatz innerhalb von Gebäuden, welche auf den Entwicklungen von Sebastian Gregor (siehe Gregor (2006)) und dem Cricket System³⁸ (siehe Miu (2002)) aufbauen, erfüllten die Kriterien für die Hardwareauswahl. Durch vorangegangene Projekte ist detailliertes Wissen über die Technik und die Anwendung dieser Module verfügbar.

Die Module sind mit einem ZigBee³⁹ Funkmodul ausgestattet und verfügen ebenfalls über einen Ultraschallsender oder -empfänger. Derzeit nutzen die IMAPS Module ein System von vielen Sendern mit bekannten Positionen, und einem/wenigen Empfängern, deren Positionen zu bestimmen sind.

Die Sendemodule überprüfen, ob sie ein Funksignal eines anderen Modules empfangen. Falls dem nicht so ist, leiten sie selber einen Broadcast ein, der den anderen Modulen mit-

³⁷indoor distance measurement and positioning system

³⁸Ein Positionierungssystem des MIT, dem Massachusetts Institut of Technologie, für den Einsatz in Gebäuden

³⁹ZigBee ist ein offener Funknetz-Standard der ZigBee Allianz basierend auf dem IEEE 802.15.4 Standard. ZigBee ermöglicht es Geräte auf Kurzstrecken (10 - 100 m) zu verbinden.

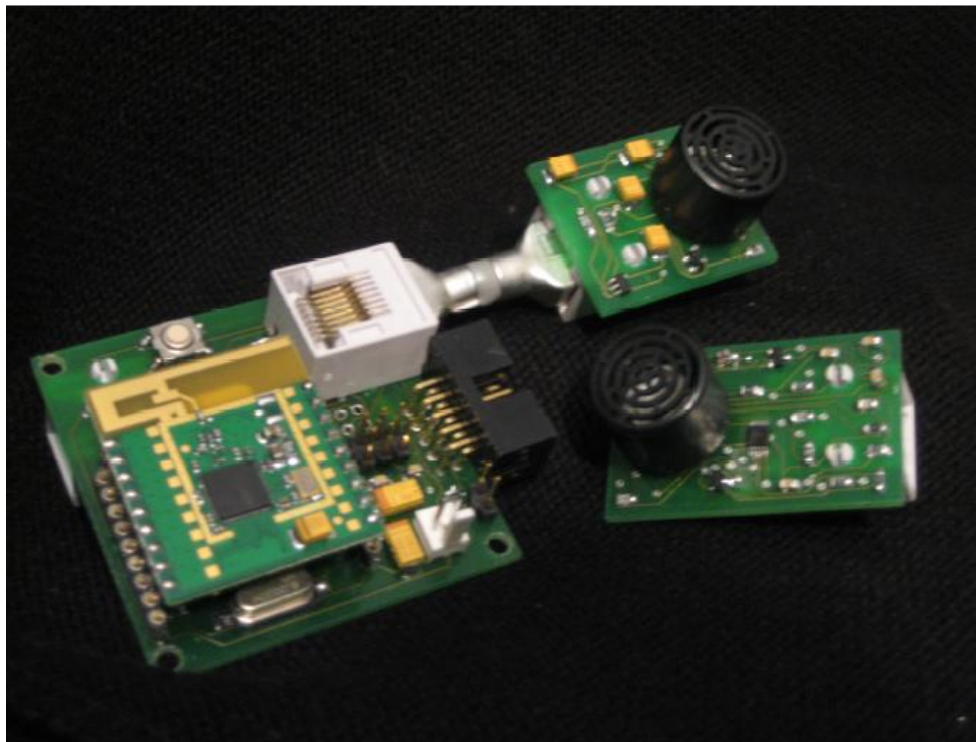


Abbildung 4.3: IMAPS Empfangs- und Sendemodul

teilt, dass der Kanal belegt ist. Zeitgleich sendet das Modul einen Ultraschallimpuls aus. Ein Empfangsmodul, welches ebenfalls die Nachricht über den ausgesendeten Impuls erhalten hat, kann anhand des Laufzeitunterschiedes zwischen Funk- und Ultraschallsignal eine Entfernung zum Sendemodul errechnen. Der Laufzeitunterschied entsteht durch die unterschiedliche Signalgeschwindigkeit, die einmal mit Lichtgeschwindigkeit (Funk) und einmal mit Schallgeschwindigkeit (Ultraschall) erfolgt.

Im Funksignal des Senders ist ebenfalls eine absolute Position des Sendemodules enthalten, welche jedem Sendemodul durch seine Programmierung gegeben wird. Durch diese Informationen lässt sich innerhalb eines Rechners, an den das Empfangsmodul angeschlossen ist, die Position des Empfangsmoduls berechnen.

Als Funkprotokoll wird hierfür das IEEE 802.15.4 (siehe IEEE (2003)) genutzt. Dieses Protokoll definiert die Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen. Das so entstehende Netzwerk dient zum Datenaustausch mit Übertragungsraten von bis zu 250kb/s

Es garantiert festgesetzte Sendezeiträume, verfügt über eine Kollisionsvermeidung durch CSMAwCA⁴⁰ und zeichnet sich durch einen geringen Leistungsverbrauch aus. Auf das genutzte Funkprotokoll wird im Kapitel 5.4.2 noch genauer eingegangen werden.

Ein Punkt der bei den IMAPS Modulen später als relevant erweisen wird, ist der sich verändernde Faktor der Schallgeschwindigkeit, welcher bereits im Kapitel 4.2.2 erwähnt wurde. Dies ist vor allem unter Berücksichtigung des Einsatzgebietes aus Kapitel 4.1 von Wichtigkeit.

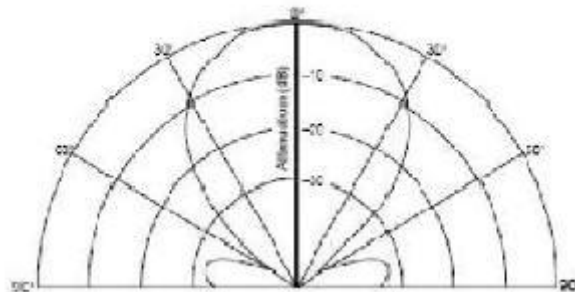


Abbildung 4.4: Ausbreitung des Ultraschallkegels

Von den Ultraschall Sendern der Module breitet sich der Schall kegelförmig aus, wie im Bild 4.4 zu sehen ist. Als Folge davon müssen der Ultraschallsender und der Ultraschallempfänger einander zugewandt sein. Es ergibt sich durch diesen Kegel ein Winkel, der vom Sender ausgeht, in dem man verwertbare Informationen erhält. Im Folgenden wird dieser Winkel als

⁴⁰Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

Arbeitswinkel bezeichnet werden.

Auf ihre genaue Funktionsweise wurde bereits in den vorangegangenen Arbeiten „Wearable Computing in Disaster Szenarien“ (siehe (Hinck, 2007)) und insbesondere in „Entwicklung einer Hardwareplattform für die Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von Gebäuden“ (siehe (Gregor, 2006)) eingegangen.

4.3 Software Konzeption

Software wird in mehreren Bereichen des Projekts tätig. Sie lassen sich wie folgt aufteilen:

Innerhalb der IMAPS Module

- Kommunikation zwischen den Modulen
- Erkennen des Laufzeitunterschieds der unterschiedlichen Signale
- Kommunikation mit dem Rechner

Innerhalb des Rechners

- Kommunikation mit dem Empfangsmodul
- Auswertung der Signale und Positionserrechnung
- Ansteuerung der Anzeige

Da die Software der IMAPS Module bereits im Vorfeld vorhanden war, wurde sie direkt und unverändert in das Projekt übernommen. Auf diese Weise war es möglich eine Kommunikation anhand des in Kapitel 5.4.2 erwähnten Protokolles zu konzeptionieren.

Die Software auf der Seite des Rechners liegt hingegen noch nicht vor. Die oben bereits beschriebenen Aufgaben der Software belaufen sich vor allem auf die Kommunikation mit dem Empfangsmodul, der Auswertung der Signale und der damit verbundenen Positionsbestimmung sowie der Umwandlung dieser Position in ein Signal, z.B. zur Ansteuerung eines Mauszeigers.

Bild 4.5 beschreibt den groben Ablauf der Vorgänge. Die Kommunikation mit dem Empfangsmodul erfolgt über eine serielle Schnittstelle. Mittels dieser Kommunikationsschnittstelle werden Datensätze erhalten, die jeweils eine ID des Senders, dessen Position, sowie eine Entfernung enthalten.

Das Gesamtsystem muss so angelegt werden, dass es echtzeitfähig ist. Prozesse müssen innerhalb eines festgelegten Zeitraumes ablaufen, da sonst eine Nutzung als Eingabegerät in Frage gestellt wäre. Um die Rahmenbedingungen eines solchen Systems zu gewährleisten, bietet sich an, das Programm auf parallel ablaufende Prozesse aufzuteilen. Das zeigt die Konzeption von Bild 4.6. Hier werden 3 Prozesse genutzt, um bestimmte Vorgänge gleichzeitig

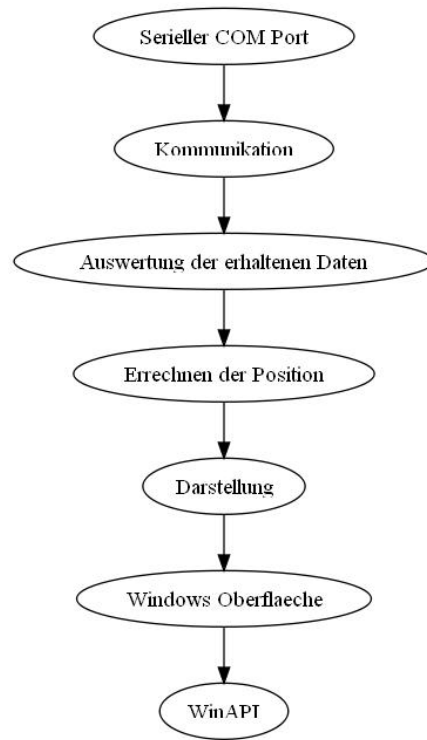


Abbildung 4.5: Grober Ablauf der Arbeitsschritte in der Software

ablaufen zu lassen. Hierbei wurde in den Sensoreingang, die Positionsberechnung und die Anzeige der Daten unterteilt. Zum Datenaustausch zwischen den Prozessen werden Datenstrukturen genutzt, auf die jeder der Prozesse zugreifen kann. Es handelt sich hierbei um die Strukturen „Empfangene Daten“ und „Positionsdaten“.

Der Prozess „Sensoreingang“ ist für die Kommunikation zum Empfangsmodul, welcher hier als ein Sensor verstanden wird, zuständig. Er erhält die empfangenen Daten der Sendemodule und fügt diese in die Datenstruktur „Empfangene Daten“ ein. Es handelt sich hierbei um die ID⁴¹ des jeweiligen Senders, dessen Position und die Zeitdifferenz zwischen dem Funksignal und dem Eingang des Ultraschallimpulses. So befinden sich kurz nach dem Start des Programms die Informationen der 3 Sender mit ihren Daten innerhalb der Datenstruktur. Der Prozess „Positionsberechnung“ liest die Daten aus dieser Struktur, und nutzt sie um die relative Position des Empfangsmoduls zu den Sendern zu bestimmen. Nach Abschluss der Rechnung wird die Position in die Datenstruktur „Positionsdaten“ übergeben. Der Prozess „Anzeige“ nutzt diese Positionsdaten für das Setzen des Zeigers innerhalb der Benutzerumgebung. Hierfür wird in diesem speziellen Fall die Windows API herangezogen, mit deren Hilfe Signale an das Betriebssystem gesendet werden können, die z.B. zum Setzen des Mauszeigers genutzt werden.

⁴¹ Identifikationsnummer

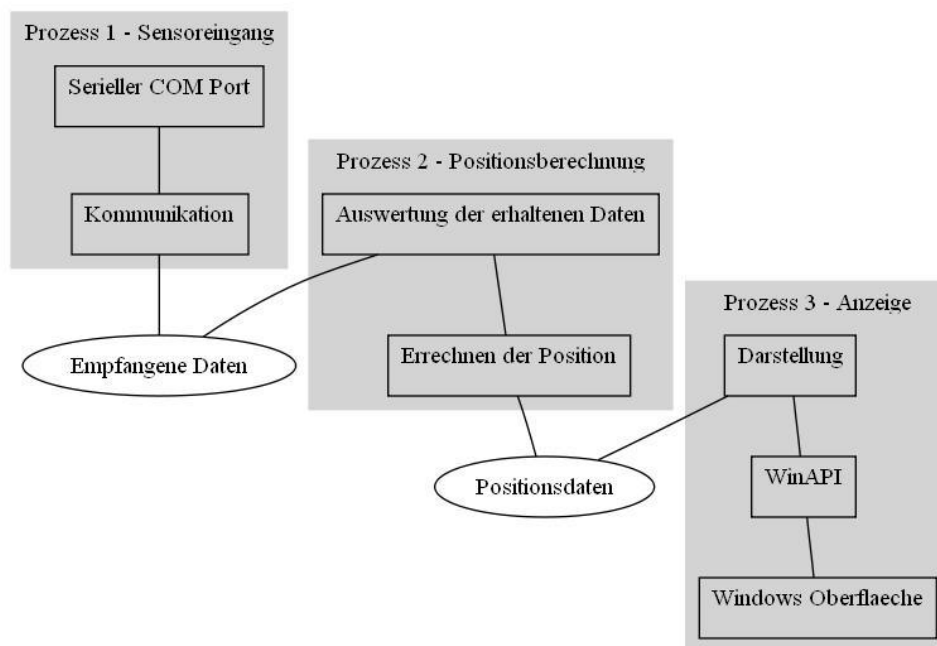


Abbildung 4.6: Erste Struktur der Software

Kapitel 5

Umsetzung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Umsetzung der Ideen und Anforderungen in einem prototypischen Eingabegerät. Für das Verständnis des Systems wird der Aufbau des IMAPS Empfangsmoduls näher erläutert. Dies erfüllt auch den Zweck, die später im Kapitel 7.2 erläuterten Verbesserungsvorschläge für ein alternatives Platinendesign verständlich zu machen.

