

Master

Borys Kogan

Indoor Navigationssystem mit dynamischer
Beschilderung

- Entwicklung und Simulation in einer virtuellen
3D-Umgebung

Borys Kogan
Indoor Navigationssystem mit dynamischer
Beschilderung
- Entwicklung und Simulation in einer virtuellen
3D-Umgebung

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

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Ing. Wendholt, Birgit
Zweitgutachter : Prof. Dr. rer. nat. Jörg Raasch

Abgegeben am 02.03.2009

Zusammenfassung

Thema der Masterarbeit

Indoor Navigationssystem mit dynamischer Beschilderung
- Entwicklung und Simulation in einer virtuellen 3D-Umgebung

Stichworte

Dynamische Beschilderung, 3D-Simulation, Fußgängernavigation, Indoor Navigationssystem.

Kurzzusammenfassung

Die heutzutage verfügbaren Navigationssysteme sind für die Führung der Fußgänger im Indoor-Bereich nicht optimal geeignet. Eine alternative Lösung ist benötigt, die den Prinzipien der menschlichen Raumkognition entspricht. Effizienz der Fußgängernavigation mittels der dynamischen Schilder, die in einem großen und unübersichtlichen Gebäude als Ausgabegeräte platziert sind, wird im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen. Durch die Simulation in einer virtuellen Umgebung werden die gestellten Anforderungen an das System realistisch implementiert. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Prototyp des Systems als eine komplexe dreidimensionale Testumgebung realisiert.

Title of the paper

Indoor navigation system with dynamic signage
- Developing and simulation in the virtual 3D environment

Keywords

Dynamic signage, 3D-Simulation, pedestrian navigation, indoor navigation system.

Abstract

The available systems nowadays are not perfectly adapted for the pedestrian guide in the indoor area. The alternative solution is needed, which corresponds to the principles of the mental space cognition. The efficiency of the pedestrian navigation with the dynamic signs, which are installed in the huge and not well structured building as the output devices, is demonstrated in this master thesis. Due to the simulation in the virtual environment the defined system requirements will be realistic implemented. In this master thesis the prototype of the system will be provided as the complex tridimensional test environment.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	6
1.2	Vision	7
1.3	Ziele der Arbeit	8
1.4	Gliederung der Arbeit	9
2	Grundlagen	11
2.1	Menschliches Orientieren	11
2.2	Landmarken	14
2.2.1	Visualisierung der Landmarken auf den Karten	16
2.3	Repräsentation der räumlichen Objekte	20
2.3.1	IFC	21
2.3.2	CityGML	22
2.3.3	EMIC Location and Mapping Framework	24
2.3.4	Fazit	26
2.4	Präsentationsmöglichkeiten der Navigationshinweise	27
2.5	Fazit	30
3	Verwandte Arbeiten und existierende Konzepte	32
3.1	OntoNav	32
3.2	Utopian	34
3.3	SemWay	35
3.4	TIMMY	36
3.5	GAUDI	38
3.6	Fazit	39
4	Analyse	41
4.1	Beispielszenario	41
4.2	Funktionale Anforderungen	43
4.2.1	Ergonomische Aspekte	46
4.2.1.1	Optisches und semantisches Erscheinen	47
4.2.2	Anforderungen an die simulierte Umgebung	51
4.3	Nicht Funktionale Anforderungen	52
4.4	Fazit	58

5 Design	59
5.1 Anwendungsarchitektur	59
5.2 Spezifikation des Systems	64
5.3 Fazit	65
6 Realisierung	67
6.1 Testszenarien	67
6.2 Darstellung der Navigationshinweise	68
6.3 Infrastruktur der Abbildungsmedien	71
6.3.1 Image Schemata	72
6.3.2 Umsetzung der Interviewergebnisse	73
6.4 Implementierung	79
6.4.1 Irrlicht	81
6.4.2 DeleD	83
6.5 Fazit	85
7 Tests und Evaluierung	86
7.1 Mobiles Labor	88
7.2 Profile der Testpersonen	88
7.3 Testverlauf	89
7.4 Ergebnisse	90
7.5 Auswertung	93
7.6 Evaluierung	95
7.7 Fazit	95
8 Methodische Abstraktion	97
9 Fazit und Ausblick	99
10 Referenzen	102

Abbildungsverzeichnis

1	Mögliche Objekte als Landmarken, die entweder entlang der Route platziert sind(Monumente, Beschilderung), Entfernt von der Route (Uhr auf diesem Beispiel), oder ein einzigartiger Teil der Route selbst (Rolltreppe). Quelle: (millo07)	15
2	Abstraktionsgrade der Visualisierung. Quelle: (elias06)	17
3	3D-Zeichnungen für die Visualisierung der Landmarken. Quelle: (elias06)	18
4	Icons für die Visualisierung der Landmarken. Quelle: (knippel03)	19
5	Design-Matrix für die Visualisierung von Gebäude-Landmarken. Quelle: (elias06)	19
6	City GML: Multiebenenmodell	23
7	City GML: Multiebenenmodell	24
8	EMIC Location and Mapping Framework: Beispielanwendung	27
9	Eine preverbale Nachricht(preverbal Message) und ihre Präsentationformen. Quelle: (kray03)	28
10	OntoNav: Ein semantisches Navigationssystem	33
11	OntoNav: The Indoor Navigation Ontology	33
12	Interaktion zwischen der Kamera des mobilen Gerätes und der physikalischen Karte	37
13	GAUDI: Display	38
14	GAUDI: Administrationsinterface des Servers	39
15	Reaktionsmodell für Interaktive Systeme. Quelle: (raas08)	47
16	Abhängigkeit der Sehschärfe von der Farbe. Quelle: (raas08)	49
17	Beschilderung des Flughafens	50
18	Qualitätsmodell für Software nach ISO/IEC 9126 (DIN 66272). Quelle: (Glinz06)	53
19	Anwendungsarchitektur des Systems	60
20	Semantische Darstellung des gesuchten Objektes	69
21	Darstellung der Navigationsinformation zum Restaurant McDonalds . .	70
22	Darstellung der Navigationsinformation für 2 Gruppen	71
23	Darstellung der Navigationsinformation auf dem Monitor	71
24	Richtungsanzeige zur Änderung der Etage	75
25	Richtungsanzeige zur Auswahl aus mehreren möglichen Wege	75
26	Navigationsanzeige zur Änderung der Richtung	76
27	Navigationsanzeige in der Nähe eines sicherheitskritischen Bereichs . . .	77

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

28	Navigationsanzeige innerhalb eines geraden Korridors	78
29	Entwicklung eines virtuellen Gebäudes mit Hilfe von DeleD	84
30	Navigationsystem auf Basis der dynamischen Beschilderung. Testen in der virtuellen Umgebung.	86
31	Ausstattung des mobilen Labors	87
32	Testverlauf aus drei verschiedenen Perspektiven	89

1 Einleitung

1.1 Motivation

Heutzutage wird dem Kunden eine breite Palette von verschiedenartigen Navigationssystemen angeboten. Kaum ein Autofahrer kann sich heute einen komplizierten Weg ohne ein Navigationssystem vorstellen. Die existierenden Systeme sind effizient, schnell und präzise. Die Positionierungstechnologien sind Zentimeter genau. Aber die oben genannten Vorteile gelten eher für Autofahrer im Outdoor-Bereich. Darüberhinaus gibt es eine andere Gruppe von potentiellen Benutzern, die die mächtigen Möglichkeiten der ortsbezogenen Dienste ausnutzen wollen. Hier geht es um die Fußgänger, für die die klassischen Direktiven wie z.B. „nach 50 Metern links abbiegen“ eher irritierend und auf keiner Weise nützlich sind. Wir, in der Rolle eines Fußgängers innerhalb eines großen, unbekanntes und unübersichtlichen Gebäudes, benutzen eine komplett andere Strategie, um von einem Startpunkt zu dem gewünschten Ziel zu kommen. Räume innerhalb des Gebäudes sind für uns eher Plätze und können mit den Straßen, die die Bewegungsfreiheit des Autofahrers begrenzen, nicht verglichen werden. Menschen benötigen einen höheren Freiheitsgrad bei der Bewegung und benutzen für die Orientierung vorhandene Landmarken, markante einmalige Objekte der Umgebung.

Die von TeleAtlas (telea09) angebotene Alternative bietet den Benutzern die speziellen Fußgängerkarten an. Die Karten werden auf dem mobilen Gerät angezeigt. Mit Hilfe des eingebauten GPS-Empfängers wird die aktuelle Position ermittelt, was aber für die Navigation in einem geschlossenen Raum wegen der Wändedichte und Reflektion nicht geeignet ist. Insofern handelt es sich hier um ein anderes Segment auf dem Markt der Navigationssysteme.

Ein typisches Beispiel, an dem man beweisen kann, dass die Indoor-Navigation für Fußgänger nicht nur hilfreich sondern nötig sein kann, ist ein Flughafen, dessen Territorium enorm groß und für den Gelegenheitsbesucher nicht übersichtlich ist. Die Navigation durch solch komplexe Gebäude, die nicht immer ausreichend mit der statischen Beschilderung ausgestattet sind, ist für die Passagiere sehr zeitaufwendig. Heutzutage, da man schnell und günstig von einem Teil der Erde zu dem anderen fliegen kann, sind Flughäfen zu den wichtigen Dienstleistungs- und Güteranbietern geworden. Es gibt nicht wenige unter uns, die mehr Zeit in fremden Flughäfen als zu Hause verbringen. Deswegen muss diese Zeit der Fluggäste möglichst effizient ausgenutzt werden. Das kann man nur dadurch erreichen, dass den Besuchern des Flughafens zu dem richtigen Zeitpunkt die richtige und auf dem Kontext basierende Information angeboten wird. Die heutzutage vorhandenen Fußgängernavigationssysteme werden für die mobilen Geräte

entwickelt. Dadurch gewinnt man eine große Anzahl der potentiellen Benutzer, weil fast jeder ein solches Gerät besitzt. Aber für die Navigation in einem Flughafen, wo der Fußgänger nicht viel Zeit hat und wegen des Gepäcks nicht ständig auf den Bildschirm des Mobilgerätes schauen kann, sind alternative Lösungen nötig. Deswegen möchte man an die mobilen Geräte der Fluggäste als Repräsentationsmedium nicht gebunden sein. Wir wollen die vorhandene Infrastruktur der Abbildungsmedien im Flughafen nutzen, um den Benutzern aktuelle und für sie relevante Information anzubieten. Und die heutzutage überall vorhandenen Monitore mit einem dynamisch anpassbaren Inhalt sind optimale Medien für die Darstellung der Navigationshinweise. Durch die Zugänglichkeit der Monitore für alle aktuell erreichbaren Fußgänger, spricht man über die Gruppennavigation, die nicht nur einer Person sondern einer ganzen Gruppe der Interessenten vom Nutzen sein kann.

1.2 Vision

Für die vorliegende Arbeit wurde der Flughafen als die Metapher für den Einsatz des zu entwickelten Navigationssystems ausgewählt. In solch einer Umgebung kann man die Aspekte der Fußgängerführung realistisch untersuchen, weil die Maßstäbe des unbekanntes Territoriums beeindruckend groß sind. Die Vision ist ein Navigationssystem, das mittels der dynamisch anpassbaren Navigationshinweise die ganzen Gruppen von Fußgängern schnell und effizient zum Ziel führt, zu realisieren. Gruppennavigation ist die Hauptidee, die das zu entwickelnde System realisieren muss. Die heutzutage für die Navigation massiv genutzten mobilen Geräte wie z.B. Personal Digital Assistent (PDA), in dessen Namen das Konzept der individuellen Hilfe steckt, sind für die Führung der Benutzergruppen nicht geeignet. Dafür braucht man eine Alternative für die Darstellung der Navigationshinweise.

Die Monitore, die für die Anzeige der Navigationsinformation benutzt werden, übernehmen die Funktionalität der statischen Beschilderung, die man heutzutage in jedem Flughafen sehen kann. Durch die Einführung der Medien, deren Inhalt leicht an den Kontext angepasst werden kann, spricht man über die dynamische Beschilderung. Im Gegenteil zu den statischen Schildern kann das System mit der dynamisch änderbaren Information nicht nur zu den allgemein gesuchten Zielen, wie Gates, Terminals oder Passkontrollschalter, sondern zu jedem beliebigen aktuell interessanten Objekt im Gebäude führen.

Dadurch, dass die Information auf den Monitoren der dynamischen Beschilderung von vielen Fußgängern gleichzeitig wahrgenommen werden kann, ist das Konzept der Gruppennavigation erforderlich, so dass man gleichzeitig zu mehreren ausgewählten Objek-

ten innerhalb des Gebäudes navigieren kann. Um die vorhandenen dynamischen Schilder effizient zu nutzen, muss erstens entschieden werden, zu welchem Ziel die aktuell betrachtete Gruppe navigiert werden möchte. Dafür müssen die Passagiere, die sich in dem Teilbereich des Flughafens befinden, zu verschiedenen virtuellen Gruppen zusammengefasst werden. Die Mitglieder der Fußgängergruppe finden auf den Monitoren innerhalb der Sichtweite, auf dem die semantische Beschreibung des Zielpunktes und die Richtung zu dem nächsten Knoten der Kette angezeigt wird. So folgt man den Hinweisen des Systems wie einem Ariadnefaden und kommt schnell zu dem gesuchten Objekt.

Zu einem bestimmten Zeitpunkt sind mehrere Ziele, zu denen die Fußgänger navigiert werden, relevant. Eine wichtige Aufgabe, die das System lösen muss, ist die gleichzeitige Darstellung der Information für verschiedene Ziele. Dabei sollte man die Umgebung mit den Monitoren so sparsam wie möglich ausstatten und gleichzeitig eine effiziente Führung anbieten.

1.3 Ziele der Arbeit

Der Kern der vorliegenden Arbeit liegt darin, die Technologie der Navigation auf Basis der dynamischen Beschilderung prototypisch aufzubauen und ihre Effizienz gegenüber den klassischen Methoden der Navigation zu zeigen. Da die Installation der Infrastruktur von Monitoren der dynamischen Beschilderung eine sehr teure und nicht unbedingt nötige Investition ist, wurde entschieden, die Evaluierungsteste in einer künstlich aufgebauten Umgebung durchzuführen. Dafür wird eine Anwendung für die virtuelle Abbildung der Realität auf Basis einer Engine für 3D-Spiele implementiert. Diese virtuelle Umgebung kann später als ein Test- und Simulationsmodell für Indoor-Navigation dienen.

Durch die Vielzahl an Fußgängern und die Heterogenität ihrer Ziele muss das System möglichst viele Gruppen zu den ausgewählten Objekten führen können. Die Infrastruktur der vorhandenen Ausgabegeräte ist aber streng begrenzt. Deswegen ist die Verteilung der gemeinsam benutzten Ressourcen, nämlich Monitore der dynamischen Beschilderung, eine weitere Aufgabe des Systems.

Folgende Aspekte aus verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen sind zu untersuchen:

- Menschliches Orientieren und Verhaltensmodelle des Fußgängers in der unbekannten Gegend
- Vergleichbare Projekte und existierende Methoden der Wegsuche
- Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit der Navigation

- Prinzipien der statischen Beschilderung als Basis für die dynamisch anpassbare Navigationshilfe
- 3D Modellierung der statischen Objekte(Gebäude)
- Virtueller Raum als Testumgebung

Als Endprodukt, das im Rahmen dieser Arbeit realisiert und vorgestellt wird, ist eine prototypische Applikation vorgesehen, mit deren Hilfe die Navigation auf Basis der dynamischen Beschilderung getestet und analysiert werden kann.

1.4 Gliederung der Arbeit

In dem Kapitel *Grundlagen* werden die theoretischen Aspekte, die für die menschliche Navigation relevant sind, untersucht und analysiert. Die heutzutage existierenden Produkte aus der Welt der Fußgängernavigation werden im Abschnitt verwandte Arbeiten präsentiert.

In dem Kapitel *Analyse* werden dem Leser die funktionalen und die nicht funktionalen Anforderungen an das zukünftige System vorgestellt. Die Beispielszenarien für den möglichen Einsatz des Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung werden erwähnt. Auch die ergonomischen Aspekte des zu entwickelnden Prototyps werden in diesem Kapitel eingeführt. Bedingt durch den Umstand, dass das System in einer virtuellen Umgebung getestet werden soll, werden die entsprechenden Anforderungen an die Umgebung vorgestellt.

In dem Kapitel *Design* wird das zu entwickelnde System aus der Sicht der Basiskomponenten dargestellt, die in einer Anwendungsarchitektur zusammengefasst werden.

In der *Realisierung* wird der prototypische Entwurf des Navigationssystems beschrieben. Dabei werden die ergonomischen Aspekte und die Infrastruktur der Abbildungsmedien realisiert. Als Endprodukt wird eine virtuelle Umgebung implementiert, in der die Aspekte der menschlichen Navigation im Flughafen getestet werden können.

In der *Tests und Evaluierung* wird die implementierte Umgebung für Usability-Tests benutzt. Dabei wird das Konzept der Navigation mittels der dynamisch änderbaren Navigationsanzeigen analysiert und ggf. verbessert.

In der *methodischen Abstraktion* werden die untersuchten Aspekte des Systems aus anderen Perspektiven betrachtet. Dadurch sollen weitere Einsatzmöglichkeiten für das Navigationssystem gefunden werden.

2 Grundlagen

Die vorliegende Arbeit versucht die Idee eines neuen Konzeptes, Menschen im Indoor-Bereich mit Hilfe der dynamischen Beschilderung zu navigieren, zu erarbeiten und die Effizienz dieser Technologie nachzuweisen. Um das Konzept, die Fußgänger mittels der dynamischen Beschilderung zum Ziel zu führen, erfolgreich zu realisieren, müssen die Aspekte der mentalen Navigation vorangestellt beachtet werden. Hier geht es um die Prinzipien der menschlichen Raumkognition(raub97).

In dem Abschnitt 2.1 werden die Basisaspekte des menschlichen Raumverstehens vorgestellt. Daraus werden für die weitere Ausarbeitung die grundlegenden Prinzipien des Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung entstehen.

Ohne Landmarken kann man heutzutage keine effiziente Navigationshilfe für die Fußgänger erstellen. Die Landmarken, ihre Eigenschaften und mögliche Repräsentationsarten werden in dem Abschnitt 2.2 beschrieben.

Räumliche Objekte, innerhalb deren die Zielperson navigiert wird, müssen maschinell beschrieben und bearbeitet werden. Dafür findet man im Abschnitt 2.3 die Beispielttechnologien der technischen Repräsentation der räumlichen Objekte.

Nachdem die Route zu dem Ziel in einem Gebäude ermittelt ist, muss sie dem Endbenutzer in einer verständlichen Form dargestellt werden. Im Abschnitt 2.4 werden einige Präsentationsmöglichkeiten der Navigationshinweise erwähnt.

2.1 Menschliches Orientieren

Egozentrische und exozentrische Raumwahrnehmung

Eine alltägliche räumliche Aufgabe, die jeder Mensch häufig für sich lösen muss, ist die Abbildung der zweidimensionalen Darstellung der Umgebung(z.B. auf einer Karte) auf die Dreidimensionalität der Realität. Dabei versucht man unbewusst die Relationen der Objekte auf der Karte auch in der realen Welt für sich zu rekonstruieren. Menschen nehmen die Abbildung aus der so genannten egozentrischen Perspektive wahr. Dabei betrachtet sich der Mensch als Null-Punkt des eigenen Koordinatensystems. Und alle Objekte, die sich in der Umgebung befinden, betrachtet der Mensch relativ zu seiner

eigenen Position.

Zusätzlich gibt es für den Menschen eine Möglichkeit, einige räumliche Aufgaben aus der so genannten absoluten oder euklidischen Perspektive zu lösen. Z.B. eine Auskunft über den Weg von einem Startpunkt zu dem Ziel kann nach dieser Methode unabhängig von der aktuellen Position mental gefunden werden: „Von der Kirche gehen Sie geradeaus und bei der ersten Ampel nach links“. Der Fußgänger platziert sich nicht als Mittelpunkt des subjektiven Koordinatensystems, sondern das gesuchte Objekt selbst wird in Bezug auf die anderen Objekte der Umgebung mental lokalisiert. Diese Perspektive nennt man auch exozentrisch.

Raumverstehen

Mit den ersten Schritten ist der Mensch gewöhnt, die Welt, in der er lebt, zu erkennen. Wir brauchen dieses Wissen für unsere alltäglichen Aktivitäten, wie z.B. das Essen, Spazieren, Lernen, Einkaufen. Diese Wissensbasis nennt man Alltagswissen (engl. Common-Sense Knowledge). Und das Raumverstehen ist das Wissen über die physische Umgebung, das man üblicherweise unbewusst erwirbt und benutzt, um die Route von einem Ort zu dem anderen zu finden und diesem zu folgen und um die relativen Positionen der Objekte abzuspeichern. Die heutzutage existierenden Computer-Raummodelle unterstützen das Common-Sense Knowledge nicht komplett, weil sie am meisten auf dem Kartesischen Koordinatensystemen basieren. Das entspricht aber dem mentalen Raumverstehen nicht - Menschen denken in ihrem alltäglichen Leben nicht mathematisch, sie benutzen die Methoden der so genannten qualitativen Raumkognition, die eher auf Größen und Relationen, anstatt von absoluten Werten, basiert. Nach Freksa (freksa2000) ist bei dem qualitativen Wissen über die Objekte gemeint, dass Menschen nicht die physikalische Messparameter eines Objektes kennen, sondern im Vergleich mit einer anderen Entität der Umgebung das Objekt beschreiben können, z.B. höher, länger usw. Deswegen ist es sehr wichtig, bei der Erstellung eines Raummodells die Brücke zwischen dem mentalen Raumverstehen und den formalen Modellen des Raumes aufzubauen. Und wie überhaupt verstehen und speichern Menschen die räumlichen Informationen. Dafür wurden die so genannten mentalen Karten definiert (tolman48).

Mentale Karten

Wenn Menschen nach einem Weg zu dem bestimmten Objekt in der Nähe gefragt werden, dann rufen sie sofort unbewusst die so genannte kognitive oder mentale Karte im Gedächtnis auf, die die visuelle Darstellung der Umgebung enthält. Diese Karte formen wir für uns selbst, wenn wir uns oft in einer Gegend aufhalten und uns die Details der Umgebung merken. So wurde von Kevin Lynch(lyn60) eine Arbeit durch-

geführt um zu analysieren, wie die Objekte im menschlichen Gedächtnis abgespeichert werden. Dafür haben die Probanden Skizzen ihrer Stadtteile angefertigt und danach wurden sie befragt. Dabei wurde bewiesen, dass die Grundelemente einer Stadt auch die Bestandteile der mentalen Repräsentation sind. So wurden hauptsächlich 5 wichtige Komponenten herauskristallisiert: Wege, Wegunterteilungen (Kreuzungen), Stadtteile, Landmarken und Abgrenzungen. Diese Komponenten sind zentral in der Frage der Raummodellierung und -repräsentation. Die Mentale Karte ist also ein verkleinertes Modell einer Umgebung und enthält die räumliche Information über die enthaltenen Objekte wie z.B. die Entfernung der Objekte von einander, Relationen zwischen denen usw. (evans80). Ein wichtiger Aspekt in der Frage der mentalen Karten ist die Fähigkeit des Menschen aus der zweidimensionalen Abbildung des Raumes die Dreidimensionalität zu rekonstruieren. Bei diesem Prozess stellt man sich in den Mittelpunkt des virtuellen Raumes und betrachtet die Umgebung aus der egozentrischen Perspektive.