Die einzelnen IMAPS Sender werden nicht näher erläutert, da auf diese bereits ausführlich in der Quelle ((Gregor, 2006)) eingegangen wurde. Für die Anwendung innerhalb dieses Projekts sind sie in der jetzigen Struktur und Funktionsweise gut geeignet.

5.1 Projektbezogene Anwendung

Das Projekt des Fraunhofer Instituts und auch das der HAW Hamburg sehen derzeit für die Rettungskräfte ein zweidimensionales Display vor. Damit ist gemeint, dass dieses Display für 2 dimensionale Anwendungen genutzt wird. Somit wäre ein Eingabegerät für den 2D-Raum im Sinne des Projekts völlig ausreichend. Allerdings stellte es keinen großen Mehraufwand dar, dieses System im 3D-Raum zu implementieren.

Für eine Nutzung in 3D-Umgebungen stellt das Programm Positionsdaten mit einem X-, Y- und einem Z-Wert zur Verfügung. Zur Steuerung der Vorführungsanwendung werden von den drei verfügbaren Daten nur zwei ausgelesen. So ist mit diesem Eingabegerät problemlos möglich, eine 2D-Anwendung zu steuern, genau wie eine 3D-Anwendung, für die entsprechend alle verfügbaren Positionsdaten ausgelesen werden müssen.

Eine Vorführungsanwendung für den 3D-Raum, welche alle drei zur Verfügung gestellten Werte nutzt, wird nicht im Rahmen dieses Projektes umgesetzt.

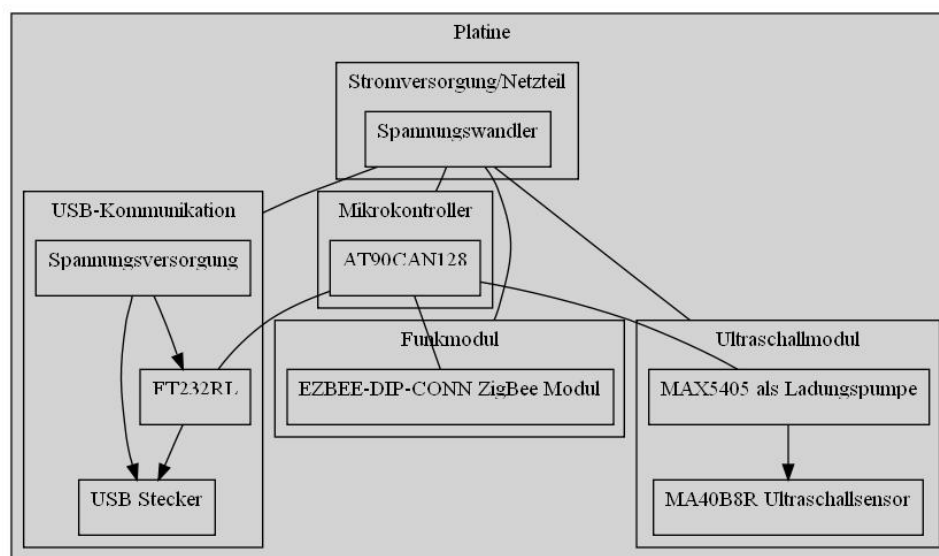


Abbildung 5.1: Skizze des Platinenaufbaus

5.2 IMAPS Module - Platinenaufbau

Für das Projekt werden mehrere IMAPS Module (siehe Kapitel 4.2.5) genutzt, die eine Bestimmung von Entfernungen ermöglichen. Im Speziellen handelt es sich um 3 IMAPS Sender und einen IMAPS Empfänger. Die Platinendesigns der Sendemodule und des Empfangsmoduls sind sich bis auf kleine Ausnahmen sehr ähnlich. Die Unterschiede bestehen in den Ultraschallsendern und Empfängern, sowie in der Schnittstelle zum Rechner, die das Empfangsmodul aufweisen muss. Daher soll an dieser Stelle der Platinenaufbau zusammenfassend betrachtet werden.

Als Controller wird ein Atmel AT90CAN128 (ATMEL, 2005) Mikrocontroller genutzt. Er verfügt über zwei 8 Bit Timer (Timer 0 und 2), zwei 16 Bit Timer (Timer 1 und 3) und bei einer Spannung von 4,7V über eine Taktung von 16Mhz. Die vorhandene Erfahrung im Umgang mit diesem Prozessor erwies sich bereits im Vorfeld des Projektes als vorteilhaft.

Der Ultraschallteil der Sender-Platine besteht im wesentlichen aus zwei Bausteinen, die zusammen mit mehreren Operationsverstärkern verschaltet sind. Bei den Bausteinen handelt es sich um den MAX5405 (Maxim, 2001) und den MA40B8S (muRata, 2001). Bei dem MAX5405 Baustein handelt es sich um einen digitalen Potenziometer auf den Sendemodulen, der in unserem Fall als eine Ladungspumpe für den Ultraschallsender MA40B8S genutzt wird (siehe Bild A.2 im Anhang). Er versorgt im Speziellen auch die Ultraschallsender auf der Senderplatine mit der benötigten Spannung. Auf der Empfangsplatine besteht dieser Bereich aus

dem MA40B8R Ultraschallsensor, der die gesendeten Impulse wahrnimmt (siehe Bild A.3 im Anhang).

Das ZibBee Modul EZBEE wird für die Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen genutzt. Es verfügt über eine sehr einfache Ansteuerung und Überträgt Daten mittels des 802.15.4 Protokolls, auf das in Kapitel 5.4.2 noch näher eingegangen wird.

5.3 Ergonomie des Systems

Ein wichtiger Punkt des Systems ist, dass der Benutzer es optimal einsetzen kann. Dies soll auf eine für ihn natürliche Art und Weise geschehen. Hierzu ist es wichtig herauszufinden, wie gewährleistet werden kann, dass die Benutzung intuitiv geschieht, also der Benutzer nicht über die Handhabung nachdenken muss. Für einen 3D-Eingabegerät heißt das, dass seine normalen Bewegungen optimalerweise direkt in den 3D-Raum überführt werden. Entsprechend haben wir uns darauf verlegt, die Bewegungen einer Hand zu erfassen und hieraus die Signale für den 3D-Raum zu erzeugen. Eine der Aufgaben der Ergonomie Analyse war es, den Arbeitsraum des Systems zu bestimmen. Hierbei handelt es sich um den Raum, in dem der Nutzer mit seiner Hand agiert. Er besitzt eine Größe, eine Orientierung und eine Lage. Durch diese Angaben beeinflusst er die spätere Ausrichtung und Position der einzelnen Module. In einer projektinternen Studie, in der Studenten des Fachbereiches Informatik befragt wurden, konnten wir folgende Erkenntnisse über den Arbeitsraum gewinnen:

Orientierung des Arbeitsraumes: Der Arbeitsraum liegt vor dem Nutzer.

Lage des Arbeitsraumes: Der Mittelpunkt des Bereiches lag etwa auf 2/3 der Torsohöhe.

Größe des Arbeitsraumes: Der Arbeitsraum erstreckt sich halbkugelförmig vor dem Nutzer, mit dem Nutzer als Mittelpunkt und einem Radius von etwa 50 cm.

Stellung der Hand: In den meisten Fällen war dabei die Hand in horizontaler Lage, bis hin zu einer 75° Stellung, wobei während der Neigung der Handrücken zum Nutzer zeigt.

Aus diesen Erkenntnissen resultiert die Lage der Sendemodule, welche vom Benutzer mitgeführt werden. Um eine optimale Nutzung der Sendewinkel der Module zu erlangen, ist vorgesehen, sie um den Mittelpunkt des Arbeitsraumes (siehe Bild 2.14 auf Seite 26) in einem Dreieck anzuordnen, wobei die Spitze des Dreiecks unterhalb dieses Mittelpunktes liegt. Das Empfangsmodul, welches zu orten ist, wird auf dem Handrücken befestigt. Die genaue Position wird nicht die Mitte des Handrückes sein, sondern sich in Richtung des Daumens orientieren.

Durch diese Positionierung der Module soll gewährleistet sein, dass mit minimalem Aufwand für den Nutzer immer eine Positionsbestimmung des Empfangsmoduls möglich ist.

Obwohl der „Arbeitsbereich“, der Aktionsbereich des Nutzers, in dem das System voll funktionsfähig ist, bisher als eine Halbkugel mit 50 cm Radius beschrieben wurde, die sich vor dem Nutzer erstreckt, ist in diesem Bereich mit einer weiteren Einschränkung zu rechnen. Diese

ergibt sich aus den IMAPS Modulen und ihrem Sendekegel von 60° . Der Arbeitsraum beträgt somit nur ein Teil der Halbkugel (ein etwa 60° großer Kugelausschnitt ausgehend von den am Torso befestigten Sendemodulen).

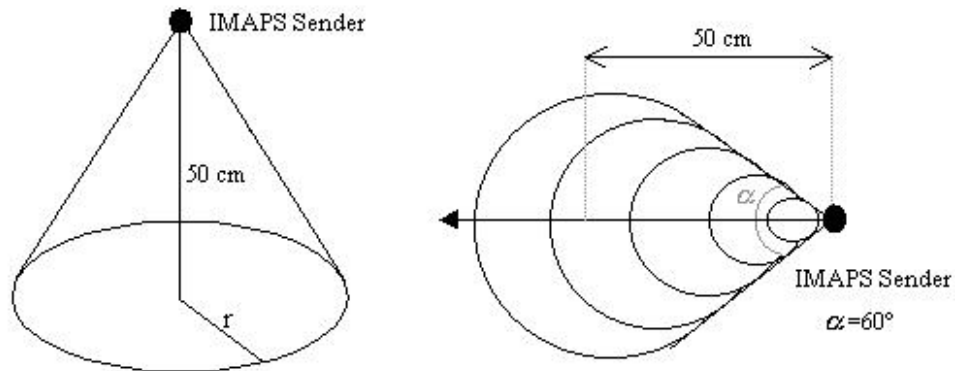


Abbildung 5.2: Arbeitsraum

Der Nutzer des Eingabegerätes muss daher darauf achten, dass das Empfangsmodul innerhalb des nutzbaren 60° Winkel zu den Sendemodulen orientiert ist. Wäre diese Rahmenbedingung nicht erfüllt, würden keine Signale der Module empfangen werden, und es wäre damit keine Position des Empfangsmodules errechenbar.

5.4 Software

Als Programmiersprache für die Software wurde C++ ausgewählt, obwohl bisherige IMAPS Anwendungen auf Java basierten. Die Sprache C++ bietet sehr gute Möglichkeiten für echtzeitfähige Systeme und ist wie Java ebenfalls objektorientiert strukturiert. Hinzu kommt die Tatsache, dass die Bibliotheken der Windows API (siehe Kapitel 5.4.5) in C geschrieben und daher C++ kompatibel sind. Somit können sie ohne großen Aufwand in das Projekt eingebunden werden.

C++ Programme arbeiten aufgrund ihrer geringeren Anforderungen an Rechnerressourcen auf Plattformen mit begrenzter Rechenleistung schneller als die derzeitigen Java Programme. Daher wird C++ oftmals bei hardwarenahen industriellen Projekten bevorzugt. Die entscheidenden Punkte für die Wahl waren:

Echtzeitfähigkeit: Die Gewährleistung, dass bestimmte Rechenprozesse innerhalb eines festgesetzten zeitlichen Rahmens bearbeitet werden können.

Verfügbarkeit der notwendigen Bibliotheken: Es sind Bibliotheken für komplexe Rechenaktionen, das Einbinden der Hardware, aber auch Bibliotheken für die Ansteuerung des Windows Betriebssystems vorhanden.

Objektorientierter Ansatz: Gewährleistet, dass ein späteres System mit geringen Aufwand anhand der bestehenden Strukturen erweitert werden kann.

Im Folgenden wird auf die Architektur der Software und auf spezielle Teilbereiche im Einzelnen eingegangen.

5.4.1 Software Architektur

Die Softwarestruktur besteht aus zwei wesentlichen Teilen, der Software innerhalb der IMAPS Module und der Software des Rechners, in der die erhaltenen Informationen in ein Anzeigesignal umgewandelt werden.

Die Software der IMAPS Module sei an dieser Stelle nur kurz in ihrer Funktion erläutert, da sie als eine bereits bestehende Grundlage ins Projekt eingebunden wurde. Routinen überprüfen, ob ihnen ein „Senden“ gemeldet wurde. Ist das nicht der Fall, so senden sie selber eine Nachricht an alle IMAPS Module, um diese am Senden zu hindern. Das Senden besteht daraus, dass ein Funksignal und ein Ultraschallsignal zeitnah ausgesandt werden. Wie bereits in vorherigen Kapiteln beschrieben, wird die beim Empfänger gemessene Zeitdifferenz später für die Ortung genutzt. Nachdem dieser Vorgang abgeschlossen ist, wird das „Senden“ für die restlichen Module wieder ermöglicht. Für eine genaue Beschreibung der IMAPS-seitigen Software Architektur wird auf (Gregor (2006)) verwiesen.

Das Empfangsmodul liefert die erhaltenen Daten über eine EIA232 Schnittstelle an einen Rechner weiter. Im Folgenden sollen die Architektur und die Prozesse innerhalb der Software, welche die Schnittstellendaten verarbeiteten, erläutert werden.

Das Programm auf der Rechnerseite besteht aus 3 Prozessen.

Sensoreingang - Prozess: Dieser Prozess erstellt ein Objekt „DataControl“, welches die Kommunikation mit dem IMAPS Empfangsmodul steuert. Das Objekt bedient sich hierbei der Methoden eines CSerialPort Objektes, welches direkt auf einen COM Port zugreift (Port öffnen, Daten empfangen, Port schließen). Der so erhaltene Datenstrom wird untersucht und in Nachrichten unterteilt, mit denen anhand ihres bekannten Protokolls ein Datenobjekt gefüllt wird. Ein solches Datenobjekt enthält jeweils immer die Daten eines empfangenen Senders. Auf die enthaltenen Daten wird im folgenden Kapitel 5.4.2 eingegangen. Dieses Datenobjekt wird anschließend während der Prozess abläuft an ein globales Datenobjekt weitergeleitet. Das globale Datenobjekt „Empfangene Daten“ enthält für jeden Sender einen Stack der nach dem FIFO⁴² Konzept funktioniert.

Positionsberechnungs - Prozess: Dieser Prozess greift ebenfalls auf die globale Datenstruktur „Empfangene Daten“ zu und liest die Werte aus. Je nach eingesetztem Filter (siehe Kapitel 5.4.8 erhält der Prozess die Positionen der 3 Sender und die Entfernungen zu ihnen. Diese Werte werden genutzt um ein Matrixobjekt zu erstellen, durch das wir die Positionsdaten erhalten. Der genaue mathematische Vorgang zur Berechnung der Position wurde bereits im Kapitel 3.2 beschrieben. Anschließend wird diese errechnete Position an ein globales Objekt „Positionsdaten“ übergeben.

Anzeige - Prozess: Der Anzeige-Prozess greift auf die API (Application Programmers Interface⁴³) des Betriebssystems zu. Innerhalb eines Objektes „USMouse“ wird ein Objekt „INPUT“ erzeugt. Dieses „INPUT“ Objekt erhält die benötigten Variablen, die es als ein Signal zur Maussteuerung kennzeichnen. Nachdem dieses „INPUT“ Objekt mit den Positionsdaten aus dem globalen Objekt versehen wurde, wird dieses an das Betriebssystem abgeschickt.

Um unnötigen Rechenaufwand zu minimieren, wurden Funktionen wie z.B. die „Empfangenen Daten“ mit einem „Flag“ versehen, welches anzeigt, ob seit dem letzten Zugriff des „Positionsberechnungs - Prozess“ neue Daten des „Sensoreingangs - Prozess“ eingetroffen sind. Sollte dies nicht der Fall sein, so muss die gleiche Rechenoperation nicht erneut durchgeführt werden.

Um Probleme durch zeitgleichen Zugriff zweier Prozesse auf Datenobjekte zu verhindern, wurden zu diesem Zweck Semaphoren eingesetzt. Genauere Informationen hierzu finden sie in Kapitel 5.4.4.

Das Bild 5.3 soll an dieser Stelle den groben Ablauf des Programmes veranschaulichen. Es sind bereits die in Kapitel 5.4.4 näher erläuterten Semaphoren in das Bild eingebunden.

⁴²FIFO - First In, First Out. Die zuerst erhaltenen Daten werden auch als erstes wieder vom Stack entfernt

⁴³Die Schnittstelle die dem Programmierer ermöglicht auf Funktionen des Betriebssystems zuzugreifen

5.4.2 Übertragungs - Protokolle

Das Projekt verfügt über 2 wesentliche Arten von Übertragungsprotokollen: Den IEEE 802.15.4 Standard (IEEE (2003)) und die Protokolle der IMAPS Module. Das 802.15.4 Protokoll dient für die Kommunikation zwischen Funkmodulen (LR-WPAN⁴⁴ Modulen). Auf dieses Projekt bezogen wird es die Kommunikation zwischen den ZigBee Modulen untereinander regeln. Die IMAPS Protokolle, die als eine Schicht auf den anderen Protokollen aufgesetzt sind, regeln sowohl den Datentransfer zwischen den Sendern und dem Empfänger, als auch zwischen dem Empfänger und dem Rechner.

Das IEEE 802.15.4 Protokoll hat sich in der Vergangenheit als sehr zuverlässig und leistungsstark erwiesen. Neben diesen Eigenschaften bietet es vor allem:

- **Garantierte Sendezeiträume**
- **Kollisionsvermeidung durch den „CSMA with collision avoidance“-Algorithmus**
- **Geringen Leistungsverbrauch**

Das Bild 5.4 soll veranschaulichen, an welcher Stelle der Systemarchitektur der IEEE Standard zum Tragen kommt.

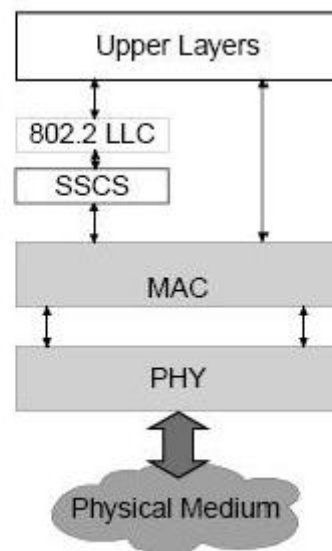


Abbildung 5.4: LR-WPAN Geräte Architektur

⁴⁴low-rate wireless personal area networks

Auf die Hardware wird die physikalische Schicht (PHY) aufgesetzt. Diese Schicht dient dazu, den RF⁴⁵ Transceiver zu steuern. Seine Funktionalitäten belaufen sich neben dem An- und Ausschalten des Transceivers, z.B. auf die Kanalwahl.

Die MAC⁴⁶ Schicht stellt den Zugang zu den physikalischen Kanälen für alle Arten von Transferen her. Neben dem MAC Management Service und dem MAC Data Service bietet die MAC Schicht Möglichkeiten für Sicherheitsmaßnahmen.

Die „Upper Layers“ besteht aus einer Netzwerkschicht (Konfiguration und Manipulation), Message Routing und einer Applikationsschicht. In unserem Fall handelt es sich um das IMAPS Protokoll.

Für die Kommunikation zwischen dem Empfangsmodul und dem Rechner wird eine EIA232⁴⁷ Verbindung genutzt. Sie ist ebenfalls zwischen der MAC Ebene und den „Upper Layers“ eingeordnet. Auf diese soll hier nicht mehr im Speziellen eingegangen werden, da es sich um eine altbekannte Technologie handelt. Für nähere Informationen sei an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Auf diese Kommunikationsschicht wird ebenfalls ein IMAPS Protokoll als „Upper Layer“ aufgesetzt.



Abbildung 5.5: IMAPS Protokoll zwischen Empfangsmodul und Rechner

Auf das IMAPS Protokoll wird hier nur kurz eingegangen, da es sich seit der Zeit, in der es von Sebastian Gregor (siehe Gregor (2006)) beschrieben wurde, ein wenig verändert hat. Das Startzeichen des Protokolls ist ein Byte das auf „0xFF“ gesetzt ist. Anschließend folgen mit jeweils einem Byte die Identifikationsnummer des Sendemoduls, das empfangen wurde, und die Länge der Beschreibung. Die Beschreibung ist ein Überbleibsel des vorangegangenen Projekts der IMAPS Module. Laut Spezifikation kann sie eine Länge von 0 bis 16 Byte haben. In unserem Fall mit einer begrenzten Anzahl an Sendemodulen liegt sie entweder bei 5 oder bei 7 Byte. Nach der Beschreibung folgen die Koordinaten des Sendemodules: Die X-, Y- und Z-Positionen. Je Position werden hierbei 2 Byte genutzt.

Anschließend folgen 2 Bytes, welche die gemessene Zeitdifferenz zwischen dem Funksignal und dem Eingang des Ultraschallsignales enthalten. Die letzten 3 Bytes bilden das Ende der Nachricht. Sie sind auf die ASCII Werte „E“, „N“ und „D“ gesetzt (END).

⁴⁵radio frequency

⁴⁶Media Access Control

⁴⁷vorher bekannt als RS232. EIA - Electronic Industries Alliance

5.4.3 Bibliotheken

Für die mathematischen Ansätze wurde die LTI-Lib genutzt. Die LTI-lib ist eine objektorientierte C++ Bibliothek, die ursprünglich für die Bildbearbeitung vom „Lehrstuhl für Technische Informatik“ der Universität Aachen entwickelt wurde. Sie stellt eine Vielzahl mathematischer Methoden zur Verfügung. Sie wurde dort für die Bereiche der Robotik, Objekterkennung, Erkennung im Bereich der Zeichensprache und Gestenerkennung eingesetzt. Für dieses Projekt sind vor allem die zur Verfügung gestellten Klassen der linearen Algebra von Belang.

Durch die in der Klasse verfügbaren Methoden ist die Matrizen- und Vektorrechnung leicht zu implementieren. Für nähere Informationen und eine Dokumentation der Bibliothek sei an dieser Stelle auf die Quelle Aachen (2005) verwiesen.

5.4.4 Fehleranfällige Bereiche und deren Absicherung

Innerhalb des Systems gibt es fehleranfällige Bereiche, in denen Probleme auftauchen können, die das System in einen fehlerhaften oder sogar nicht definierten Zustand überführen. Insbesondere in Bezug auf das Anwendungsszenario muss das System und damit auch die Software so umgesetzt werden, dass es möglichst nicht zu Ausfällen kommt. In einer Gefahrensituation ist es der Rettungskraft nicht zuzumuten, im schlimmsten Fall einen Systemneustart durchzuführen.

Die kritischen Bereiche, durch die Fehler auftreten können, sind sowohl auf der Seite der Rechereinheit und deren Software zu finden als auch auf Seite der IMAPS Module.

IMAPS Seite:

Gleichzeitiges Senden eines Ultraschallimpulses: Das Empfangsmodul kann ein empfangenes Ultraschallsignal nicht einem Sender zuordnen. Daher kann es zu Problemen kommen, wenn zwei Sendemodule gleichzeitig einen Ultraschallimpuls aussenden. Um diesem Problem vorzubeugen, kommunizieren die Sender untereinander, welcher von ihnen sendet. Unter der Voraussetzung einer einwandfreien Kommunikation zwischen den Sendern kann dieses Problem verhindert werden.

Messfehler auf Grund von Reflexionen des Ultraschallimpulses: Ultraschallsignale können von Oberflächen der Umgebung reflektiert werden, mit der Folge, dass das IMAPS Empfangsmodul die Reflexion eines Ultraschallimpulses einem nachfolgenden Sender zuordnet. Fehlerhafte Meßwerte sind die Folge. Dieses Problem wird auf der Seite des Rechners behandelt.

Kommunikationsabbruch zu den Sendern: Es können keine neuen Entfernungen mehr ermittelt werden. Ein Kommunikationsabbruch zu den Sendern ist mit einem kompletten Systemausfall gleichzusetzen. Hierzu gibt es später innerhalb dieses Kapitels noch eine Erläuterung.

Rechner Seite:

Kommunikationsabbruch zum Empfangsmodul: Der Kommunikationsabbruch zum Empfangsmodul kann mehrere Ursachen haben. Diese können sowohl auf der IMAPS als auch auf der Rechnerseite liegen. Beispiele hierfür können mangelnde Energieversorgung, COM Port Fehler (z.B. durch veränderte COM-Port Nummer) oder eine Störung im Verbindungskabel sein. Die Software auf der Rechnerseite kann dadurch in einem nicht definierten Zustand enden. Um dieses Problem zu verhindern kann das Abgleiten in einen nicht definierten Zustand innerhalb der Software abgefangen werden. Die Verbindungsaufnahme wird als nicht erfolgreich gewertet. Der Prozess versucht es im nächsten Zyklus erneut.

Gleichzeitiger Zugriff mehrerer Prozesse auf Daten: In der Software Architektur gibt es zwei globale Datenstrukturen, auf die mehrere Prozesse zugreifen müssen. Ein zeitgleicher Zugriff könnte in Datenwerten resultieren, die das System ebenfalls in einen nicht definierten Zustand überführen. Zur Lösung dieses Problemes bieten sich Semaphoren an, die einen gleichzeitigen Zugriff von mehr als einem Prozess verhindern. Jeder der beiden Datenstrukturen ist ein Semaphore zugeordnet. Will ein Prozess auf eine dieser Datenstrukturen lesend oder schreibend zugreifen, so prüft er zuerst die Verfügbarkeit des Semaphore. Ist diese blockiert, so wartet der Prozess, bis diese wieder freigegeben wird. Der genaue Ablauf kann auf dem Sequenzdiagramm (Bild 5.3) eingesehen werden.

Unrealistische Werte auf Grund von Messfehlern: Messfehler bei den ermittelten Entfernungen zwischen Sender und Empfänger können leicht zu Programmfehlern innerhalb der Positionsberechnung führen. Es handelt sich hierbei ggf. um negative oder sehr hohe Werte. Um solche Extremwerte auszuschließen, werden Filter genutzt. Die genaue Funktionsweise der verschiedenen Filter wird in Kapitel 5.4.8 erläutert.

Teilweiser Systemausfall: Es ist durch die Rahmenbedingungen des Einsatzszenarios möglich, dass Geräte ausfallen oder auf Grund der äußeren Bedingungen so stark beeinflusst werden, dass sie nicht mehr nutzbringend eingesetzt werden können. Für solche Situationen muss ein späteres Komplettsystem ein Ausfallprotokoll besitzen, welches die Vorgehensweise des Rechners definiert, sollte das Anzeigegerät ausfallen. Als eine letzte Handlung vor dem Beenden des Anzeigeprogramms wird daher ein Signal an das Betriebssystem gesendet, welches das System in einen Notfallmodus überführt. Innerhalb dieses Modus wird davon ausgegangen, dass eine Eingabe durch den Benutzer nicht mehr möglich ist. Im Fall eines Feuerwehmanns würde das Anzeigesystem andere Funktionalitäten reduzieren und nur noch eine Umgebungskarte mit der Position des Feuerwehmanns anzeigen. Auf diese Weise soll der Rettungskraft ermöglicht werden, sich sicher aus der Gefahrensituation zu entfernen.

5.4.5 Das Windows API

Die erste Anwendung des Projekts wurde für ein Windows Betriebssystem geschrieben, daher soll im Folgenden auf die Windows API eingegangen werden, die hierfür genutzt wurde. Sie

ist eine Programmierschnittstelle, die es dem Programmierer ermöglicht, auf Funktionalitäten des Windows Betriebssystems zuzugreifen.

Die einzelnen Funktionen der Windows API sind in der Programmiersprache C geschrieben worden, was einer für die Verwendung der Sprache C++ war. Als Nachfolgesprache zu C kann sie meist problemlos auf den C-Programmcode zugreifen.