Menschliche Wegsuche

Das Ziel der Forschung im Bereich der menschlichen Wegsuche ist zu verstehen, wie die Menschen nach dem Weg in der physikalischen Welt suchen, welche Mittel sie dafür nutzen, wie sie die Richtungsvorschriften wahrnehmen und wie die verbalen und visuellen Möglichkeiten diese Suche beeinflussen. Menschen brauchen erstens das Raumwissen, das auf dem Wissen von Landmarken, Routen und der Übersicht basiert. Und zweitens verschiedene kognitive Fähigkeiten, wie z.B. Erkennung der Objekte. Dieses vorhandene Wissen macht die Wegsuche erfolgreich. Die kognitiven Karten oder mentalen Karten bieten uns beispielsweise dieses Wissen. Lynch (lyn60) behauptet, dass menschliche Wegsuche auf der permanenten Wahrnehmung und Organisation externer Hilfsanweisungen aus der Umgebung basiert. Es bleibt aber immer noch zu erörtern, wie ein Mensch unterschiedliche räumliche Situationen versteht oder anders ausgedrückt, wie der Mensch die Raumobjekte bei der Suche nach einem bestimmten Weg strukturiert und versteht. Um diese Frage zu beantworten ist es jedoch wichtiger, den Prozess der Wegsuche selbst zu analysieren und nicht das Endergebnis, was mit unter anderem das Hauptanliegen der in (raub97) beschriebenen Arbeit war.

Die, bereits erwähnten, mentalen Karten haben eine wichtige Bedeutung für Menschen, wenn es um die Suche eines Weges geht. Die mentalen Karten können aber erst dann genutzt werden, wenn die Person die Umgebung kennt. Bei der Navigation durch den Flughafen, den der Fußgänger vielleicht bisher nur ein Mal besucht hat, muss

man auch ohne mentale Karten eine optimale Navigationshilfe anbieten können. Ein weiterer Aspekt ist die mögliche Veränderung der Infrastruktur der Objekte in dem Flughafen. Wenn die Person eine mentale Karte des Gebäudes im Gedächtnis aufrufen kann -dadurch dass sie hier schon ein mal gewesen ist- kann es passieren, dass die bereits bekannten Objekte ihre Lage gewechselt haben oder gar nicht mehr in diesem Flughafen vorhanden sind. Das Ziel bei der Entwicklung eines Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung ist es, die Navigation in einer unbekanntem Gegend so anzubieten, dass die mentalen Karten nicht benötigt werden.

2.2 Landmarken

Wenn man über eine intuitiv benutzbare und verständliche Navigation redet, dann ist der Begriff der Landmarken ein wichtiges Hilfskonzept für die Realisierung eines Fußgängeravigationssystems. Der Mensch braucht klare Hinweise, um zu einem Ziel zu gelangen. Die Navigation für Fußgänger stellt aber ganz andere Anforderungen als ein Autonavigationssystem, was die Benutzbarkeit betrifft. In seiner Arbeiten (lyn60) behauptet Lynch, dass der Mensch die Landmarken als Anhaltspunkte benutzt, um die mentalen Karten eines Raums zu beschreiben und zu strukturieren.

Es gibt verschiedene Definitionen von Landmarken, die auch deren Bedeutung beeinflussen. Manchmal werden alle wichtigen Objekte am Anfang und am Ende der Route, sowie bei der Richtungsänderung und auf den kritischen Entscheidungspunkten wie Kreuzungen, als Landmarken bezeichnet (skubic04). Die Landmarken sind also nach Elias (elias08) die prägnanten und einzigartigen Objekte, die im Vergleich mit den Entitäten in der Nachbarschaft deutlich markanter sind. Die Bestimmung von Landmarken ist kontextabhängig, dabei kann z.B. „das rote Gebäude“ bei Dunkelheit nicht mehr als Landmarke identifiziert werden. Landmarken in der Navigation dienen der Identifizierung der Auswahlpunkte, wo die Entscheidungen getroffen werden, der Identifizierung der Start- und Zielpunkte. Sie bestätigen den Routenfortgang, erleichtern die Orientierung. Die Umgebung ohne Landmarken wie z.B. ein Labyrinth desorientiert und erschwert die Navigation für einen Menschen. Bei der Navigation gibt es 2 Varianten, wie die Landmarken vom Fußgänger benutzt werden. Erstens sind die Landmarken erinnerungswerte Objekte, die entlang der Route gesammelt werden, teilweise auf den neuen und schon bekannten Punkten der Route, wo die Richtung geändert wird. Zweitens helfen sie uns, den räumlichen Zusammenhang zwischen den Objekten und den Pfaden(Wegen) abzubilden(s.Abb.:1).

Ein Objekt kann als eine Landmarke wegen seiner Bedeutung, Benutzbarkeit oder



Abbildung 1: Mögliche Objekte als Landmarken, die entweder entlang der Route platziert sind (Monumente, Beschilderung), Entfernt von der Route (Uhr auf diesem Beispiel), oder ein einzigartiger Teil der Route selbst (Rolltreppe). Quelle: (millo07)

wegen seiner kulturellen, historischen Signifikanz bezeichnet werden.

Typisierung der Landmarken

Die Typisierung nach (Lit 40) ist eine Möglichkeit, Landmarken zu klassifizieren. Dabei betrachtet man drei Typen von Landmarken: *visuell*, *kognitiv*, *strukturell*.

Visuelle Landmarken sind die Objekte, die wegen ihrer visuellen Erscheinung erinnerungswert sind. Die Objekte kontrastieren mit den anderen in Form, Größe, Alter etc.

Eine *kognitive Landmarke* ist das Objekt, dessen Bedeutung in der bestimmten Umgebung im Vordergrund steht. Diese Objekte sind kulturell oder historisch wichtig. Z.B.: „Gehen Sie an der Nationaluniversität vorbei“. Es wird angenommen, dass Menschen die Umgebung kennen, um die kognitiven Landmarken benutzen zu können.

Strukturelle Landmarken werden wegen ihrer guten Erreichbarkeit, wegen der wichtigen und bekannten Lage des Objektes in der Umgebung bestimmt.

Automatische Identifikation der Landmarken

Zahlreiche Forschungen und Interviews mit Testpersonen geben dem Entwickler genug Informationen, nach welchen Kriterien die Objekte als Landmarken definiert werden können. Leider gibt es keine Technologie zur automatischen Sammlung und Erkennung von Landmarken. Immer noch werden die Landmarken für eine bestimmte Umgebung nach dem empirischen Ansatz ausgewählt. Die Fußgänger geben die hilfreiche Information dazu und nennen intuitiv die markanten Objekte der Umgebung. Die Arbeit

von Tim Braun (braun05) befasst die Problematik der automatischen Erkennung von Landmarken mit Hilfe von Videokameras für die Steuerung der Roboter. Es ist möglich, die künstlichen Landmarken zu identifizieren. Dabei handelt es sich um die Objekte, die extra in die Umgebung integriert wurden, um als Navigationshilfe zu agieren. Leider ist die automatische Bestimmung der natürlichen Landmarken immer noch nicht realisiert.

2.2.1 Visualisierung der Landmarken auf den Karten

Die Bedeutung der Landmarken ist bekannt. Dabei stellt sich die Frage, wie man die Landmarken für den Benutzer verständlich darstellen kann. An dieser Problematik forschen Designer, Kartographen und Psychologen. Die heutzutage verfügbaren Navigationssysteme (sowohl für Fußgänger als auch für Autos) basieren auf der kartographischen Darstellung der Umgebung. Elias, Pälke und Kuhnt (elias06) haben aus einer Reihe der Möglichkeiten, die Landmarken auf Karten darzustellen, hilfreiche Design-Vorschriften für die Visualisierung definiert .

Die in diesem Kapitel vorgeschlagenen Design-Prinzipien beschreiben die Möglichkeiten der Visualisierung von Landmarken im Outdoor-Bereich. Für die weitere Ausarbeitung der passenden Visualisierungsmethoden für die Landmarken innerhalb eines Gebäudes werden in der vorliegenden Arbeit Modelle auf die Indoor-Darstellung abgebildet (s.Kapitel 6 und 5)

Die Darstellung der Landmarken kann dem Benutzer in drei verschiedenen Formen angeboten werden: verbale Instruktionen durch Sprachausgabe, Textbeschreibung, graphische(kartenähnliche) Darstellung der Umgebung. Davon wird die graphische Darstellung am besten wahrgenommen. Als Landmarken im Outdoor-Bereich benutzt man Gebäude, Brücken, Vegetation. Die hier beschriebenen Designvorschläge beziehen sich auf die Strukturierung und weitere Visualisierung der Gebäude für die optimierte Wegbeschreibung. Für diese Zwecke wurden erstmals die Objekte(Gebäude) in 4 verschiedene Gruppen aufgeteilt, wie sie von den Benutzern wahrgenommen und beschrieben werden:

- Geschäftsgebäude der Handelsketten, in der Tabelle 5 *Shop-Name* genannt
Das sind die Objekte, die selbst nach dem Namen identifiziert werden können(z.B. H&H, McDonalds). Die Benutzbarkeit solcher Landmarkenvisualisierungen hängt aber vom Bekanntheitsgrad des Gebäudes bei dem Benutzer ab.
- Geschäftsgebäude eines besonderen Nutzungstyps (Hotel, Apotheke, Universität etc.), in der Tabelle 5 *Shop-Function* genannt

- Gebäude mit einer speziellen Funktion (Anzeiger-Hochhaus, Regenwaldhaus) oder nach dem eigenen Namen bekannte Gebäude (Regenwaldhaus), in der Tabelle 5 *Function/Name* genannt
- Gebäude mit markanten visuellen Eigenschaften (das große, grüne Haus), in der Tabelle 5 *Visual Aspekt* genannt

Die prozentuale Aufteilung der jeweiligen Gebäudetypen hängt naturgemäß von dem Typ des Stadtteils ab. In Gewerbegebieten sind z.B. die bekannten Handelsketten nicht oft zu sehen. Durch Tests wurde bewiesen, dass die Visualisierung der Landmarken anhand der Namen der Handelsketten, wenn sie vorhanden sind, von dem Fußgänger besser und schneller wahrgenommen werden als die komplexe Beschreibung der visuellen Aspekte.

Das Abstraktionsniveau der Darstellung spielt für die Wahrnehmung der Umgebung vom Benutzer eine entscheidende Rolle. Das Ziel des Entwicklers dabei ist, die Landmarken so zu visualisieren, dass sie von dem Fußgänger sofort erkannt und auf der Karte gefunden werden können. Das heißt unter anderem auch, dass keine überflüssigen Information über die Objekte der Karte aufzunehmen sind, damit sie nicht die Aufmerksamkeit des Benutzers über Gebühr in Anspruch nehmen. Für die Visualisierung von Objekten des gleichen Typs soll möglichst eine Art der Abstraktion ausgewählt werden, die die einheitliche Form der kartographischen Repräsentation gewährleistet. Als Entwickler kann man die Landmarken wie markante oder kulturell wichtige Gebäude dem Benutzer in verschiedenen Formen repräsentieren, sei es ein realistisches und aktuelles Bild des Objektes oder eine Textbeschreibung. Auf der Abbildung 2 ist die Skala der Abstraktion von möglichen Darstellungsarten von solchen Gebäuden dargestellt. Eine Variante die für den Benutzer leicht verständlich ist, ist die Visuali-



Abbildung 2: Abstraktionsgrade der Visualisierung. Quelle: (elias06)

sierung der Landmarken mit den Logo-Icons. Die Icons können sowohl die Namen der bekannten Handelsketten (z.B. H&M) als auch die Funktionen der Gebäude (z.B. ein Apotheke-Zeichen) darstellen.