Die Windows API wird innerhalb dieses Projekts dazu genutzt, den Mauszeiger aus der Software heraus zu steuern. So werden vorerst nur zwei Dimensionen angesprochen, das heißt es werden nur 2 der 3 möglichen Werte des Steuersignales genutzt. Dennoch ist es eine sehr einfache Veranschaulichung des Systems und bereits ein teilweiser Funktionsnachweis. Genauere Informationen über die Darstellung finden sie in Kapitel 5.1.

```
INPUT ipSignal;
ipSignal.type           = INPUT_MOUSE;
ipSignal.mi.dx          = posX;
ipSignal.mi.dy          = posY;
ipSignal.mi.mouseData   = 0L;
ipSignal.mi.dwFlags     = MOUSEEVENTF_ABSOLUTE | MOUSEEVENTF_MOVE;
ipSignal.mi.time        = 0L;
ipSignal.mi.dwExtraInfo = 0L;
SendInput(1, &ipSignal, sizeof(ipSignal));
```

Abbildung 5.6: Aufbau eines INPUT SIGNALS der Windows API

Von den zur Verfügung stehenden Funktionalitäten ist für dieses Projekt vorerst nur das „Windows User Interface“ interessant. Es enthält unter anderem die benötigten Funktionen um das Mauszeigersignal zu steuern. Hierfür steht eine Funktion zur Verfügung, die ein Eingangssignal (Input Signal, siehe Bild 5.6) an das Betriebssystem sendet. In unserem Fall handelt es sich um ein synthetisches Maussignal. Das Eingangssignal enthält die Typbezeichnung „Mouse Event“ (INPUT_MOUSE), was von Wichtigkeit ist, da das Signal ansonsten nicht einwandfrei zuzuordnen wäre. Die Sendefunktion „SendInput()“ steht neben „Mouse Events“ auch für andere Eingabemedien, wie z.B. der Tastatur zur Verfügung („INPUT_KEYBOARD“).

Neben den Positionsdaten besitzt das Eingangssignal noch weitere Informationen, die unter anderem die Art des Signals bestimmen. Innerhalb des Projekts wird so festgelegt, dass es sich um eine Bewegung der Maus zu einer absoluten Position handelt.

Dies ist auch im Fall des genutzten Programmes so, in dem der Mauszeiger anhand der errechneten Positionsdaten immer auf eine absolute Position auf dem Bildschirm gesetzt wird. Die natürliche Folge einer solchen Eingabe ist ein leichtes Ruckeln der Zeigerposition, welches allerdings durch hinzugeschaltete Filter (siehe Kapitel 5.4.8) reduziert wird.

Die so übermittelten X- und Y-Werte des Input Signals müssen jeweils zwischen 0 und 65535 liegen. Diese Werte sind unabhängig von der jeweiligen Auflösung, da es sich hierbei um Po-

sitionsdaten handelt, die der Bildschirmauflösung entsprechend angepasst werden. Bei dem Wert (0,0) handelt es sich hierbei um die obere linke Ecke, bei (65535,65535) entsprechend um die untere rechte Ecke.

Weitere Informationen über die entsprechenden Bibliotheken der Windows API sind innerhalb (MSDN, 2008) zu finden.

5.4.6 Vorführungsanwendung

In der aktuellen Version des Programmes handelt es sich um einen aktiven Treiber, ein Programm, das jeweils vor der Nutzung gestartet werden muss. Die erste Idee einer einfachen Plug and Play Software mit im Hintergrund laufenden Treibern konnte aus zeitlichen Gründen bisher noch nicht im Rahmen des Projekts umgesetzt werden.

Für die Umsetzung der Funktionalitäten in einem Plug and Play Treiber müssen einige Probleme angegangen werden. Als ein Beispiel hierfür wäre die veränderliche COM Port Nummer innerhalb des Windows Betriebssystems zu nennen. Derzeit ist es nicht ungewöhnlich, dass Windows dem simulierten COM Port, welcher die Ansteuerung der einer seriellen Schnittstelle anhand eines USB auf Seriell Adapter ermöglicht, nach einem Neustart eine neue Nummer zuweist.

5.4.7 Anpassung an andere Betriebssysteme

In der bisherigen Version des Programms ist nur eine Nutzung unter dem Betriebssystem Windows implementiert. Um das System an ein anderes Betriebssystem, z.B. Linux oder MAC OS, anzupassen, müssen nur innerhalb des Hauptprogrammes auf der Rechnerseite Veränderungen vorgenommen werden. Auf Grund der modularen Bauweise der Software sind diese Änderungen nur an zwei Stellen des Programmes notwendig (siehe Bild 5.7). Es handelt sich hierbei um die Klassen „DataControl“ und „USMouse“.

Die „DataControl“ Klasse ist für die Kommunikation mit der seriellen Schnittstelle zuständig. In diesem speziellen Fall ist die serielle Schnittstelle nicht real vorhanden, sondern wird softwaremäßig unter Nutzung eines USB auf Seriell Adapter emuliert. Wie bereits in der Software-Architektur (Kapitel 5.4.1) beschrieben wurde, wird innerhalb eines DataControl Objektes ein COM Port Objekt geschaffen, das den Zugriff auf die Schnittstelle ermöglicht. An dieser Stelle muss die Klasse, die das COM Port Objekt definiert, gegen eine Klasse ausgetauscht werden, die für das neue Betriebssystem die Ansteuerung der EIA232 Schnittstelle definiert. Anschließend muss die DataControl Klasse an die neue, betriebssystemspezifische Klasse angepasst werden. Das so entstehende Port Objekt kann der Spezifikation entsprechend auf die serielle Schnittstelle unter z.B. Linux oder MAC OS zugreifen.

Die „USMouse“ Klasse definiert die Ansteuerung der API des Betriebssystems. Für eine vollständige Anpassung an ein neues Betriebssystem muss hier, wie auch bei der „DataCon-

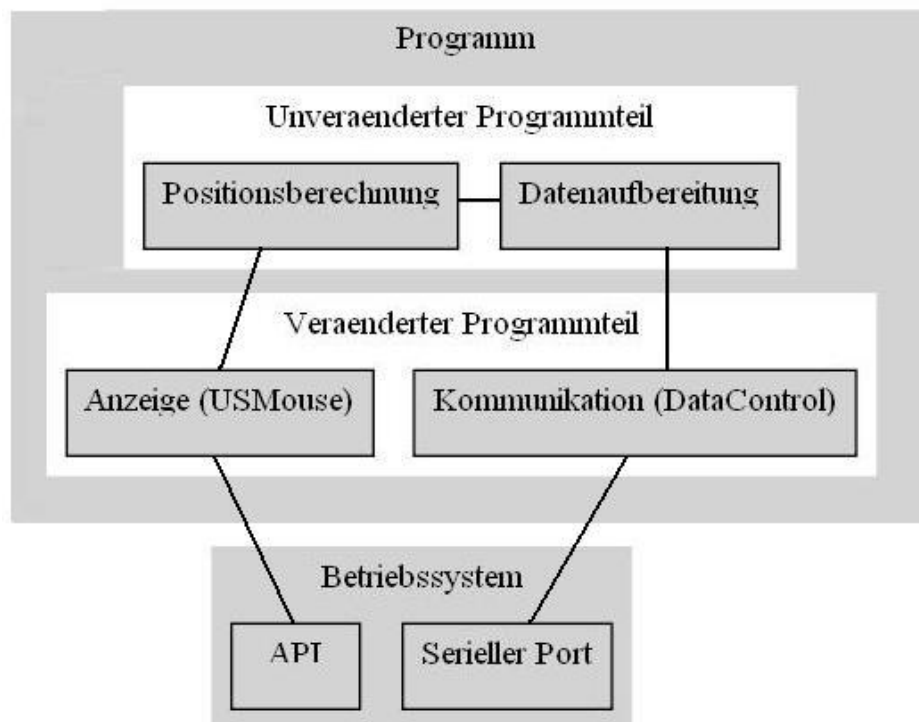


Abbildung 5.7: Veranschaulichung der Veränderungen für die Anpassung an ein anderes Betriebssystem

trof“ Klasse, eine Bibliothek eingebunden werden, welche den Zugriff auf die API des Betriebssystems definiert. Anstelle des aktuellen „INPUT“ Objektes der Windows API muss hier ein entsprechendes Objekt für die Linux API oder die MAC OS API erstellt werden, welches dann mit den Steuerbefehlen des Zeigersignales an das Betriebssystem geschickt wird.

5.4.8 Messungengenauigkeiten und Filter

Innerhalb des Projekts konnte festgestellt werden, dass die errechneten Positionen bei einer direkten Verwertung aller Daten zu sprunghaften Veränderungen neigen. Die Ursachen hierfür waren vor allem in Messungengenauigkeiten zu finden, die vielfältigen Ursprungs sein können:

Ungünstiger Winkel zwischen Sendern und Empfängern Dies resultiert darin, dass nur einige oder sogar keine der Sendemodule empfangen werden. Einige Werte ändern sich dadurch nicht zeitnah.

Spiegelungen des Ultraschallsignales Dies wird ebenfalls durch einen ungünstigen Winkel zwischen den Modulen hervorgerufen. Der direkte Ultraschallimpuls erreicht den Empfänger nicht, aber seine Spiegelung an einem Objekt erreicht ihn. Eine größere zeitliche Verzögerung ist die Folge.

Ungünstige Sendereihenfolge Jeder Sender überprüft, ob gerade ein anderer Sender einen Impuls aussendet, bevor er dieses tut. Dies kann dazu führen, dass ein Sendemodul mehrfach nacheinander sendet, während andere weiter warten.

Zu schnelle Bewegungen Das System ist auf die empfangenen Signale zur Positionsbestimmung angewiesen. Die Wiederholung der „Messungen“ findet in einem bestimmten Intervall statt, welches sich auch bei schnellen Bewegungen nicht ändert. Die Folge ist, dass nur wenige Punkte auf einer zurückgelegten Strecke bekannt sind.

An dieser Stelle können verschiedene Filter genutzt werden, um diesem sprunghaften Verhalten vorzubeugen.

Range Filter Durch Studien der Ergonomie ist ein nutzbarer Arbeitsraum bekannt und damit auch ein Ergebnisraum der wahrscheinlich gemessenen Entfernungen. Gemessene Werte können entsprechend überprüft werden, ob sie innerhalb des Ergebnisraumes liegen. Wenn diese Werte prozentual weit außerhalb des Ergebnisraumes liegen, handelt es sich bei ihnen mit hoher Wahrscheinlichkeit um Messfehler, die aufgrund von Reflexionen oder einem Kommunikationsfehler zwischen Empfänger und den Sendern entstanden sind.

Mittelwert Filter Dieser Filter bildet einen mathematischen Mittelwert (das arithmetische Mittel) über eine Anzahl von jeweils X-, Y- und Z-Elementen. Zum Bilden des Mittelwertes werden alle einzelnen Werte der X-, Y- und Z-Elemente addiert und anschließend durch

die Anzahl der Werte geteilt⁴⁸. Auf diese Weise werden die Bewegungen „geglättet“ und erscheinen bei schnell eingehenden Ergebnissen fließender als zuvor. Sprunghafte Veränderungen werden gemindert wie in Bild 5.8 zu erkennen ist. In der Grafik entspricht der Wert 500 dabei etwa 15cm.

Median Filter Der Median Filter (siehe Bild 5.9) dient vor allem dazu, Werte, die „aus der Reihe fallen“, auszublenden. Zum Bilden des Medians wird eine Zahlenreihe betrachtet, die zuvor nach ihrer Wertigkeit sortiert wurde. Bei einer Anzahl von n Elementen ist der Median bei einer ungeraden Zahl das Element mit der Nummer $\frac{n+1}{2}$. Bei einer geraden Anzahl von Elementen handelt es sich um den Mittelwert⁴⁹ der beiden Werte mit den Nummern $\frac{n}{2}$ und $\frac{n}{2} + 1$. Werte, die im Vergleich zu den anderen Werten sehr hoch oder sehr niedrig sind, werden somit für weitere Berechnungen nicht berücksichtigt. Die Folge ist eine konstantere Bewegung.

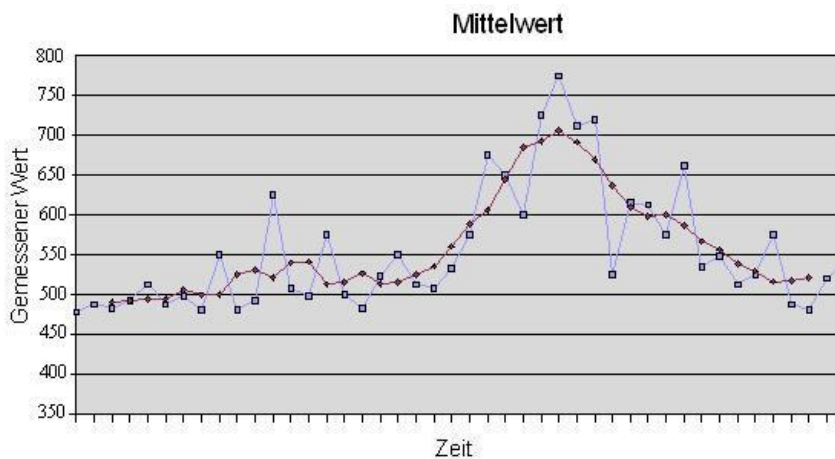


Abbildung 5.8: Der Mittelwert über 5 Messergebnisse bei einer leichten Positionsänderung und den damit verbundenen Schwankungen in den Messwerten.

Der „Range Filter“ wird bereits im Prozess „Sensoreingang“ angewendet. Während der Auswertung des empfangenen Datenstroms und dem damit verbundenen Zusammenstellen der Nachricht bietet sich bereits die Möglichkeit, die erhaltene Entfernung mit dem zu erwartenden Wert zu vergleichen. Entsprechend der Definition des Filters werden Werte, die nicht in den zu erwartenden Ergebnisraum fallen, direkt nach dem Auswerten verworfen. Auf

⁴⁸Beispiel hierfür: Die Summe der Zahlenreihe (1, 1, 2, 3, 4, 37) beträgt 48 bei 6 Elementen. Das arithmetische Mittel liegt folglich bei $\frac{48}{6} = 8$

⁴⁹Ein Beispiel hierfür ist die wieder die Zahlenreihe (1, 1, 2, 3, 4, 37). Der Median liegt bei $\frac{2+3}{2} = 2,5$

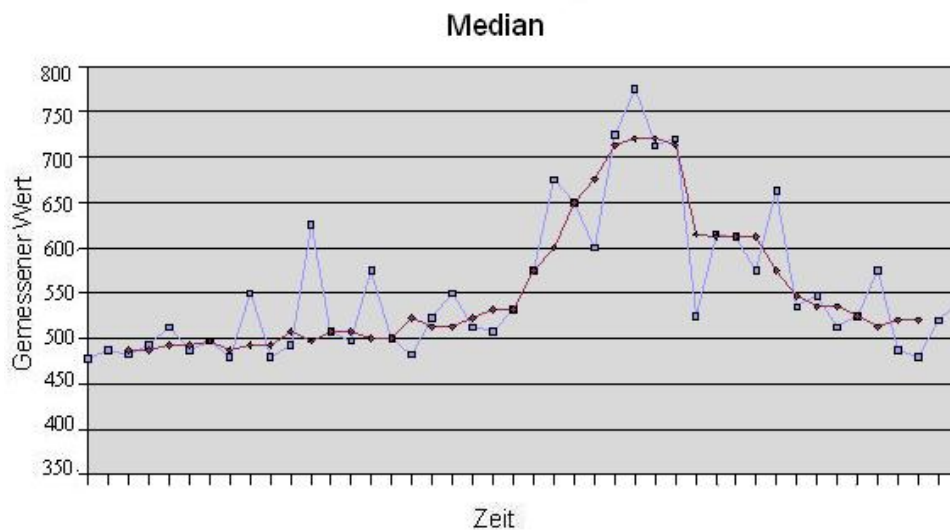


Abbildung 5.9: Der Median über 5 Messergebnisse bei einer leichten Positionsänderung und den damit verbundenen Schwankungen in den Messwerten.

diese Weise verbraucht der mit einem Messfehler behaftete Wert nicht unnötig Rechenleistung.

Der Mittelwert Filter wird im Positionsberechnungs Prozess eingesetzt. Der Mittelwert wird hierbei über die Werte der X-,Y- und Z- Achsen der globalen Datenstruktur „Empfangene Daten“ gebildet, in die nach dem Stack Prinzip FIFO⁵⁰ neue Werte geschrieben werden. Dieser Filter bietet sich daher vor allem bei einer sehr hohen Datenrate und dem verbundenem hohen Zulauf von neuen Messergebnissen an.

Der Median Filter kommt genau wie der Mittelwert Filter im Positionsberechnungs Prozess zum tragen. Er liest aus der Datenstruktur „Empfangene Daten“ die Werte der einzelnen Achsen aus und sortiert diese nach ihrer Wertigkeit. Anschließend wird nur das „Medianelement“ für die Positionsberechnung herangezogen.

In den meisten Versuchen wurde jedoch nur entweder der Mittelwert Filter oder der Median Filter eingesetzt, da eine Eingangsrate, die die Kombination der beiden Filter interessant machen würde, derzeit noch nicht gegeben ist.

⁵⁰First In - First Out

Kapitel 6

Ergebnisse der Prototypenentwicklung

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projekts in Bezug auf ausgewählte Bereiche näher beleuchtet.

6.1 Genauigkeit

Bereits im Vorfeld des Projekts waren mehrere Studien (siehe Welzel (2007)) vorangegangener Arbeiten über die Genauigkeiten des IMAPS Systems zur Positionsbestimmung bekannt. Der verwendete Aufbau besteht aus 3 IMAPS Sendern und einem Empfänger, der sich in etwa 50 cm Entfernung zu den Sendern befindet. In diesem Bereich wird vorerst von einem optimalen Winkel zwischen den Sendemodulen und dem Empfangsmodul ausgegangen. Die Winkelabhängigkeit des Signals wird in Kapitel 6.3 erläutert.

In diesen Studien war die Entfernung zwischen den IMAPS Sendern und dem Empfänger oft um ein mehrfaches größer, als es bei uns der Fall ist. Das hat sowohl Vor- als auch Nachteile. Beim Aufbau des IMAPS Systems für das 3D-Eingabegerät liegen die IMAPS Sender in einem Gebiet mit dem Radius von 15 cm.

Die bisherigen Studien wurden durch eigene Tests der Systemgenauigkeit erweitert. Sie belegten ebenfalls eine Genauigkeit des IMAPS Systems von unter 10 Millimetern, wenn über einen bestimmten Zeitraum die Position ermittelt wurde, während sich der Empfänger nicht bewegte. Dennoch kommt es zu Schwankungen zwischen den einzelnen Messergebnissen. Die Bilder 6.1 und 6.2, welche eingehende Werte bei unveränderter Position (15cm und 27cm) aufzeigen, machen den Nutzen eines Filters für diese Werte deutlich. In den Bildern entspricht der Wert 500 etwa 15 cm (eine Einheit entspricht somit 0,3 mm).

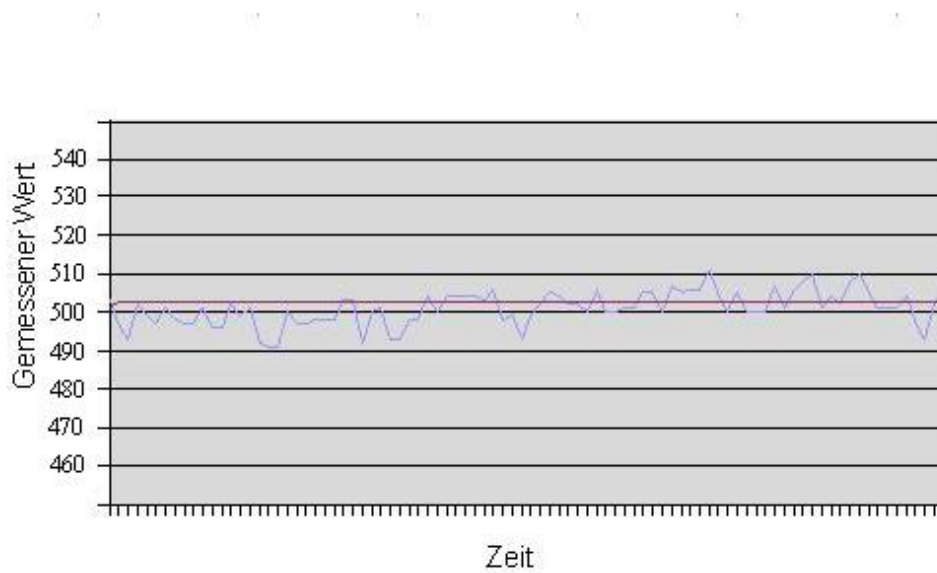


Abbildung 6.1: Genauigkeit der Messung bei gleichbleibender Position. 15 cm Abstand zwischen Sender und Empfänger.

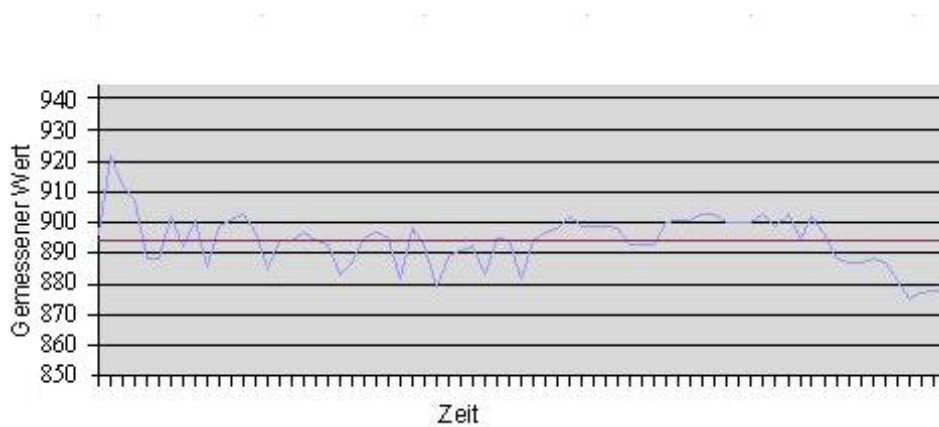


Abbildung 6.2: Genauigkeit der Messung bei gleichbleibender Position. 27 cm Abstand zwischen Sender und Empfänger.

6.2 Reaktionszeit des Systems

Während der Tests wurde sichtbar, dass die Reaktionszeit des Systems noch nicht in einem wünschenswerten Bereich liegt. Auf dem Bildschirm und anhand der Daten wurde sehr schnell ein „Hinterherwandern“ der berechneten Position deutlich. Das System benötigt einige Momente, um sich auf die neue Position einzustellen. Dies ist eine Folge der Signalarate der IMAPS Sendemodule, die durch die derzeitige Software der Module bei etwa 3 Hz liegt. Da für eine Positionsrechnung stets 3 Signale gebraucht werden, sorgt dies für ein Nachziehen des Signals, bis alle 3 notwendigen Werte mit den Daten der neuen Position aktualisiert wurden.

Im Rahmen des Projekts kam es zu keiner Änderung der Senderate der IMAPS Module, da diese Tests und die damit verbundenen Erkenntnisse in der Endphase des Projekts stattfanden.

Durch diese hohe Reaktionszeit ist das Anwendungsgefühl, und damit die Benutzerfreundlichkeit des Systems, stark beeinträchtigt.

6.3 Winkelabhängigkeit

Das Eingabegerät weist einen weiteren vorher absehbaren Nachteil auf, die Winkelabhängigkeit. Wie in Bild 4.4 auf Seite 41 zu sehen ist und im Zuge der IMAPS Module(4.2.5) bereits angesprochen wurde, strahlen die Ultraschallmodule ihr Schallsignal nur in einem gewissen Winkel aus. Das Empfangsmodul muss mit seinem Ultraschallempfänger innerhalb dieses Winkels den Sendern zugewandt angebracht sein. Um diese Stellung über einen möglichst großen Zeitraum inne zu haben, erwies sich eine Befestigung auf dem Handrücken als optimal (siehe Kapitel 5.3).

Der Winkel zwischen dem Sende- und dem Empfangsmodul kann jedoch nicht nur Einfluss darauf haben, ob ein Signal empfangen wird oder nicht, sondern es kann auch die „gemessene“ Entfernung beeinflussen. Dies ist in Bild 6.4 zu erkennen. Die Daten wurden, wie in Bild 6.3 veranschaulicht, bei einer festen Position und einer sich verändernden Orientierung des Empfangsmoduls aufgenommen. Das Empfangsmodul wurde im Laufe der Messungen in bestimmten Winkeln zum Sendemodul ausgerichtet. Es ergab sich, dass bei einer Abweichung von 15° vom optimalen Sendekegel der Module (ein 60° Kegel) die gemessenen Werte um bis zu 25 Prozent abweichen können.

In den Versuchen ergab sich jedoch auch, dass der nutzbare Winkel von etwa 60° , in dem das Empfangsmodul von allen Sendern ausreichend viele Signale für eine zuverlässige Positionsbestimmung erhält, für eine unkomplizierte Nutzung ausreichend ist.

Sollte dies für spezielle Anwendungen nicht ausreichen, ist eine Möglichkeit, die Winkelabhängigkeit zu reduzieren, also mehrere Ultraschallempfänger am gleichen Empfangsmodul anzubringen. Sie würden so angebracht werden, dass sie den Arbeitswinkel durch die gegenseitige Ergänzung vergrößern würden. Es muss dabei allerdings berücksichtigt werden, dass

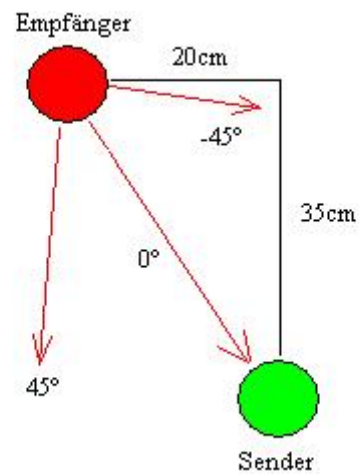


Abbildung 6.3: Das Empfangsmodul befindet sich in 35 cm Abstand zum Sendemodul. Der Empfänger ist 20 cm seitlich versetzt. Die roten Pfeile zeigen die Orientierung des Empfangsmodules an.



Abbildung 6.4: Einfluss der Orientierung des Empfangsmodules zum Sender. Der empfohlene 60° Winkel liegt zwischen -30° und 30° auf der X-Achse

es vorkommen kann, dass so ein Ultraschallsignal mehrfach wahrgenommen wird. Entsprechend sollte in diesem Fall nur das Signal, das zuerst empfangen wurde, von Bedeutung sein. Alternativ wäre es auch möglich, den Radius durch den Einsatz weiterer Sendemodule zu erweitern.

6.4 Nicht verwendete Bibliotheken

An dieser Stelle sollen auch Bibliotheken genannt werden, die nur zeitweise für das Projekt genutzt wurden. Aus unterschiedlichen Gründen erwies sich eine Nutzung als nicht vorteilhaft für den weiteren Verlauf des Projekts.

6.4.1 MTL Lib

Die MTL Lib⁵¹ der Indiana University ist eine High Performance Bibliothek, die viele Matrix Funktionen zu Verfügung stellt. Die MTL Bibliothek nutzt eine 5-fache Vorgehensweise, bestehend aus generischen Funktionen, Containern, Iteratoren, Adaptoren und Funktionsobjekten, entwickelt unter dem Aspekt einer leistungsstarken, numerischen linearen Algebra.

Obwohl sie alle notwendigen Funktionalitäten ausweist, ergaben sich einigen Probleme in Kombination mit dem benutzten Compiler, Visual Studio 2005. Diese Probleme wären lösbar gewesen, aber die Nutzung einer alternativen Bibliothek mit Matrix Funktionen erwies sich als der schnellere Weg zu einer Lösung.