Graphische Darstellung der Landmarken als Fotos oder Zeichnung, also die Visualisierung mit hohem Detaillierungsgrad, bieten dem Benutzer eine leicht verständliche Abbildung der Realität. Solche Objekte werden schnell von dem Fußgänger auf der kognitiven Ebene aus der Umgebung auf die Karte projiziert (s. Abb. 3). Es fragt sich wieso man aber die alternativen Formen der Visualisierung ebenfalls betrachten müsste und warum die gesamte Karte mit der Landmarkendarstellung dieser Art nicht komplett gestaltet werden kann. Erstens, benötigen die Zeichnungen auf dem Monitor viel mehr Platz als die Icons oder Skizzen, was für kleine Bildschirme oder für Bildschirme mit niedriger Auflösung kritisch sein kann. Zweitens, wie schon erwähnt, sind die Icons für die Visualisierung der kommerziellen Objekte eine besser geeignete Form (s. Abb.: 4) als die Fotos der Gebäude.

Tabelle 5 zeigt Richtlinien, wie die Objekte der 4 beschriebenen Typen am besten



Abbildung 3: 3D-Zeichnungen für die Visualisierung der Landmarken. Quelle: (elias06)

für den Benutzer visualisiert werden. Als „+“ neben dem Eintrag des entsprechenden Gebäudetyps sind die empfohlenen Visualisierungsarten gekennzeichnet. Sie sind auch miteinander kombinierbar. Folgende Vorschläge sind in der Tabelle 5 angeboten:

- Geschäftsgebäude der Handelsketten

Für ein Geschäft mit bekanntem Eigennamen ist die Visualisierung in Form eines Icons die einfachste und für den Benutzer verständliche Darstellung (deswegen ist die Zelle zwischen *Shop-Name* und *Icon* als „+“ gekennzeichnet). Die Zeichnung des Gebäudes selbst ist in diesem Falle nicht mehr nötig, aber wenn es sich um ein markantes architektonisches Objekt handelt, dann wäre die Skizze des Gebäudes als zusätzliche Information akzeptabel (Die Zelle zwischen *Shop-Name* und *Sketch* ist mit dem Plus-Zeichen in Klammern als eine Alternative dargestellt).



Abbildung 4: Icons für die Visualisierung der Landmarken. Quelle: (knippel03)

	Image	Drawing	Sketch	Icon	Sign	Words
Shop-Name			(+)	+		
Shop-Type	-			+	+	+
Function/Name	+	+	+			+
Visual Aspect	+	+				

Abbildung 5: Design-Matrix für die Visualisierung von Gebäude-Landmarken. Quelle: (elias06)

- Geschäftsgebäude eines besonderen Nutzungstyps
Für die Gebäude mit einem besonderen Nutzungstyp gelten die gleichen Designvorschläge (Plus zwischen *Shop(Type)* und *Icon* oder gleichwertig *Shop(Type)* - *Sign*). Falls es keine graphische Repräsentation dieses Objektes gibt, die von dem Benutzer sofort erkannt wird, ist die textuelle Beschreibung zu benutzen (Plus-Zeichen zwischen *Shop(Type)* und *Words*).
- Gebäude mit einer speziellen Funktion
Oft sind die Gebäude mit einer speziellen Funktion durch ihre visuelle Eigenschaften in der Umgebung markant: die Silhouette der Kirche, die Fassade der Universität etc. Deswegen muss der Benutzer eine Möglichkeit bekommen, das Objekt durch sein visuelles Erscheinungsbild auf der Karte erkennen zu können (Plus für die Zellen *Function/Name* - *Sign* - *Drawing* - *Sketch*. Die drei Arten der Darstellung gehören zu dem niedrigen Abstraktionsgrad und werden gut von den Menschen erkannt). Falls der Name des Gebäudes eine entscheidende Rolle für die Erkennung spielt (z.B. zwei Kathedralen der gleichen Epoche befinden sich nebeneinander), kann die Darstellung des Objektes zusätzlich mit der Textbeschreibung erweitert werden (Plus für *Function/Name* - *Words*).

- Gebäude mit markanten visuellen Eigenschaften

Falls die visuellen Attribute des Gebäudes wichtige Merkmale sind und es sich um die *Visuellen Landmarken* handelt, dann darf man auf die detaillierte Darstellung wie Foto oder Zeichnung nicht verzichten. Dabei muss man die Textbeschreibung möglichst vermeiden, weil die Darstellung auf dieser niedrigen Abstraktionsebene nicht den hohen kognitiven Ansprüchen bei der Lösung der räumlichen Aufgaben entspricht.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Navigationshilfe für den Indoor-Bereich entwickelt. Deswegen sind die spezifischen Anforderungen an die Objekte, die als Landmarken ausgewählt werden, zu beachten. Die Regeln, nach denen die Objekte der Umgebung als Landmarken definiert sind, gelten für den Indoor- wie für den Outdoor-Bereich. In einem Flughafengebäude findet man viele Objekte mit einer gewissen Funktionalität, die auch in einem Outdoor-Bereich vorhanden sind (z.B. Läden, Apotheken etc.). Das heißt, die oben beschriebenen Prinzipien der Visualisierung der Landmarken kann auch für diese Arbeit auf den Indoor-Bereich übertragen werden. Dafür betrachtet man die für den Flughafen typischen markanten Objekte als Landmarken und teilt sie in die visuellen, kognitiven und strukturellen Landmarken.

2.3 Repräsentation der räumlichen Objekte

Wenn es um die Darstellung der räumlichen Modelle geht, sei es Karten oder die konkreten Objekte der physikalischen Umgebung, dann brauchen die Entwickler eine Möglichkeit, die dafür benötigten Daten digital abzuspeichern und nachher dem Benutzer zu präsentieren. Deswegen sind folgende drei Schichten der Datenrepräsentation besonders wichtig:

- *Geometrie der räumlichen Objekte*

Hier handelt es sich um die geometrische Beschreibung der einzelnen Objekte der Umgebung. Je komplexer und schwieriger das Abstraktionsniveau der Objekte ist, desto aufwendiger ist die Beschreibung der geometrischen Umgebungsmodelle.

- *Taxonomie*

Die Objekte der Umgebung kann man mit der passenden semantischen Bedeutung aus der realen Welt beschreiben und danach in logisch zusammen hängende Gruppen klassifizieren. Dank der Taxonomie können die räumlichen Objekte nach ihren visuellen, kulturellen oder funktionalen Eigenschaften sortiert werden. Das erleichtert dem Entwickler die Aufgabe, die berechnete Route in eine dem Benutzer verständliche Form umzusetzen.

- ***Darstellungsschicht***

Die Daten sind in einer digitalen Form erfasst und beschrieben. Diese Information muss dem Benutzer graphisch dargestellt werden. Hier handelt es sich um verschiedenartige graphische Tools und Übersetzer, die graphische Abbildungen der Gebäude-Modelle erzeugen.

Zusätzlich wird die Darstellung der räumlichen Modelle in zwei weitere Modi unterteilt:

- ***Raster-Modus***

Die Objekte lassen sich als Raster-Modelle aus Zeilen und Spalten von Pixeln beschreiben. Man kann solche Darstellung mit der Bitmap-Rastergrafik vergleichen. Um die Position des Objektes zu bestimmen, muss implizit die Pixel-Position im Raster angegeben werden. Deswegen ist die Qualität der Darstellung von der Auflösung des Rasters abhängig. Das erhöht natürlich die Speicheranforderungen und ist ein kritischer Punkt bei der Kommunikation mit den mobilen Geräten wegen der möglichen Netzprobleme. Um die einzelnen Objekte darzustellen, werden oft statische Bilder der Umgebung benutzt (wie z.B. Satellitenbilder).

- ***Vektor-Modus***

In diesem Modus gewinnen die Daten eine gewisse Dynamik bei der Repräsentation, weil die Darstellung der Objekte nicht mehr an die statische Bilderrepräsentation gebunden ist. So kann man die Objekte leichter editieren und anpassen. Man benutzt ein Koordinatensystem und die Objekte haben ihre eigene Position in der Umgebung. Objektmodelle werden mit verschiedenen Techniken und Werkzeugen beschrieben. Falls es sich um eine primitive Datendarstellung handelt, kann ein einfaches Objekt als Punkt in der Umgebung dargestellt werden. Um die Objekte des höheren Abstraktionsniveaus anzuzeigen, werden am häufigsten Polygone benutzt.

Die folgenden vorgestellten Technologien (IFC, CityGML, EMIC) eignen sich für Datenrepräsentation der räumlichen Objekte. Sie werden mit der Perspektive der oben genannten Kriterien (Taxonomie, Geometrie, Darstellung) verglichen.

2.3.1 IFC

Bei der Entwicklung von eigenen kognitiven Raum-Applikationen und -Technologien versucht man heutzutage die Taxonomie und die Geometrie der Objekte zu integrieren. So wurde ein einheitliches System geschaffen, das die reale Welt besser darstellen kann.

IFC (Industrial Foundation Class) Data Modell (aecby08) ist eine ISO-Norm, mit deren Hilfe man alle Komponente für den Bau in Zivilprojekten definieren kann. Das IFC Data Modell befasst sich nicht nur mit materiellen Teilen eines Gebäudes wie Wände oder Türen, sondern beschreibt auch solche abstrakten Konzepte wie z.B. Zeitpläne, Aktivitäten, Flächen, Organisationen, Kosten. Alle Entitäten können verschiedene Eigenschaften wie Name, Materialien, Relationen etc. haben. IFC wird bei der Erstellung von Gebäudemodellen eingesetzt.

Die Gebäudeelemente werden in der Form der Volumengeometrie dargestellt. Öffnungen und Nischen werden als boolesche Operationen und die Abschrägungen durch Begrenzungsebenen (Clippings) beschrieben. Um die Fenster bzw. Türen darzustellen, werden die Objekte parametrisch beschreiben, das heißt die Geometrie muss berechnet werden. Objekte im Modellbereich (Kreise, Texte, Linien) sind 2D Einheiten. Für die Objekte sind verschiedene Präsentationen möglich.

Für die Darstellung der IFC-Modelle stehen die so genannten IFC-Browser zur Verfügung, mit deren Hilfe die Gebäudemodelle als die 3D Objekte gerendert werden. In (ifcbr08) findet man eine breite Palette für die Erstellung und Bearbeitung der IFC-Dateien.

2.3.2 CityGML

Der Standard (cityg) ist ein mächtiger Mechanismus für die Beschreibung der Stadtobjekte und wird von der Special Interest Group 3D (SIG 3D) nach der Initiative von Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia (GDI NRW) seit 2002 entwickelt. CityGML ist ein offenes Datamodell und ein XML-basierendes Format. Er definiert nicht nur Gebäudestrukturen, sondern auch Bodenerhebungen, Vegetationen, Wasser-Objekte, Stadtausrichtungen und vieles mehr. Er beinhaltet Generalisierungshierarchien zwischen thematischen Klassen, Aggregationen, Relationen zwischen Objekten und räumliche Eigenschaften.