6.4.2 NLMaP Lib

Die NLMAP⁵² Bibliothek der Universität Cambridge ist auf nicht lineare Modellierung und Positionierung ausgelegt. Diese Bibliothek war vor allem unter dem Gesichtspunkt interessant, dass sie bereits fertige Klassen und Methoden für die Multilateration lieferte. Auf den ersten Blick versprach dies eine einfache Umsetzung der mathematischen Problemstellung. Allerdings benötigen die Multilaterationsfunktionen mehr als drei Entfernungen mit den dazugehörigen Positionen der Sender um eine Lösung zu liefern. Selbst als die Hardware durch einen weiteren Sender angepasst wurde, was keinen großen Aufwand darstellte, blieben die Testergebnisse in einem Rahmen, der für eine fließende Steuerung des Systems nicht akzeptabel war. Diese Einschätzung entstand auf Grund der Tatsache, dass die Multilaterationsfunktion, anhand der durch den Empfänger gelieferten Werte, keine genaue Positionsbestimmung ermöglichte. In den meisten Fällen brach die Funktion mit einem vorläufigen Ergebnis ab. Dieses vorläufige Ergebnis zeigte in den meisten Fällen gute Tendenzen auf, für eine Steuerung war es jedoch nicht brauchbar.

⁵¹Matrix Template Library

⁵²Non-Linear Modelling and Positioning

6.4.3 Bucher Algorithmus

Der Bucher Algorithmus (siehe (BUCHER, 2001)) stellt keine vollständige Bibliothek zur Verfügung und musste daher eigenständig implementiert werden. Nach der Implementierung stellte sich anhand der Testergebnisse sehr schnell heraus, dass er für die Rahmenbedingungen des Projekts nicht geeignet war. Es wurde deutlich, dass der Bucher Algorithmus sehr gut bei großen Werten funktioniert, die zueinander nur einen kleinen prozentualen Unterschied aufweisen. Doch bei unserer Anwendung erhalten wir im Vergleich zu denen einer Positionsbestimmung durch Satelliten, dem Einsatzgebiet des Bucher Algorithmus, sehr kleine Werte, die aber zueinander einen hohen prozentualen Unterschied aufweisen. Dies führte bei den ersten Tests zu hohen Schwankungen innerhalb des Ergebnisses.

6.5 Mögliche Probleme unter extremen Bedingungen

Der Einsatz im Bereich der Rettungskräfte stellt eine große Herausforderung an die Technik dar. Die Umgebung ist alles andere als optimal für Ultraschallmodule.

Hitze Die Hitze, die am Einsatzort durch ein Feuer entstehen kann, beeinflusst nicht nur die Rettungskräfte selber, sondern auch die Ultraschallmodule. Durch die hohen Temperaturen wird die Schallgeschwindigkeit erhöht, was entsprechend zu einer Desensibilisierung der Eingabe führt.

Rauch Der Rauch kann zu Verhältnissen mit keinerlei optischer Sicht führen. Dies mag die Ultraschall Impulse zwar nicht beeinflussen, allerdings können durch die Vielzahl der Rußpartikel in der Luft Reflektionen des Ultraschallimpulses entstehen, die dann wiederum zu fehlerhaften Daten führen.

Wasser Der Einsatz von Wasser als Löschmittel führt zu Nässe und einer hohen Luftfeuchtigkeit. Entsprechend ist eine Voraussetzung für den Einsatz dieser Geräte, dass sie wasserdicht konzeptioniert werden. Das ist beim Prototypen noch nicht der Fall.

Widrige Umgebung Ein robustes Design ist notwendig, um Schäden bereits bei geringen Schlag-oder Stoßeinwirkungen auszuschließen.

Neben diesen möglichen Umgebungsbedingungen ergeben sich durch den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Geräte bei verschiedenen Rettungskräften Probleme. Wenn die Sendemodule der einen Rettungskraft ebenfalls mit den Sendern der anderen kommunizieren und ihre Sendeimpulse mit ihnen abstimmen, ist das Risiko von Messfehlern durch „systemfremde“ Ultraschallmodule geringer, doch würde eine solche Absprache in einer deutlich geringeren Datenrate der Messwerte resultieren, welche das Empfangsmodul an den jeweiligen Rechner liefert. Die Möglichkeit der Beeinflussung auf Grund von Reflexionen kann wegen der Position der Rettungskräfte zueinander ansteigen.

Sollte von einer systemübergreifende Abstimmung der Sendemodule der einzelnen Eingabegeräte abgesehen werden, so gäbe es kein Problem mit den Datenreihen. Allerdings steigt die Wahrscheinlichkeit von Messfehlern der einzelnen Systeme, wenn sie systemfremde Ultraschallimpulse fälschlich Sendern ihres Systems zuordnen. Der „Range Filter“ mag hierbei die Messergebnisse ausreichend absichern, entsprechende Testreihen müssen jedoch noch durchgeführt werden.

6.5.1 Auswirkungen dieser Probleme und deren Einstufung

Die Umweltbedingungen beeinflussen das Projekt unterschiedlich stark. Innerhalb des Projekts wird davon ausgegangen, dass das größte Problem für das Eingabegerät aus dem Rauch und der Hitze resultieren können. Während der Prototyp noch anfällig für alle diese Umweltbedingungen ist, wird davon ausgegangen, dass ein robustes und wasserfestes Design ohne weiteres umzusetzen ist.

Der Einfluss von Hitze auf die Schallgeschwindigkeit und die damit verbundenen Messergebnisse kann durch eine Kalibrierung ausgeglichen werden, die so ausgelegt ist, dass das Eingabegerät bei höheren Temperaturen zum Einsatz kommt. Die Folge ist, dass ein Nutzer seine Bewegungen der sich ändernden Empfindlichkeit des Systems anzupassen hat. Rettungskräfte werden in ihren Schutzanzügen hohen Temperaturen ausgesetzt. Dies gilt somit auch für die Bauteile, von denen zumindest die Ultraschallsender und Empfänger außerhalb des Schutzanzuges liegen müssen. Daher stellt die Hitze für die Bauteile und ihre Arbeitsbereiche eine sehr hohe Belastung dar.

Im Vergleich zu der Hitze mag der Rauch ein geringer Faktor sein, denn zeitnahe Reflexionen des Ultraschallimpulses werden voraussichtlich vom System außer acht gelassen, wenn wenigstens ein Teil des Signals durchgekommen ist. Noch gibt es jedoch keine Studien darüber, wie sich Ultraschallwellen in einem Raum voller Rußpartikel ausbreiten.

An dieser Stelle sind Testreihen entsprechender Bauteile unter hohen Temperaturen und Raucheinfluss notwendig, um genaue und verlässliche Aussagen über das Verhalten der Bauteile treffen zu können. Anhand der Testergebnisse können anschließend Entscheidungen über die weitere Vorgehensweise in Bezug auf die Nutzung des 3D-Eingabegerätes für Rettungskräfte innerhalb dieses Szenarios getroffen werden.

6.6 Ergebnisbewertung

Die Erwartungen an das 3D-Eingabegerät wurden nur zum Teil erfüllt. Es wurden dennoch viele interessante Ansätze und Punkte aufgetan, welche die weitere Entwicklung des Projekts voranbringen können. Hierzu wird später im Kapitel 7.1 mehr gesagt.

Ein Vergleich zu bestehenden 3D-Technologien ist auf dem derzeitigen Entwicklungsstand nur teilweise möglich. Es ist zu erwarten, dass sich die Probleme mit der Reaktionszeit des

Systems durch eine höhere Senderate der IMAPS Module verringern, ja sogar beheben lassen. Die Winkelabhängigkeit war ein bekanntes Problem, das seit Anfang des Projekts auf Grund der Vorteile, wie dem geringen Preis des Systems und der natürlichen Handhabung, wissentlich in Kauf genommen wurde.

Vor allem die geringen Anschaffungskosten sind das herausragende Merkmal dieses Systems. Die Hände bleiben frei und sind nicht durch zusätzliche Geräte belegt.

Was ein Nachteil des Systems gegenüber anderen 3D-Eingabegeräten darstellt, ist die fehlende Orientierung der Eingabe. So ist es zwar derzeit möglich, eine Position im Arbeitsraum vor dem Nutzer sehr genau zu bestimmen, aber die Orientierung dieses Punktes, wie zum Beispiel eine Zeigerichtung von diesem Punkt aus, lässt sich nicht ermitteln. Auch Drehungen um die jeweiligen Achsen der ermittelten Position können nicht wahrgenommen werden. Dies mag den Nutzen von Anwendungen im 3D-Bereich, welche die Orientierung verwenden, um z.B. einen verändernden Sichtwinkel wahrzunehmen und anzuzeigen, reduzieren. Zumindest bis entsprechende Funktionalitäten in das System auf eine andere Weise hinzugefügt werden. Die Gestenerkennung (siehe Kapitel 2.4) mag hier als ein Beispiel für eine Entwicklung angeführt werden, welche dieses ermöglicht.

Kapitel 7

Zusammenfassung

Das Ziel dieses Projekts war es, ein Eingabegerät für den dreidimensionalen Raum zu entwickeln, das sowohl für mobile als auch für stationäre Anwendungen geeignet ist. Für die Realisierung wurden mitgeführte IMAPS-Module genutzt, welche die Entfernung zwischen einem Sende- und einem Empfangsmodul anhand des Laufzeitunterschiedes eines Ultraschall- und eines Funksignales zu ermitteln. Für das System sind 3 Sendemodule mit bekannten Positionen und ein Empfangsmodul notwendig. Es wurde erfolgreich ein Eingabegerät umgesetzt, welches mit dieser Hardware innerhalb eines tragbaren Rechners die Position des Empfangsmoduls errechnet und mit ihr ein Steuersignal erzeugt.

Gerade in der Anfangsphase des Projekts wurde immer deutlicher, wie groß der Bedarf an solchen Geräten ist. Es wurde ebenfalls deutlich, wie vielfältig diese Eingabegeräte eingesetzt werden können. Die Vielzahl der Entwicklungen dieses Bereiches beschränken sich auf stationäre Anwendungen.

Daher wurde der Fokus innerhalb der Arbeit vermehrt auf die mobile Anwendung gesetzt, unter der Prämisse, dass ein mobiles System letztendlich immer auch in einer stationären, definierten Umgebung genutzt werden kann. Das Eingabegerät sollte in der Lage sein, Handbewegungen in Steuersignale in Form eines Mauszeigers umzusetzen.

Die erste Idee für ein solches Eingabegerät ist im Prinzip dem IPARLA Projekt (Kapitel 2.1.7) nicht unähnlich, auch wenn die Idee ihren Ursprung in anderen Projekten der HAW Hamburg hatte. Es wurde über die Möglichkeit nachgedacht, eine Positionsbestimmung mittels einer Kamera und eines Rasters aus mehreren IR LED's⁵³, welche in einem Quadrat angeordnet sind (3 Zeilen, 3 Reihen), umzusetzen. Anhand des aufgenommenen Bildes wäre es möglich gewesen, mittels bildbearbeitender Software, Rückschlüsse auf die genaue Position und Lage der Kamera zu ziehen. Dieser Ansatz wäre eine Erweiterung der Arbeit von Christian Fischer (Fischer (2007)), welcher sich an Ideen des Wii Stick, dem Eingabegerät der

⁵³infra red - light emitting diodes

Nintendo Wii Konsole, orientierte.

Dieser Ansatz wurde jedoch verworfen, weil eine Kamera als zu schadensanfällig im Rahmen des Szenarios eingestuft wurde. Im Kapitel 4.1, den Rahmenbedingungen, wurde auch deutlich, warum ein solches System nicht innerhalb des Projekts umgesetzt wurde.

Die Technologien, die zur Auswahl für eine Positionsbestimmung näher herangezogen wurden, waren RFID, Ultraschall und GPS. GPS schied auf Grund der nicht garantierten Ortsunabhängigkeit innerhalb von Gebäuden aus. Es wurde sich für Ultraschall auf Grund der geringen Kosten und der Erfahrung mit diesen Modulen entschieden.

Die IMAPS Ultraschallmodule, 3 Sendemodule und ein Empfangsmodul wurden somit die Grundlage des Projekts. Aus zeitlichen Gründen wurde im Verlauf des Projekts auf eine komplette Überarbeitung der Hardware verzichtet. Erst im Laufe der Ergebnisse boten sich immer mehr Verbesserungsideen an, die noch in Kapitel 7.2 erläutert werden.

Die Entwicklung der Software war mit der Sichtung und dem Testen vieler Bibliotheken und Multilaterations Algorithmen verbunden. Hierbei wurden viele Erkenntnisse über die Einsatzgebiete dieser Bibliotheken gewonnen sowie Gründe, warum diese für den aktuellen Stand des Projekts nicht in Frage kommen. Der vermeintlich einfache Weg, eine vorgefertigte Lösung für die Multilateration in das Projekt einzubinden, erwies sich aufgrund der Spezialisierung der einzelnen Multilaterations-Bibliotheken für spezielle Anwendungen als eine Fehlentscheidung. Die Nutzung für die Zwecke des Projekts erschien bei näherer Betrachtung als nicht vorteilhaft oder war mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden.

Daher wurde letztendlich die Multilateration im Rahmen des Projekts nicht durch eine fertige Funktion einer Bibliothek, sondern als Matrix Berechnung auf Grundlage der LTI Lib umgesetzt.

Nach der vollständigen Implementierung stand ein erster Prototyp zur Verfügung, der den Anforderungen an die Eingabemöglichkeiten und die Mobilität entsprach.

Auf Grund der Tests kann gesagt werden, dass durch die aktuelle Taktrate der Sendemodule und durch die Tatsache, dass für eine Positionsberechnung jeweils die Entfernungen zu allen 3 Sendemodulen vorliegen müssen, die Nutzung der Ultraschallmodule als Eingabegerät mit einem geringfügigen Ruckeln und Nachziehen der Zeigerposition verbunden ist. Daraus resultiert eine Positionsungenauigkeit auf Grund der zeitlichen Bewegung. Es dauert einen Moment, bis die Anzeige mit der aktuellen Handposition wieder übereinstimmt. Hierzu ist es noch notwendig, dass die Hand und damit das Empfangsgerät für diese Zeit in ihrer Position verharrt.

7.1 Ausblick auf mögliche weiterführende Projekte

Nach der Entwicklung des Prototypen kann in einem weiterführenden Projekt das äußere Design überarbeitet werden oder z.B. die Möglichkeit einer alternativen Kommunikationsschnittstelle zwischen den Modulen und der Rechneinheit geprüft werden. Für viele Anwendungen



Abbildung 7.1: Mögliche Anwendung innerhalb eines Collaborative Workspace

ist eine schnelle Reaktionszeit unabdingbar. Daher sollte an dieser Stelle begonnen werden, das System für die Zukunft vorzubereiten. Wenn das Empfangsmodul in der Lage wäre, Entfernungsnachrichten in schnellerer Taktrate an den Rechner zu übermitteln, wäre es möglich das „Ruckeln“, auch in Verbindung mit jetzt anwendbaren Softwarefiltern, aus der Eingabe zu entfernen.

Gerade wenn die Reaktionszeit des Systems verbessert wird, wird es auf Grund des geringen Preises auch für den privaten Markt interessant. Es war in der Vergangenheit erkennbar, dass innovative Eingabegeräte, vor allem durch die Nutzung im dem Bereich der Spieleindustrie, schnell im Preis sanken, und damit bezahlbar für viele Anwendungen wurden. Die Spieleindustrie sucht vermehrt nach neuen Eingabegeräten, um den Spieler interessiert zu halten und ihm immer Neues zu präsentieren. Hierbei wird besonderes Augenmerk auf die Einfachheit der Bedienung und die damit verbundene intuitive Nutzung gelegt. Es ist daher auch vorstellbar, dass dieses Eingabegerät letztendlich in einem völlig anderen Bereich verwendet wird, als in dem, für den es ursprünglich entwickelt wurde.

Wenn man dieses 3D-Eingabegerät nicht als ein komplettes Produkt betrachtet, sondern als einen Teilbereich, ergeben sich, z.B. in Verbindung mit einem Datenhandschuh, komplexe Anpassungsmöglichkeiten, auch im Bereich des Einsatzgebiets. Sehr schnell wird die Technik in Bezug auf Collaborative Workspaces interessant, um Interaktionen in einer definierten Umgebung zu erkennen.

Damit verbunden ist auch eine Anwendung im Bereich der „Seamless Interaction“ vorstellbar. Durch die in Kapitel 2.4 auf Seite 25 erwähnten Mustererkennungsalgorithmen wäre die

Grundlage für eine Gestenerkennung geschaffen, die eine natürliche Interaktion ermöglicht. Hierfür ist es allerdings notwendig, die von den Menschen für die Kommunikation genutzten natürlichen Gesten zu identifizieren und diese als Anweisungen in die virtuelle Welt zu überführen.

7.2 Platinendesign

Obwohl die IMAPS Module bereits voll funktionsfähig sind, bot sich im Zuge des Projekts dennoch die Möglichkeit, neue Ansätze zu überdenken. So zeigte sich bei der bisherigen Nutzung des IMAPS Empfangsmoduls, dass die serielle Schnittstelle des Moduls des öfteren Probleme verursachte. Die Gründe hierfür lagen weniger in der Schnittstelle selber, als in der Tatsache, dass die wenigsten neuen Rechner noch über eine serielle Schnittstelle verfügen, was einen Adapter notwendig macht. Gängig war daher bisher die Nutzung eines USB auf Seriell Adapters, was allerdings auf Grund der Bewegungen während der Nutzung an den Steckern zu Verbindungsabbrüchen führte. Daher wurde beschlossen, die neue Platine direkt mit einem USB Stecker auszustatten.

Das derzeitige System mit mehreren Sendern und einem Empfänger ließe sich durch eine Umkehrung des Prinzips optimieren. Damit ist gemeint, dass nicht der Empfänger mit drei Sendern geortet wird, sondern der Sender durch ein Empfangsmodul, welches mit drei Empfängern versehen ist. Die Empfänger sind hierbei anstelle der Sender am Torso angebracht und kennen ihre relative Position.

Die Optimierung liegt darin begründet, dass beim aktuellen System jeder Sender wartet, bis keiner der anderen beiden sendet. Für die Positionsbestimmung muss jeder der Sender mindestens einmal gesendet haben.

Bei einem System mit einem Sender und 3 Empfängern würden bereits nach einer einzigen Sendeaktion alle drei benötigten Entfernungen vorliegen. Die Folge davon wäre eine höhere Datenrate, verbunden mit einem schnelleren Zyklus der Positionsbestimmung. Ein solches Prinzip benötigt einen leistungsstarken Mikroprozessor, der es ermöglicht drei Signale, die durch die drei Empfänger entstanden sind, zeitnah mit hoher Präzision zu verarbeiten. Alternativ kann man jeden Empfänger mit einem eigenen Prozessor ausstatten. Es wäre jedoch eine gute zeitliche Synchronisation der einzelnen „Empfangsmodule“ notwendig, um verwertbare Daten aus nur einem Sendesignal zu erhalten.

Ein weiterer Vorteil, der durch dieses System entstehen würde, wurde im Kapitel 6.5 näher erläutert. Es handelt sich um Probleme, die durch den Einsatz mehrerer dieser Eingabegeräte auf engem Raum hervorgerufen werden. Wie bereits erwähnt, kann immer nur ein Sendemodul zur Zeit einen Ultraschallimpuls aussenden, um die Funktionalität des Systems zu

gewährleisten. Die Optimierung würde die dadurch auftretenden Probleme minimieren.

Als Grundlage für das Platinendesign wurden die Platinen der ursprünglichen IMAPS Module verwendet.

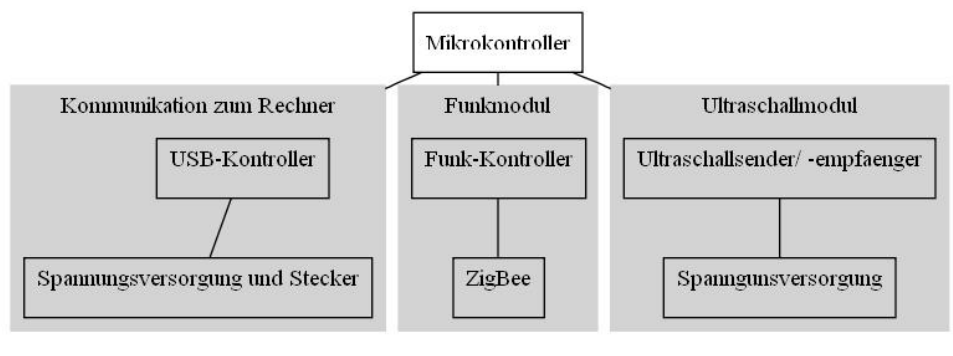


Abbildung 7.2: Konzeption der Platine

Ein Mikrokontroller dient als Grundlage für alle Rechenoperationen und für die Koordination aller Abläufe. Er steuert das Zusammenspiel der 3 unteren Bereiche, der Kommunikation mit dem Rechner, der Funkkommunikation zu den anderen Modulen und dem Aussenden von/ bzw. Horchen auf Ultraschallsignalen.

Die Kommunikation zum Rechner findet, wie bereits oben beschrieben, über eine USB Schnittstelle statt. Der Eingang- und Ausgangsdatenstrom wird hierbei an einen für die USB Übertragung verantwortlichen Mikrochip gesendet. Von dort werden die Daten anschließend an den Rechner übertragen. Es wird hierbei zur Übertragung wie bisher das EIA232⁵⁴ Protokoll genutzt.

Ähnlich läuft die Funkkommunikation ab. Der Datenstrom wird vom Mikrokontroller an ein Funkmodul übertragen und von dort werden die restlichen IMAPS Module des Systems angesprochen. Diese Funkkommunikation ist notwendig, um zu bestimmen, welches Modul das Ultraschallsignal aussenden darf sowie um anhand des Funk- und des Ultraschallsignals eine Laufzeit des Ultraschallsignals zu bestimmen. Obwohl in der optimierten Version nur ein Sender genutzt wird, ist diese Abstimmung dennoch notwendig, sollten mehr als eines dieser Eingabegeräte am Einsatzort zugegen sein. In Kapitel 6.5 wurden die möglichen Probleme beim Einsatz mehrerer dieser Eingabegeräte bereits genauer erläutert.

Das Ultraschallsegment der Platine besteht aus einem Sender oder einem Empfänger, die ein Signal ausgeben, sobald sie einem Impuls vom Mikrokontroller erhalten.

⁵⁴vorher bekannt als RS232. EIA - Elektronik Industries Alliance

7.2.1 Schaltplan

Die Teilbereiche wurden anschließend zu einem Platinschaltplan zusammengeführt.

Für die USB Kommunikation wird ein FT232RL (FTDI, 2005) Chip verwendet. Der komplette Ablauf der Kommunikation mittels des USB Protokolls zum Rechner wird von ihm übernommen. Er ist damit also das Bindeglied zwischen dem Rechner und dem Mikrokontroller. Der FT232RL Chip erhält den Rx und Tx Datenstrom des Mikrokontrollers und leitet ihn entsprechend weiter.

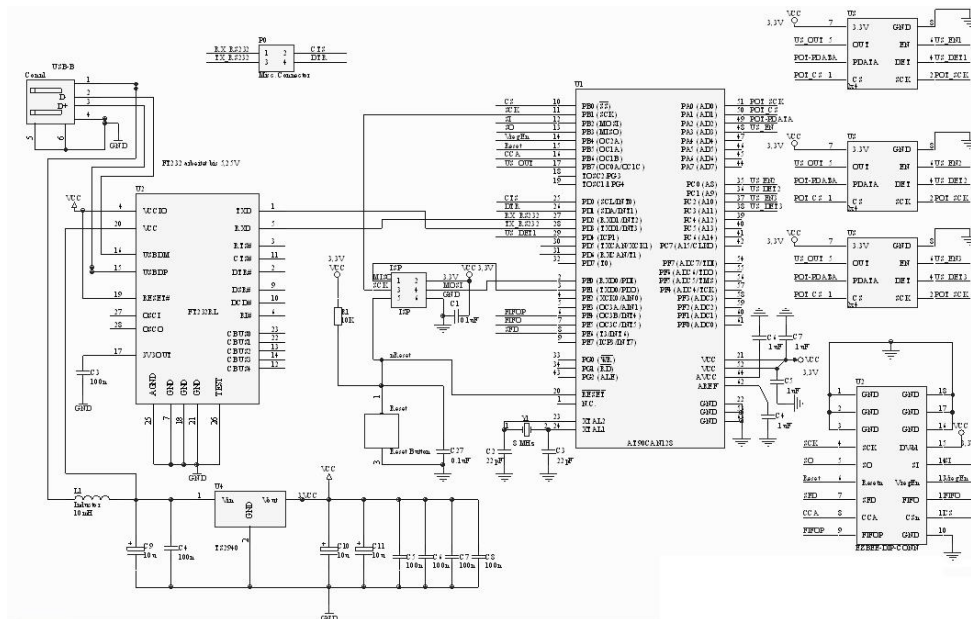


Abbildung 7.3: Schaltplan der Platine

Der in Bild 7.3 gezeigte Schaltplan stellt die Hauptplatine da. Die ausführlichen Schaltpläne sind im Anhang dieser Arbeit zu finden.

7.3 Fazit

Durch die erfolgreiche Implementierung des Prototypen ergab sich eine weitere, interessante Möglichkeit, die ursprünglichen IMAPS Module der HAW Hamburg alternativ, in diesem Falle als ein 3D-Eingabegerät, zu verwenden. Derzeit ist das Eingabegerät noch nicht für eine Nutzung durch Rettungskräfte geeignet. Dies wurde von dem im Projektrahmen erstellten Prototypen jedoch auch nicht erwartet. Das Ziel war das Prüfen der Möglichkeiten, die ein solches System bietet. Dieses System wird nur Einzug in den Markt halten, wenn die magelnde Reaktionszeit behoben werden kann. Es ist festzustellen, dass viel Entwicklungszeit für

die Sichtung möglicher Software-Ansätze zur Lösung der mathematischen Problemstellung verwendet wurde, um am Ende wieder eine eigene, projektspezifische, Lösung zu erstellen.

Für eine Anwendung, wie sie innerhalb des Szenarios beschrieben wurde, fehlt derzeit noch die Akzeptanz bei den Rettungskräften, solche Eingabegeräte zu benutzen (siehe Hinck (2006)). Das Szenario mag eine mögliche Zukunft aufzeigen, doch es werden noch viele Jahre vergehen, bis sich Wearable Computing und damit auch der Bedarf an einem solchen Eingabegerät soweit durchgesetzt hat, dass es in extremen Situationen genutzt werden kann. Eine Möglichkeit, eine solche Akzeptanz zu schaffen, liegt darin, sie „spielend“ zu erzeugen. Wie bereits beschrieben, mag daher die Nutzung eines solchen oder eines ähnlichen Systems viel dazu beitragen, dass die Gesellschaft mit diesen Medien und ihrem Gebrauch vertraut gemacht wird.

Der interessanteste Aspekt dieser Technologie liegt darin, dass sie leicht mit anderen Technologien zu kombinieren ist und dadurch noch komplexere Interaktionen mit einer Arbeitsumgebung möglich sind. Als ein Beispiel hierfür wäre die Kombination mit einem Datenhandschuh, wie in Kapitel 2.1.5 beschrieben, zu nennen. Die Technologie, ein 3D-Eingabegerät mittels Ultraschall-/Funkmodulen zu realisieren, bietet gerade auf Grund ihrer geringen Kosten eine Anwendungsvielfalt, die es rechtfertigt, die Konzepte dieses Projekts zu erweitern und fortzuführen.

Es ist leicht vorstellbar, dass auch die Kunst zukünftig von 3D-Technologien stärker beeinflusst wird. Ein Künstler könnte ein solches 3D-Eingabegerät nutzen, um eine Skulptur oder ein 3D-Bild zu formen. Dies muss nicht innerhalb eines Bildprogrammes erfolgen, sondern ein solcher Schaffensprozess könnte in Echtzeit ablaufen. Eine CNC Maschine⁵⁵, ein 3D-Plotter oder ein Holografieprojektor wären in der Lage, die Anweisungen des Künstlers direkt umzusetzen. Dabei muss sich dieser nicht mit der Technik, die hinter einem solchen „Werkzeug“ steht, auseinandersetzen.