Diese thematischen Informationen begrenzen sich nicht auf die Funktionalität eines Datenaustauschformates. Sie erlauben es, die virtuellen 3D (ggf. auch 2D) Stadtmodelle für die anspruchsvolle Analyse in verschiedenen Applikationen im Bereichen der Simulation, Urban Data Mining und Facility-Management anzuwenden. CityGML schließt die Lücke zwischen CAAD (Computer Aided Architectural Design) und GIS-Systemen (Geographic Information System), weil es die Möglichkeit schafft, die einzelnen Gebäudemodelle in die Stadtmodelle zu integrieren.

Die XML-Repräsentation der Raumobjekte erlaubt es, schnell und hierarchisch sor-

tiert Stadtobjekte zu erstellen. Man hat dabei die Möglichkeit, den Detailierungsgrad(s.Abb. 6) auszuwählen. Dabei bewegt man sich von der primitivsten Ebene der Objektdarstellung im Outdoor-Bereich bis zu der letzten Ebene, wo die kleinsten Elemente der Innenausstattung beschrieben werden. Die Beschreibung eines Objektes kann in verschiedenen LODs (Level of Details) dargestellt werden. So kann man z.B. für verschiedene Zwecke das gleiche Objekt in der passenden Auflösung graphisch darstellen. Dabei bleiben die Daten kompakt und die Aufgabe der Dateninterpretation liegt bei den graphischen Editoren. Heutzutage sind vielfältige Tools entwickelt, mit denen man City GML bearbeiten und interpretieren kann, z.B. *LandXplorer CityGML Viewer* (landx08). Praktische Anwendung einiger beschriebener Eigenschaften finden Sie in (kogan08).

Ein wichtiger Teil der Objektbeschreibung ist die geometrisch-topologische Model-



Abbildung 6: City GML: Multiebenenmodell

lierung(siehe (kolbe05)). Für jede Dimension existieren die geometrisch-topologische Primitiven: für die 0-Dimension - der Knoten, 1-Dimension - die Kante, 2-Dimension - die Fläche und für die 3D - der Festkörper (engl. Solid). Also bewegt man sich in der zweidimensionalen Geometrie, wo aus Punkten und Linien Flächen entstehen, die die 3D-Objekte bilden. Die Geometrie von CityGML entspricht den Prinzipien des oben erwähnten Vektor-Modus. Die materiellen Objekte der Umgebung, wie Gebäude, Räume, Brücken etc. werden am meisten mit Hilfe von Polygonen beschrieben. Im Vergleich zu dem oben erwähnten IFC Datenmodell verfügt CityGML über keine booleschen Operationen für die Beschreibung der Öffnungen und Nischen. Die Features der Objekte werden im Flächenmodell beschreiben.

Die Taxonomie oder die so genannte logische Strukturierung und hierarchisch orga-

nisierete Topologie der Objekte ist ein wichtiger Bestandteil von CityGML. Objekte gewinnen ihre Bedeutung durch zusätzliche Attribute. Diese Eigenschaften der Objekte innerhalb der Datenmodelle in CityGML erleichtern die Repräsentation der Entitäten dem Endbenutzer. Man traversiert schnell und bequem in dem Baum der Raumobjekte. Abbildung 7 zeigt einige Objekte im LoD 4 mit einem Zugänglichkeitsgraphen, der aus der hierarchischen Beschreibung des Gebäudes abgeleitet werden kann. Objekte werden durch ihre Features klassifiziert: z.B: ReliefFeature, Building, WaterBody, TransportationObject, GenericObject. Sie werden mittels verschiedenen Eigenschaften (z.B. Property, Attribute) und Relationen (z.B. BoundedBy) erweitert. In (citydi07) findet der Leser eine detaillierte Darstellung der hierarchischen Strukturierung von Objekten in CityGML.

Die wesentliche Komplexität bei der Erstellung der räumlichen Objekte in CityGML liegt an der Komplexität der XML-Schemas. Für die graphische Darstellung der Ob-

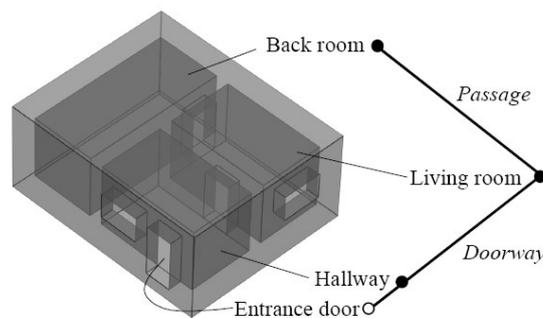


Abbildung 7: City GML: Multiebenenmodell

jekte im CityGML-Modell braucht man 3D CityGML Viewer. Der bekannteste ist der *LandXplorer* (landx08). Das Tool ermöglicht die Visualisierung der Stadtobjekte (bis zu 15000 Objekte) von allen 5 Ebenen, Transparenz und Strukturierung der Objekte. Bei der Arbeit mit dem Tool wurden aber Performanzprobleme auf LOD4 festgestellt, da die Beschreibung der Objekte der Innenausstattung eine hohe Detaillierung der Elemente beinhaltet.

2.3.3 EMIC Location and Mapping Framework

Die EMIC-Gruppe (Microsoft Innovation Center Europe) hat ein Konzept entwickelt, mit dessen Hilfe Navigations- und Tracking-Applikationen relativ einfach geschrieben werden können: Das EMIC Location and Mapping Framework (emic07). Die vorgeschlagene Programmierungsplattform bietet dem Entwickler eine breite Palette an Werkzeugen, um mit verschiedenen Arten und Quellen von Karten arbeiten zu können. Das

sind beispielsweise:

- Straßenkarten
- Topologische Karten
- Nicht lineare Verkehrskarten
- Etagenkarten eines Gebäudes
- Elektrizitätspläne und Wasserleitungsdiagramme
- Verschieden große Fabrik-, Schiffspläne etc.

Die angebotenen Features vom EMIC Mapping and Location Framework erlauben es, die Anwendungen sowohl für mobile Geräte und Handhelds als auch für stationäre PCs zu entwickeln. Das EMIC-Team macht mit ihrem Framework einen Versuch, den Prozess der Anwendungsentwicklung zu vereinfachen, so dass jede private Person und jedes Unternehmen schnell und effizient eine, den persönlichen Anforderungen entsprechende Navigationsanwendung erstellen kann. Dabei muss der Benutzer die für ihn relevante Karte in der passenden Form als Basis für die Navigation anbinden.

Die Karten werden als statische Information in JPG oder PNG Files abgelegt. Deswegen entspricht die geometrische Darstellung der räumlichen Objekte vom EMIC-Framework dem in 2.3 beschriebenen Raster-Modus. Zu jeder Karte gehört eine kurze XML-Datei, in der beschrieben wird, welche GPS-Koordinaten die Ecken der Karten besitzen. Das Framework führt die Maßstabänderung dementsprechend automatisch durch und platziert das Objekt auf der Karte gemäß den aktuellen GPS Koordinaten. Eine der Hauptideen der EMIC Plattform ist die Umschaltung zwischen verschiedenen Kartenansichten. Ein mögliches Beispielszenario: Der Benutzer geht durch die Stadt und beobachtet seine eigene Bewegung auf der Straßenkarte. Sobald das Universitätsgebäude betreten wird, wechselt auch die Karte von der Outdooransicht in eine Indooransicht. Jetzt wird die Position des Benutzers auf dem Etagenplan des Gebäudes angezeigt. Für das Tracking des Benutzers braucht man natürlich die Verbindung mit dem GPS-Empfänger.

Die Taxonomie oder die logische Strukturierung der räumlichen Objekte ist nicht Bestandteil und somit auch eine Schwachstelle der EMIC-Plattform. Die semantische Beschreibung der Objekte liegt in der Aufgabe des Entwicklers. Eine Möglichkeit zur

Realisierung dieser Aufgabe ist die explizite Beschreibung der Stadtobjekte entsprechend ihrer Raster-Position auf der Karte oder der GPS-Koordinaten. Denn dann wird manuell ein Mapping zwischen den Positionen des Objektes und seinen Eigenschaften erstellt. Die heutzutage verfügbaren Mittel der EMIC-Plattform sind für die 3D-Darstellung nicht geeignet.

Die Präsentationsebene der Plattform ist die Hauptfunktionalität des Mapping and Location Framework. Man erstellt eine eigene Applikation mit den, vom Framework angebotenen Schnittstellen. Das eigentliche Bildschirm-Objekt ist die Hauptinstanz für die Abbildung der graphischen Objekte, wie z.B. die Karte im Hintergrund, die Position des Benutzers, verschiedene markierte Points of Interest (folgend in dieser Arbeit POI genannt) etc. Automatisch wird die Bildschirmauflösung (derzeit für mobile Anwendungen) der aktuellen Position des Benutzers angepasst und das aktuelle Fragment der Karte wird angezeigt. Falls eine automatische Umschaltung zwischen verschiedenen Karten ermöglicht werden soll, muss von dem Entwickler das entsprechende Attribut geändert werden und die alternativen Kartenansichten müssen im angegebenen Verzeichnis vorhanden sein. Auf der Abbildung 8 wird eine Beispielanwendung auf Basis der EMIC Plattform dargestellt.

Im Rahmen eines Masterprojektes (napit07) an der HAW Hamburg wurde ein Prototyp eines Innenraumnavigationssystems auf Basis von EMIC entwickelt. Als Positionierungstechnologie wurde das IMAPS verwendet. Hierbei musste das Team eine Umwandlung des GPS- in die internen Koordinaten des IMAPS-Koordinatensystems vornehmen.

2.3.4 Fazit

Aus den drei erwähnten Technologien sind einige Aspekte für diese Arbeit von Interesse.

IFC ist für komplexe Stadtmodelle nicht geeignet. Zudem begrenzt es eine zukünftige Erweiterung des Systems.

EMIC ist eine hilfreiche Plattform für die Lösung der räumlichen Aufgaben, die das Tracking der Fußgänger voraussetzen, was für die aktuelle Arbeit nicht geplant ist. Ein wesentlicher Nachteil von EMIC ist jedoch, dass die Plattform keine Semantik der räumlichen Objekte integrieren lässt. Der Entwickler ist dafür zuständig, nach einem alternativen Weg zu suchen.

CityGML entspricht den Anforderungen des geplanten Systems für die technische Datenbeschreibung. Die Taxonomie der Objekte erlaubt es, den Zusammenhang und die

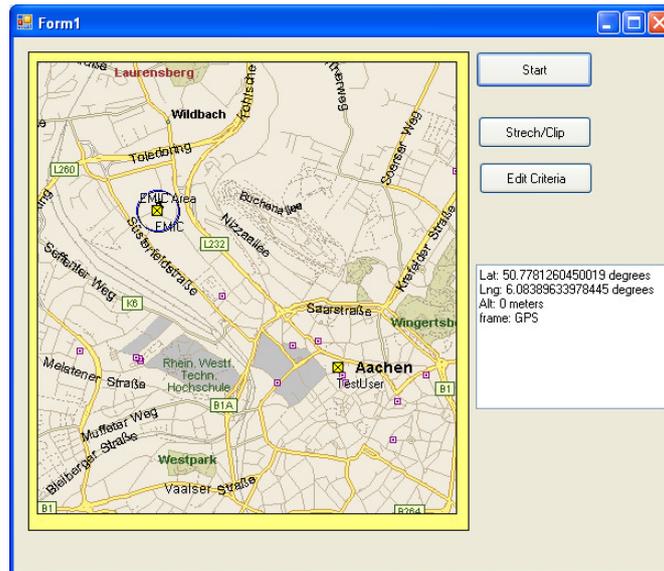


Abbildung 8: EMIC Location and Mapping Framework: Beispielanwendung

hierarchische Struktur der Entitäten zu kontrollieren und zu bearbeiten. Deswegen ist der Standard CityGML für die gesetzten Ziele sehr empfehlenswert. Die Aufgabe der Objektrepräsentation ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

2.4 Präsentationsmöglichkeiten der Navigationshinweise

Eine wichtige Frage bei der Erstellung der Fußgängernavigation ist die Überbrückung zwischen der mathematischen Darstellung der Route und einer, dem Benutzer verständlichen Wegbeschreibung. Derzeit existieren verschiedene Technologien, um die Raum-Information klar und verständlich darzustellen. Fast alle Navigationstechnologien für Fußgänger sind für mobile Geräte entwickelt, da sie unterwegs als kleine, handliche Helfer dienen sollen. Auf dieser Grundlage werden einige Gesetzmäßigkeiten und Beispiele erwähnt, die darstellen, in welcher Form die Routing-Anleitungen dem Benutzer angeboten werden. In der Arbeit (kray03) wird ein umfassender Überblick geboten und es werden dem Leser die vorgeschlagenen Konzepte vorgestellt (s.Abb.:9).