Obwohl dies nur ein weiteres Beispiel ist, zeigt es gut, in wie vielen verschiedenen Bereichen solche Technologien angewendet werden können.

Bei Entwicklungen für eine 3D-Umgebung kommt die Frage auf, was für zusätzliche Möglichkeiten diese Entwicklungen für die Interaktion mit einer künstlichen Welt in einem Rechner bieten. Wie realistisch und natürlich wird diese Welt in ihrem Erscheinungsbild und ihrer Interaktion auf uns wirken? Wie realistisch darf diese künstliche Welt für uns erscheinen?

⁵⁵Computerized Numerical Control - Maschine. Eine Computergesteuerte Maschine, die Funktionen wie z.B. Fräsen übernimmt

Abbildungsverzeichnis

1.1	Übersicht des Rescue-Projekts	9
2.1	Navistick	10
2.2	Kwisath	11
2.3	Das Prinzip der Ortung mittels Infrarotkameras	12
2.4	Space Explorer von 3DConnexion	13
2.5	Arbeitsumgebung des Hybrid Input Device „Eye of Ra“. Zu sehen ist eine Kamera des optischen Tracking Systems (1), ein Tablet PC und das „Eye of Ra“ Eingabegerät(2) sowie das stereoskopische Grossbild Projektions System(3)	14
2.6	Hybrid Input Device „Eye of Ra“	15
2.7	Malleable Surface Interface	16
2.8	Beispiel eines Datenhandschuhs: P5 Glove von Alliance Distributors	17
2.9	Zeichnungen aus dem eingereichten Patent von Sony	18
2.10	iSphere des MIT	19
2.11	Mobiles 3D-Eingabegerät des IPARLA Projekts	20
2.12	Das Falcon 3D-Eingabegerät der Firma Novint	21
2.13	Beispiel einer Konstruktionszeichnung einer Turbine	23
2.14	Der Arbeitsraum des Nutzers	26
2.15	Mögliche Gesten einer Beispiel Anwendung eines Projekts der ETH Zürich	26
3.1	Multilaterationsverfahren	29
3.2	Multilangulationsverfahren - a_1, b_1 , usw. sind die jeweils bekannten Winkel	30
4.1	Positionierung der Module am Körper. Frühe Zeichnung, optimale Positionierung wäre auf $\frac{2}{3}$ der Höhe des Torsos	34
4.2	QRT-Rechner und ein Virtual Retinal Display	34
4.3	IMAPS Empfangs- und Sendemodul	40
4.4	Ausbreitung des Ultraschallkegels	41
4.5	Grober Ablauf der Arbeitsschritte in der Software	43
4.6	Erste Struktur der Software	45

5.1	Skizze des Platinaufbaus	47
5.2	Arbeitsraum	49
5.3	Sequenzdiagramm der Abläufe zwischen den Prozessen	52
5.4	LR-WPAN Geräte Architektur	53
5.5	IMAPS Protokoll zwischen Empfangsmodul und Rechner	54
5.6	Aufbau eines INPUT SIGNALS der Windows API	57
5.7	Veranschaulichung der Veränderungen für die Anpassung an ein anderes Betriebssystem	59
5.8	Der Mittelwert über 5 Messergebnisse bei einer leichten Positionsänderung und den damit verbundenen Schwankungen in den Messwerten.	61
5.9	Der Median über 5 Messergebnisse bei einer leichten Positionsänderung und den damit verbundenen Schwankungen in den Messwerten.	62
6.1	Genauigkeit der Messung bei gleichbleibender Position. 15 cm Abstand zwischen Sender und Empfänger.	64
6.2	Genauigkeit der Messung bei gleichbleibender Position. 27 cm Abstand zwischen Sender und Empfänger.	64
6.3	Das Empfangsmodul befindet sich in 35 cm Abstand zum Sendemodul. Der Empfänger ist 20 cm seitlich versetzt. Die roten Pfeile zeigen die Orientierung des Empfangsmodul an.	66
6.4	Einfluss der Orientierung des Empfängers zum Sender. Der empfohlene 60° Winkel liegt zwischen -30° und 30° auf der X-Achse	66
7.1	Mögliche Anwendung innerhalb eines Collaborative Workspace	73
7.2	Konzeption der Platine	75
7.3	Schaltplan der Platine	76
A.1	Stromversorgung des IMAPS Moduls	83
A.2	Ultraschallsender-Platine des IMAPS Moduls	84
A.3	Ultraschallempfänger-Platine des IMAPS Moduls	85

Literaturverzeichnis

- [ISTRunes] : *IST Runes*. – URL <http://www.ist-runes.org/scenario.html>
- [Lifeshirt] : *Lifeshirt*. – URL http://www.lifeshirt.com/site/system_howitworks.html
- [PubETHZ] : *Publications ETH Zürich*. – URL <http://www2.ife.ee.ethz.ch/~oam/publications/>
- [Wearable2005] : *Wearable*. – URL <https://www.cs.tcd.ie/courses/mscmm/2005/lectures/research/wearable2004.pdf>
- [WC2006] : *Wearble Computing*. – URL <http://www.wearable-computing.de>
- [WearITatWork] : *WearITatWork*. – URL <http://www.wearitatwork.com/>
- [3DConnexion 2007] 3DCONNEXION: *SpaceExplorerTM Navigate Your 3D WorldTM*. 2007
- [Aachen 2005] AACHEN, Technische U.: *LTI Lib. Sourceforge (Veranst.)*, 2005. – URL <http://ltilib.sourceforge.net/doc/homepage/index.shtml>
- [ART 2007] ART: *ARTtrack & DTrack Benutzerhandbuch Version v1.24.3*. Advanced Real-time Tracking GmbH (Veranst.), 2007
- [ATMEL 2005] ATMEL: *Atmel 8-bit Microcontroller with 32K/64K/128K Bytes of ISP Flash and CAN Controller AT90CAN32 AT90CAN64 AT90CAN128*. Atmel Corporation (Veranst.), 2005
- [Brinkkötter-Runde 1995] BRINKKÖTTER-RUNDE, K.: *Untersuchung der Nutzbarkeit der satellitengestützten Positionierung für die digitale Erfassung raumbezogener Daten im Gelände*. 1995
- [BUCHER 2001] BUCHER, D.: *A Synthesizable VHDL Model of the Exact Solution for Three-dimensional Hyperbolic Positioning System*. (2001)
- [Davids 2007] DAVIDS, Anro: *Vergleich von Projekten im Bereich Sensornetze unter Berücksichtigung des Rescue-Umfelds*. HAW Hamburg. 2007

- [Fischer 2007] FISCHER, Christian: *Entwicklung eines multimodalen Interaktionssystems für computergestützte Umgebungen*, HAW Hamburg, Diplomarbeit, 2007
- [Florian Vogt 2004] FLORIAN VOGT, Reynald Hoskinson Sidney F.: *A Malleable Surface Touch Interface* Human Communication Technologies Laboratory The University of British Columbia (Veranst.), 2004
- [Franz Lehner 2005] FRANZ LEHNER, Henrik S.: *Mobile Anwendungen*. dpunkt-Verlag, 2005
- [FTDI 2005] FTDI: *EVAL232R FT232RL USB to RS232 Evaluation Module*. Future Technology Devices International Ltd. (Veranst.), 2005
- [Gregor 2006] GREGOR, Sebastian: Bachelorarbeit: Entwicklung einer Hardwareplattform für die Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von Gebäuden / HAW Hamburg. 2006. – Forschungsbericht
- [Hinck 2006] HINCK, Steffen: *RESCUE: Wearable Computer in Disaster-Szenarien*. (2006)
- [Hinck 2007] HINCK, Steffen: *Wearable Computing in Disaster Szenarien*. 2007. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2006/hinck/abstract.pdf>
- [IEEE 2003] IEEE: *IEEE Standard 802.15.4-2003*. 2003. – URL <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>
- [Jackie Lee 2005] JACKIE LEE, Ted S.: *iSphere: A Proximity-based 3D Input Interface* MIT Media Lab (Veranst.), 2005
- [Jukes 2004] JUKES, Malcolm: *Aircraft display systems*. Professional Engineering Publ., 2004
- [Kwon und Gross 2007] KWON, Doo Y. ; GROSS, Markus: *A Framework for 3D Spatial Gesture Design and Modeling Using a Wearable Input Device*, ETH Zürich, 2007. – URL <http://graphics.ethz.ch/Downloads/Publications/Papers/2007/Kwo07a/Kwo07a.pdf>
- [Mann 1998] MANN, Steve: *WEARABLE COMPUTING as means for PERSONAL EMPOWERMENT*. In: *1998 International Conference on Wearable Computing* University of Toronto (Veranst.), URL <http://wearcam.org/icwckeynote.html>, 1998
- [Mario Doulis 2006] MARIO DOULIS, Jan Pflueger Andreas Simon Christian Stern Till Haldmann Christoph J.: *SpaceActor: Interface Prototypes for Virtual Environments* University of Arts and Design Aargau, Switzerland (Veranst.), 2006
- [Mattern 2003] MATTERN, Friedemann: *Total Vernetzt : Szenarien einer informatisierten Welt*. Springer, 2003

- [Maxim 2001] MAXIM: *MAX5403/MAX5404/MAX5405 Dual 256-Tap, Low-Drift, Digital Potentiometers*. Maxim Integrated Products (Veranst.), 2001
- [Miu 2002] MIU, Allen Ka L.: *Design and Implementation of an Indoor Mobile Navigation System*, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Diplomarbeit, 2002
- [MSDN 2008] MSDN: *MSDN - Microsoft Developers Network*. Microsoft (Veranst.), 2008.
– URL [http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms646260\(VS.85\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms646260(VS.85).aspx)
- [muRata 2001] MURATA: *Piezoelectric Ceramic Sensors Ultrasonic Sensors*. muRata (Veranst.), 2001
- [Parallax 2005] PARALLAX: *RFID Reader Module (nr. 28140)*. Parallax, Inc. (Veranst.), 2005.
– URL www.parallax.com
- [Piening 2007] PIENING, Andreas: *Rescue - Leitstand für Desaster - Szenarien*. HAW Hamburg, 2007
- [Salvatori 2005] SALVATORI, Peter: *Anwendungsentwicklung für Pocket-PC's: mobile Technologien*. Data Becker, 2005
- [Welzel 2007] WELZEL, Thomas: *Entwicklung einer autonomen Flugsteuerung für einen Indoor-Koaxialhubschrauber unter Verwendung von IMAPS*, HAW Hamburg, Diplomarbeit, 2007

Anhang A

Schaltpläne

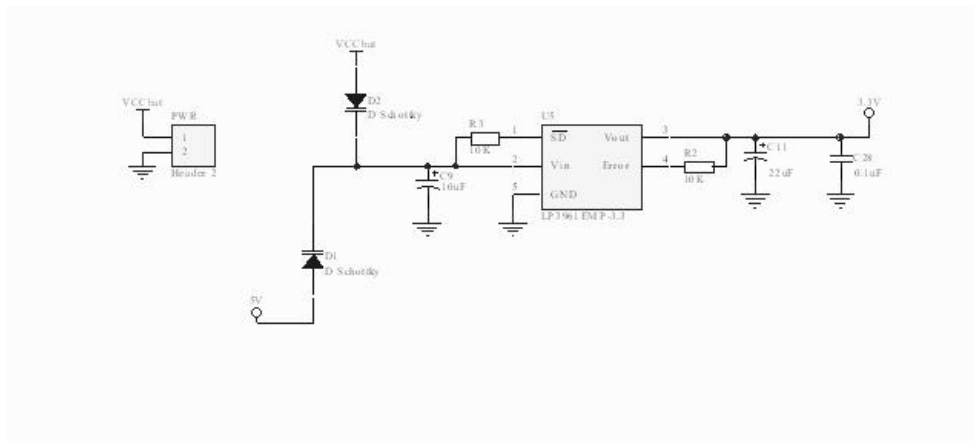


Abbildung A.1: Stromversorgung des IMAPS Moduls

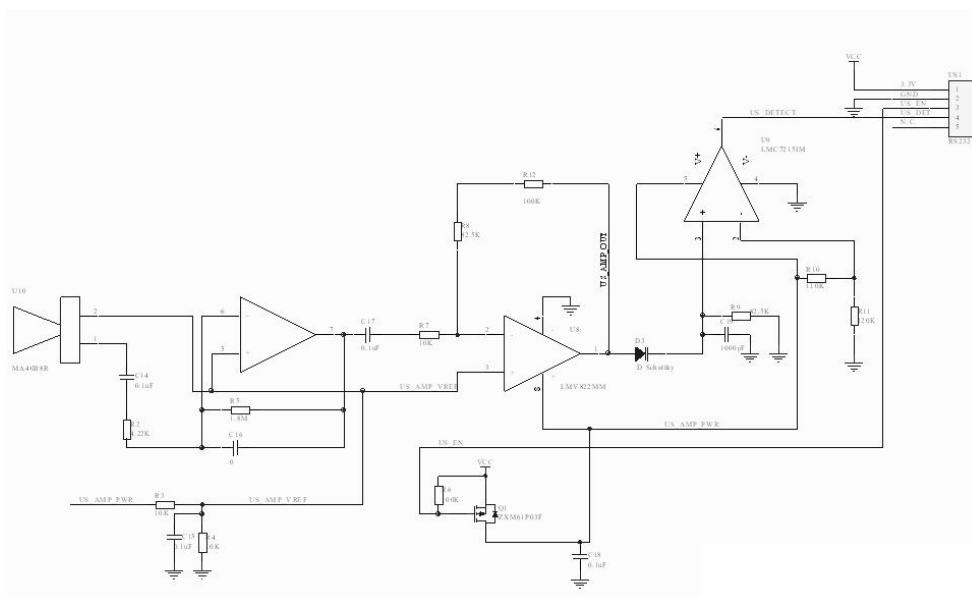


Abbildung A.3: Ultraschallempfänger-Platine des IMAPS Moduls

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §22(4) bzw. §24(4) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 30. April 2008 Steffen Hinck