Repräsentationsarten für die Navigationshinweise (kray03)

- *Pseudo-realistische Angaben.*

Die dreidimensionalen Karten sind für den Menschen eine natürliche Abbildung der Realität. Durch die aktuelle Position des Benutzers und die ermittelte Blick- bzw. Bewegungsrichtung wird die Umgebung in der 3D Form auf dem Bildschirm dargestellt. Das geschieht exakt aus der Perspektive, die von dem Benutzer wahr-

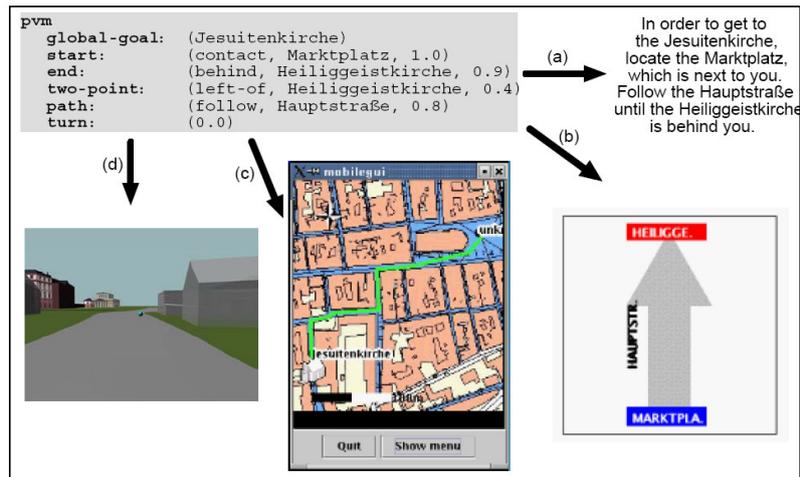


Abbildung 9: Eine preverbale Nachricht (preverbal Message) und ihre Präsentationsformen. Quelle: (kray03)

genommen wird. Erweitert man die graphische Darstellung zusätzlich mit Navigationshinweisen, so befindet sich der Benutzer in der künstlich geschaffenen Augmented Reality (augmre07). Die Orientierung mit Hilfe der Landmarken ist in einer 3D-Visualisierung, die der realen Welt ähnelt, effektiver und intuitiv schneller verständlich, als auf einer symbolischen zweidimensionalen Darstellung. Die Anforderungen an die Raummodellierung sind jedoch sehr hoch, da die Relationen, Positionen und Maßstäbe der Objekte mit der Realität übereinstimmen müssen. Hier muss man mit hohen technischen Anforderungen an das Gerät rechnen, damit das Rendering der Objekte ohne sichtbare Störungen erfolgen kann.

- Die Ausgabe erfolgt in der *natürlichen Sprache* und ist abhängig von der Situation oder der Geräteausrüstung als Text oder Sprachsynthese. Dabei verzichtet man auf mehrere Fragmente der Route, da nicht alle Informationen dargestellt werden müssen und zu detaillierte Hinweise den Benutzer möglicherweise lediglich verwirren würden. Abhängig vom Grad der Umgebungskenntnis oder -vertrautheit kann der Benutzer entweder den Informationsstrom reduzieren oder sich die gesamte Information ausgeben lassen, wenn die Stadt beispielsweise unbekannt ist. Falls die Geschwindigkeit der Benutzerbewegung hoch ist, dürfen nur kurz vor dem Abbiegen Hinweise ausgegeben werden.
- *Zweidimensionale Skizzen* für die Routendarstellung. Diese Möglichkeit ähnelt den üblichen Autonavigationssystemen ohne Darstellung der Karten (s. Abb. 9 (b)). Vordergründig wird hier auf dem Weg zum Ziel auf zusätzliche Information verzichtet. Die Richtung wird mit einem Pfeil angezeigt und durch die Messung

der Bewegungsrichtung angepasst. Der Hauptvorteil, nämlich der hohe Abstraktionsgrad der Informationsdarstellung, ist gleichzeitig auch ein negativer Faktor. So muss nämlich eine Person auf eventuell nützliche Informationen verzichten, die sie vielleicht effektiver und schneller zum Ziel hätten führen können.

- *Zweidimensionale Karten.*

Die am meisten verbreitete Methode der Informationsdarstellung bei den Routingaufgaben, ist die zweidimensionale Karte der Umgebung, die auch Zusatzangaben zu der Umgebung liefert. Während der Bewegung wird die aktuelle Position des Benutzers markiert. Um dem Fußgänger die geistige Abbildung der Realität auf die 2D-Interpretation zu erleichtern, müssen die nahe gelegenen Objekte angezeigt werden. Dafür braucht man einen richtig detaillierten Zoom-Faktor auf dem Monitor. Falls die aktuelle Position nicht bekannt ist, müssen auf der Karte die Landmarken als Orientierungspunkte platziert werden. Eine effektive Methode ist die Kombination der 2D-Skizzen der Richtung mit einer dynamischen zweidimensionalen Karte. So kann sich der Benutzer, während er sich auf die Bewegungsrichtung konzentriert, auch die nahe liegenden Objekte auf der 2D-Karte merken.

- *Multimodale Angaben*

Die bereits beschriebenen Methoden der Ausgabe von Navigationsangaben, wie die Pseudo-realistischen Angaben, die Sprachliche Ausgabe, Zweidimensionale Skizzen und Zweidimensionale Karten werden miteinander kombiniert, aber nicht alle möglichen Kombinationen sind effizient und für den Benutzer akzeptabel. Dadurch, dass die zweidimensionale Darstellung der Karte auf einer relativ abstrakten Ebene der Visualisierung liegt, ist es sinnvoll, die 2D-Modelle mit der sprachlichen Ausgabe zu kombinieren. So fügt man wichtige zusätzliche Informationen mit ein, z.B. die rechtzeitige Meldung, wann die Person abbiegen muss (textuell oder als Sprachangabe). Der Benutzer will aber oftmals nicht passiv bleiben und möchte die Ausgabe kontrollieren. Das ist beispielsweise sehr sinnvoll, wenn der Benutzer eine bereits gesprochene Sprachangabe noch einmal hören möchte, wenn die Anweisung akustisch nicht verstanden oder aufgrund von anderen Störfaktoren nicht wahrgenommen werden konnte. Daher ist eine zusätzliche textuelle Beschreibung der Hinweise nötig, die der Fußgänger dann bei Bedarf wiederholt lesen kann.

2.5 Fazit

In dem Kapitel Grundlagen wurden die Basis-Konzepte vorgestellt, die die theoretischen Aspekte der vorliegenden Arbeit erläutern. Das Ziel war es, die Technologien zu benennen, die für die weitere Realisierung des Navigationssystems benötigt werden.

Dabei wurden die Aspekte der menschlichen Orientierung in der Umgebung analysiert. Dieses Wissen benötigt man, um ein System zu erstellen, welches den Erwartungen der potentiellen Benutzer entspricht. Die Direktion zu dem Ziel muss den Modellen der menschlichen Navigation möglichst nahe kommen. Dabei muss die vorgeschlagene Navigationshilfe ohne mentale Karte der Umgebung den Fußgänger effizient zum Ziel führen können. Bei dem Vergleich der möglichen Arten der graphischen Darstellung von Landmarken auf den Karten wird eine optimale Variante für diese Arbeit ausgewählt, um die gesuchten Objekte graphisch auf den Monitoren des Navigationssystems anzuzeigen.

Der Begriff der Landmarken ist heutzutage ein unabdingbarer Teil der Navigation - sowohl im Indoor- als auch im Outdoor-Bereich. Die Vorstellung davon, welche Objekte der Umgebung Landmarken sind und wie sie bestimmt werden, wird benötigt, um die Navigationsanzeigen an den markanten Stellen effizient platzieren zu können. Die Landmarken sind dafür da, die potentiellen Entscheidungspunkte der Umgebung zu definieren und sie dementsprechend während der Führung zum Ziel zu betonen.

Die Repräsentation der räumlichen Objekte ist eher eine technische Komponente bei der Erstellung einer Navigationstechnologie. Aber die verschiedenartigen Möglichkeiten, die Objekte im Raum darzustellen, zu strukturieren und zu verwalten sind ein wichtiger Aspekt eines Navigationssystems. Dadurch, dass die Ziele dieser Arbeit die konkrete technische Realisierung nicht beinhalten, wird diese Komponente auch nicht weiter ausgeführt.

Da die unterschiedlichen Varianten die Navigationshinweise dem Endbenutzer darzustellen, bereits aufgezeigt wurden, wurde im nächsten Schritt aus den vorgeschlagenen Darstellungsmöglichkeiten eine passende Form ausgewählt und im Rahmen dieser Arbeit bei der Navigation eingesetzt. Hierbei beobachtet der Benutzer die Umgebung aus der egozentrischen Perspektive und die Navigationshinweise werden als zweidimensionale Skizzen (Richtungsanzeigen) dargestellt.

3 Verwandte Arbeiten und existierende Konzepte

Die auf dem Markt verfügbaren Navigationssysteme für Fußgänger sind keine Alternative zu dem, für diese Arbeit geplanten System, deswegen wäre es sinnlos, sie hier als Beispiel zu nehmen. In dem folgenden Abschnitt werden Projekte vorgestellt, die für die Realisierung der geplanten Funktionalität dieser Arbeit von Nutzen sind. Diese Konzepte sind als Vergleichsbasis interessant, weil sie die Aspekte der zu lösenden Aufgaben abdecken.

3.1 OntoNav

Das in (anagn05) beschriebene Navigationssystem gibt dem Leser eine praktische Vorstellung davon, wie die Grundlagen der Graphentheorie für die Navigation der Fußgänger eingesetzt werden können. Dieses Indoor-Navigationssystem ist von Bedeutung, da nicht nur die geometrische Kalkulation bei der Routenerstellung betrachtet wird, sondern auch die semantischen Aspekte der Umgebung, in der der Fußgänger sich bewegt. Aus der architektonischen Perspektive besteht OntoNav aus drei Komponenten und den persistenten Daten (s.Abb.: 10):

- ***Navigation Service(NAV)***

Die Komponente ist das eigentliche Interface zwischen dem System und dem Nutzer. Sie bekommt als Eingabe die Navigationsanforderungen und liefert als Antwort gegebenenfalls eine gültige Route, die den Benutzerpräferenzen entspricht.

- ***Geometric Path Computation Service(GEO)***

Diese Komponente ist für die eigentliche Berechnung der Route zu dem Ziel zuständig. Auf dieser Ebene werden aber die Präferenzen des Benutzerprofils noch nicht betrachtet. Zunächst werden alle vorhandenen Routen berechnet.

- ***Semantic Path Selection Service(SEM)***

Hier wird die Hauptfunktionalität des Systems realisiert. Aus den vom GEO generierten Routen wird eine ausgewählt, die den vordefinierten Regeln und den im Benutzerprofil beschriebenen Eigenschaften entspricht. Das können beispielsweise die physikalischen Fähigkeiten des Benutzers oder gewünschte Arten der Ausgabe von Navigationshinweisen (animierte Navigation für Kinder, verbale Ausgabe für blinde Fußgänger usw.) sein.

Um die semantische Bedeutung der Gebäudeteile darzustellen, wurde die *Indoor Navigation Ontology* entwickelt (s.Abb.: 11). Diese dient in erster Linie der hierarchischen

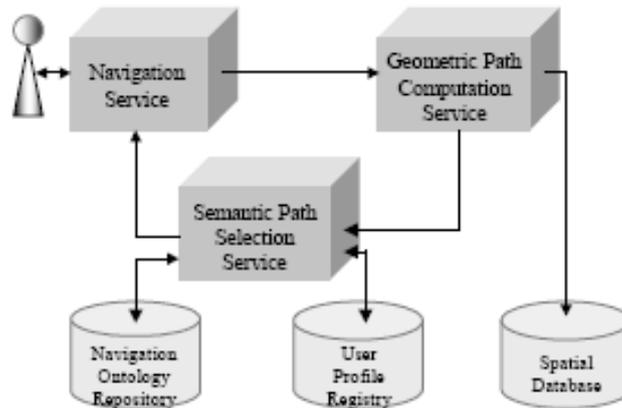


Abbildung 10: OntoNav: Ein semantisches Navigationssystem

Strukturierung der Objekte. Jedes Objekt wird mit mehreren Attributen beschrieben, wie z.B. Erreichbarkeit für Behinderte. Auf Basis dieser Information werden die unpassenden Routen aus der gesamten Liste entfernt. Mit Hilfe der logischen Operationen werden die Routen semantisch traversiert. Beispiel für die logischen Regeln:

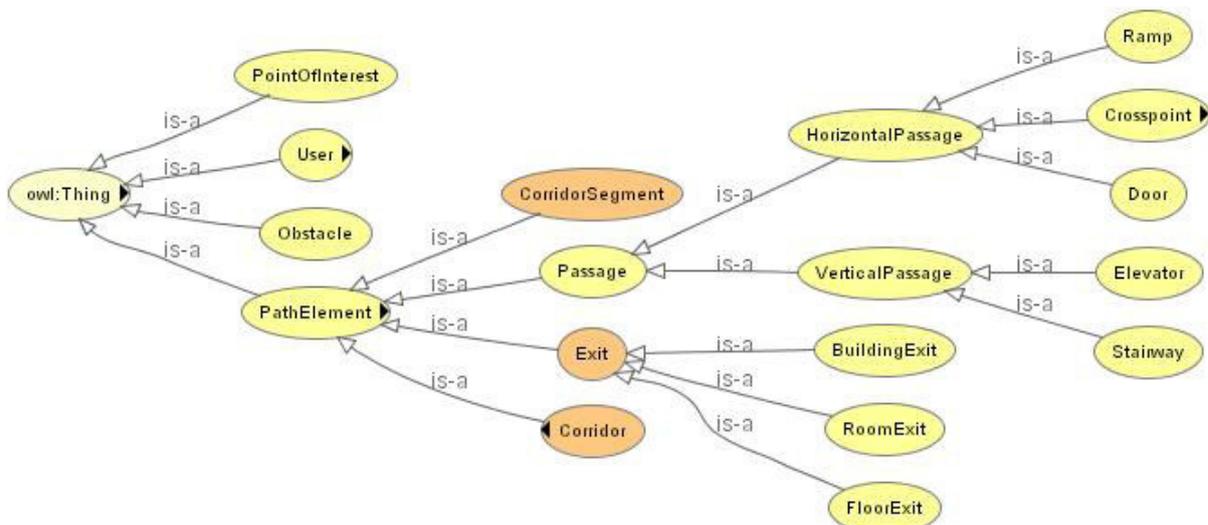


Abbildung 11: OntoNav: The Indoor Navigation Ontology

- Falls der Benutzer U ein Kind ist (sein Alter kleiner gleich 12) und der Pfad P ein Element X enthält, für welches das System visuelle/ graphische Beschreibungen hat, dann füge das Element X zu der Liste der möglichen Wege hinzu.
- Falls der Benutzer U blind ist und der Pfad P ein Element X enthält, für welches das System eine auditive Beschreibung hat, dann füge das Element X zu der Liste der möglichen Wege hinzu.

3.2 Utopian

An der Universität Münster arbeitet man derzeit an dem Projekt *Utopian* (The User-Oriented Pedestrian Navigation Service(utopi07)), im Rahmen dessen die Navigation der Zukunft entwickelt wird. Dabei handelt es sich um die Fußgängernavigation sowohl im Outdoor- als auch im Indoor-Bereich. Als Positionierungstechnologie innerhalb des Gebäudes verwendet man Infrarot-Sensoren, für die Navigation im Outdoor-Bereich das GPS. Die vorrangigen Ziele sind nicht nur dem Benutzer eine optimale Route anzubieten, sondern auch das System in Rettungsszenarien oder bei der Navigation in einem Flughafen eingesetzt zu können.

Navigation entsprechend der Benutzerpräferenzen

Auf dem heutigen Stand wird die Navigationshilfe des Systems mit den aktuellen gastronomischen Angeboten entlang der Route verbunden. So wird dem Benutzer die Möglichkeit geboten, nach dem Lieblingsgetränk auf dem Weg zum Ziel Ausschau zu halten. Auch wenn der Name des Cocktails nicht bekannt ist, sollte das keine Schwierigkeit darstellen: Die Zutaten werden vom Benutzer eingegeben und der Server sucht nach dem passenden Lokal, in dem das Getränk serviert wird und darüber hinaus noch zu moderaten Preisen. Für die logische Filterung und Bearbeitung der Benutzerwünsche werden die verschiedenen Technologien aus dem Bereich semantischer Web Technologien genutzt:

- OWL-DL (Web Ontology Language at Description Logic Level)
 - Protégé Editor für Ontology Engineering
 - OWL-API für Ontology Processing in Java
 - Fact ++ reasoner für die Überprüfung der ontologischen Übereinstimmung während des Ontology Engineering
- Ontologische Untersuchung via Java

Durch den Einsatz der Ontologie in Utopian ist die automatische Überprüfung der Konsistenz während der Dateneingabe auf Basis der Regeln möglich. Die Spezifikation der Abfrage ist intuitiv und basiert nicht nur auf den Labels. Die Eingabe per Protege ist für den Benutzer angenehmer, weil sie taxonomisch und nicht tabellarisch ist.

Navigation auf Basis der Landmarken

Die Objekte auf den elektronischen Karten, die von dem Server auf die mobilen Geräte

der Benutzer geladen werden, sind mit zusätzlichen Attributen, wie z.B. Größe, Form und Farbe ausgestattet. Nicht alle Objekte der Karte lassen sich so detailliert beschreiben. Deswegen sind nur die Einheiten der Umgebung mit den zusätzlichen Attributen ausgestattet, die auf den potentiellen Entscheidungspunkten liegen (z.B. auf Kreuzungen). Diese Kriterien sind für den Algorithmus der automatischen Identifizierung der Landmarken wichtig. Das System bietet die Wegbeschreibung textuell, graphisch und verbal an. Die Bilder von Landmarken kann man sich sowohl tagsüber als auch in der Nacht anschauen, da Stadtobjekte aufgrund der Illumination zu verschiedenen Tageszeiten anders aussehen können.

Zusatzinformation

Das System bietet die Möglichkeit an, die aktuelle meteorologische Information der Region auf dem mobilen Gerät des Benutzers darzustellen. Dafür werden die Daten der meteorologischen Station des Instituts für Landschaftsökologie abgefragt. Die Information wird jede Minute aktualisiert.

3.3 SemWay

Wissenschaftler von Salzburg Research realisieren gemeinsam mit der TU Wien sowie einigen Firmenpartnern, ein Projekt, welches die Fußgängernavigation mittels der Landmarken semantisch auszustatten soll, damit die Wegbeschreibungshinweise klar und verständlich für die Benutzer definiert sind. Dieses semantische Navigationssystem, das derzeit entwickelt wird, trägt den Namen *SemWay*(semway08). Dabei versuchen die Entwickler die Theorie des menschlichen Orientierens (s. Kap. 2.1) praktisch umzusetzen und in das fertige System zu integrieren. Wie im Kap. 2.2 erwähnt wurde, ist die automatische Sammlung der Landmarken immer noch nicht möglich. Daher wurde rein auf Basis der Tests in der realen Umgebung festgestellt, welche Objekte die potentiellen Landmarken sind. Zehn Testpersonen wurden beauftragt, die Navigationsaufgaben für zwei vordefinierte Routen zu lösen. Auf den Entscheidungspunkten entlang der Route mussten die Probanden stehen bleiben und die Umgebung beschreiben. Die Ergebnisse der Befragung dienten als Basis für die weitere Forschung und Entwicklung, weil sie die Möglichkeit gaben, die semantischen Prozesse, die im Gehirn des Menschen ablaufen, abzuleiten. Dabei wurden zwei wichtige Konzepte als Basis für die Forschung benutzt. Das erste ist *Image Schemata*(raub97), die die Wahrnehmung der Umgebung unabhängig von der Sprache interpretieren kann. Die befragten Personen beschreiben die Objekte der Umgebung, in der sie sich befinden. Die Anhlatspunkte im Laufe der Befragung werden aus diesen Beschreibungen identifiziert und zu den jeweiligen Ka-

tegorien zugeordnet. Befindet man sich beispielsweise innerhalb eines Gebäudes oder Parks, dann ist der „Container“ die aktuelle Komponente, die die Lage beschreibt. Sieht man unterwegs eine hohe Kirche oder einen Wolkenkratzer, dann spricht man von der „Vertikal“.

Das zweite Konzept ist *Basic Level*, in dem die Sprache der Testperson gebraucht wird. Hier versucht man die Objekte der Umgebung zu kategorisieren. „Pferd“ landet z.B. in die Kategorie „Tier“. Jedoch hängt der Erfolg der subjektiven Kategorisierung der Gegenstände davon ab, wie sehr man mit einer Sache vertraut ist. Die schwierigste Aufgabe der Entwickler liegt darin, die Daten auszuwerten. Dann ist geplant, eine Textausgabe auf Basis der gewonnenen Information auszugeben. Als weitere Ziele wurden auch die sprachliche und die graphische Ausgabe anvisiert. Die Entwickler konzentrieren sich jedoch nicht nur auf den Fußgänger: Als weitere Idee werden die Routen von Skifahrern untersucht, um die Strategie ihrer Orientierungsmethoden abzuleiten.

3.4 TIMMY

In diesem Abschnitt wird dem Leser eine interessante Technologie vorgestellt, in der die navigationsspezifischen Anwendungen für die Lösungen der räumlichen Aufgaben eingesetzt werden können. In der Universität Münster wird ein Projekt durchgeführt, dessen Ziel die Interaktion der mobilen Geräte und der statischen Karten ist. Der Name des Projektes ist *TIMMI*(timmy07) (*Is Mobile Map Interaction*). Die allgemein bekannten graphischen Abbildungen der Umgebung, sprich Karten, sind heutzutage noch immer weit verbreitet und bei ihren Nutzern (Fußgängern) sehr beliebt. Sie haben eine sehr hohe Auflösung und einen hohen Detaillierungsgrad der Darstellung. Die mobilen Karten geben dem Benutzer jedoch die Möglichkeit, die Route den eigenen Anforderungen anzupassen, zusätzliche Informationen zu den Objekten in der Nähe aufzurufen, Informationen zu filtern und zu bearbeiten. Als Nachteile kann man die niedrige Auflösung der mobilen Geräte und die kleinen Displays nennen. Die Hauptidee der *TIMMI*-Entwickler besteht darin, dass man mit Hilfe der Kamera, mit der heutzutage praktisch alle mobilen Geräte ausgestattet sind, die aktuelle Position des Benutzers mit Hilfe der statischen Karte berechnen kann. Die Karten sind dafür mit der entsprechenden Markierung erweitert, die auf dem Bild erkennbar ist. Die Aufgabe des Servers ist es, durch den markierungsbasierten Annäherungsalgorithmus(schoen08) die Position des Benutzers zu bestimmen und die entsprechende Kartenansicht dem Benutzer anzubieten. So erscheint ein Fragment der statischen Karte, vor dem der Fußgänger sich befindet, auf dem Display des mobilen Gerätes. Aber zusätzlich zu der Information, die man auf der statischen Karte erkennen kann, wird die Abbildung auf dem

Display mit den Landmarken erweitert, die den Präferenzen des Benutzers entsprechen (s.Abb.: 12). Man kann das Gerät entlang der statischen Karte bewegen oder auch den Zoom-Grad ändern. Die digitalen Karten werden dementsprechend angepasst. So gewinnt das Konzept der Augmented Reality wieder an Bedeutung. Für den Einsatz



Abbildung 12: Interaktion zwischen der Kamera des mobilen Gerätes und der physischen Karte

dieser Interaktionstechnologie werden folgende Szenarien von der Entwicklungsgruppe beschrieben:

- **Indoor**

Allen ist das Problem des unbekanntes Gebäudes bekannt - die Karten der Umgebung sind schwer zu verstehen. Wenn man ein Amt betritt und möchte einen bestimmten Sachbearbeiter im Gebäude finden, dann ist das System von *TIMMY* ein idealer Helfer für solche Aufgaben. Man benutzt das mobile Gerät, um auf der markierten Karte die eigene Position zu finden. Der Server liefert die digitalen Karten der aktuellen Position auf das mobile Gerät. Durch Infrarot Sensoren wird die zusätzliche Information übertragen, wie z.B Fotos der Sachbearbeiter mit den Räumen, wo man sie finden kann. Man kann die gesuchte Person im Gebäude auswählen. Dann wird auf der digitalen Karte die Route zu dem Raum als markante Linie dargestellt.

- **The Marauders Lens** (Das Projekt wurde nach dem Marauders Map aus dem Film „Harry Potter“ benannt)

Hier handelt es sich um die neue Vision des so genannten *Buddy Finders* (der Freundes-Suche), die auch auf der Technologie der Interaktion zwischen dem mobilen Gerät und der Karte basiert. Der Benutzer kann die aktuelle Karte vom Server holen. Dafür wird ein markiertes Fragment der Karte mit der Kamera des mobilen Gerätes aufgenommen. Vom Server bekommt der Benutzer die digitale Abbildung der Karte. Zusätzlich werden jedoch auch die Positionen der Freunde,

die sich in einem erreichbaren Radius befinden, angezeigt. So kann man einen Freund, der sich in der Nähe befindet, orten und gegebenenfalls auch treffen.

3.5 GAUDI

Das System GAUDI(kray05), das an den Universitäten Lancaster und Münster (Institut für Geoinformatik) entwickelt wird, ist der prototypische Entwurf eines Navigationssystems, das die Richtungshinweise auf den Bildschirmen anzeigt, die in der Umgebung platziert sind. Das System ist auf Basis der Client/Server-Architektur realisiert worden. Hier ist der Server für Aufgaben wie die Routenberechnung, Informationsverteilung und Aktualisierung zuständig. Als Clients agieren die Bildschirme, die den Inhalt der Routenberechnung anzeigen. Als Installationsumgebung wurde der Campus der Universität Lancaster ausgewählt. Das Hauptziel des Navigationssystems ist es, die Studenten und Mitarbeiter zu einem bestimmten Ziel oder Ereignis, wie beispielsweise einer Vorlesung oder einer Konferenz, zu führen. Als Information wird dem Fußgänger die Richtungsanzeige, Name der Veranstaltung und die Entfernung zu dem Ziel angezeigt (s. Abb.: 13). Die Entwickler bieten eine Möglichkeit, die Infrastruktur von Displays dynamisch



Abbildung 13: GAUDI: Display

änderbar zu halten. Das heißt, jede Veränderung der aktuellen Position eines Displays oder ein möglicher Ausfall erzwingt sofort die neue Routenberechnung anhand der neuen Daten. Dafür wird ein User Interface für die Verwaltung der Infrastruktur angeboten, damit die Knoten, nämlich die Monitore, gelöscht oder verschoben werden. Das Raummodell wird als Graph von Knoten und Kanten dargestellt. Knoten sind die Monitore des Navigationssystems. Die Routenberechnung von einem Start- zu dem bestimmten Zielpunkt der Route wird auf Basis des A*-Suchalgorithmus (luck2008) ermittelt. Die beiden Applikationen für den Client und den Server sind in Java implementiert und kommunizieren mit einander durch TCP/IP Sockets.

Auf dem Server läuft die Applikation, mit deren Hilfe die Administratoren die Start- und Zielpunkte definieren können. Auf der Abbildung 14 sieht man einen Screenshot der laufenden Applikation. Auf dem 2D-Modell des Gebäudes, das als Graph der Mo-

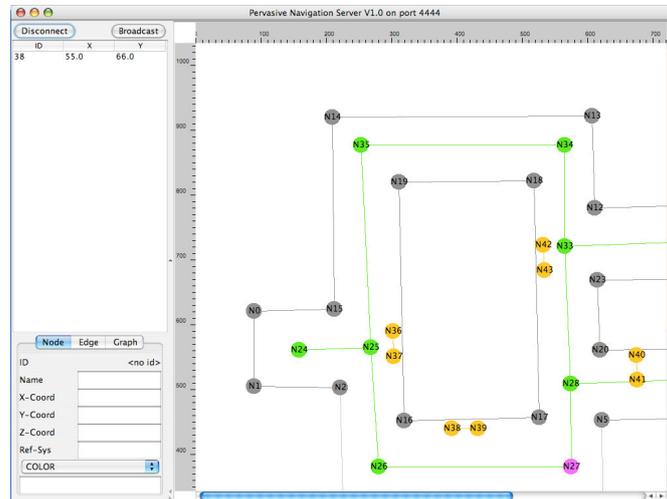


Abbildung 14: GAUDI: Administrationsinterface des Servers

nitore dargestellt wird, sind auch die möglichen Wege zu sehen, sowie die aktuellen Positionen und Richtungen der Displays. Bei der Änderung der Start- und/oder Zielpunkte wird die Berechnung der neuen Route angefordert. Die neue Routeninformation wird auf allen Clients aktualisiert. Die Clients selbst sind dafür zuständig, entsprechend der eigenen Position die aktuelle Weghinweise zu rendern. Die Position kann entweder manuell in der Server-Applikation gesetzt werden oder wird mit den Sensoren, die auf dem Monitor platziert sind, ermittelt.

3.6 Fazit

Das System OntoNav ist sehr interessant, da die Navigationsausgaben auf Basis der individuellen Profile der Benutzer erstellt werden. Die Objekte des Raumes sind logisch in einer Baumstruktur klassifiziert. Die Berechnung der Route wird mit Hilfe der logischen Operationen durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit ist die Routenberechnung jedoch nicht geplant. Aber die Kernidee des Konzeptes basiert auf der vorherigen Bildung der virtuellen Gruppen der Touristen und auf ihren persönlichen Anforderungen. Daher ist OntoNav für die nachfolgenden Ausführungen dieser Arbeit aufschlussreich.

Die Aspekte der präferenzierten Führung zum Ziel kommen auch im System Utopian vor. Hier werden nicht nur die Anforderungen des Benutzers zu dem ausgewählten Weg

beachtet. Das System ist in der Lage, den Weg selbst zu erweitern oder zu modifizieren, interessante Objekte entsprechend dem Benutzerprofil in die Route zu integrieren. Für die vorliegende Ausarbeitung sind die unterschiedliche Ausgabemöglichkeiten interessant. Sie wurden bereits in dem Kapitel 2 erläutert.

Das System SemWay macht den Leser mit dem Konzept der Image Schemate bekannt. Diese Technologie hilft eine Überbrückung zwischen der menschlichen Wahrnehmung der Umgebung und deren technischen Repräsentation aufzubauen. Das System basiert auf den Landmarken und ist, genauso wie OntoNav, ein semantisches Navigationssystem. Für die folgende Ausarbeitung sind Aspekte der Integration von Landmarken für die Lösungen der räumlichen Aufgaben bedeutsam.

Im System TIMMY versuchen die Entwickler eine altmodische, aber dennoch beliebte Navigationshilfe wie die Karte mittels der mobilen Technologie interaktiv zu machen. Ein vorgeschlagenes Szenario, Menschen durch ein unbekanntes Gebäude zu führen, kann auch mittels der TIMMY-Lösung realisiert werden. Wie man jedoch erkennt, ist eine ständige Kommunikation zwischen dem Benutzer und den vorhandenen Gebäudekarten bei unklaren Stellen der Route notwendig. Es ist aber ein passendes Gegenbeispiel zur vorliegenden Ausarbeitung, bei der man die Vorteile der darin beschriebenen Technologie erkennen kann: Der Benutzer muss lediglich den Hinweisen folgen, die die Umgebung zur Verfügung stellt.

GAUDI ist das System, das die Technologie, die für diese Arbeit relevant ist, nämlich die Navigation mittels der dynamischen Beschilderung, einsetzt. Das System wurde im Jahr 2005 als ein prototypischer Entwurf vorgestellt. Das Prinzip der Zuständigkeit der Clients für das Rendering der aktuellen Navigationsinformation entsprechend der eigenen Position ist ein wichtiger Ansatz. Der Client kann aber auch als ein Thin-Client realisiert werden. In der Arbeit (kray05) wurde die Problematik erwähnt, dass die Navigation zu den konkurrierenden Zielen angeboten werden muss. Es wird von den Entwicklern jedoch keine Lösung angeboten. Man findet auch keine Konzepte für die Lösung der ergonomischen Probleme der Navigation, die Infrastruktur der Displays wird nicht diskutiert.

4 Analyse

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an das Navigationssystem, das die Benutzergruppen mit Hilfe der dynamischen Beschilderung führt, analysiert. Das Ziel dieser Arbeit ist, die vorgeschlagene Idee auf die Effizienz und ergonomische Attraktivität zu überprüfen. Mit Hilfe der Simulationsumgebung, die für diese Arbeit geplant ist, sollen die Vorteile des Systems gegenüber den üblichen Methoden der Navigation im Indoor-Bereich aufgezeigt und belegt werden.

Mit Hilfe eines Beispielszenarios 4.1 wird der potentielle Nutzen des geplanten Navigationssystems in der realistischen Situation der Wegsuche im Flughafen nachgewiesen.

Weitere wichtige Bestandteile der Analyse sind die funktionalen und die nicht funktionalen Anforderungen (s.Kapitel: 4.2 und 4.3). Bei der Beschreibung der funktionalen Anforderungen werden der Funktionsumfang des gesamten Systems, die nach Außen angebotenen Dienste und die spezifisch für diese Arbeit vorgesehenen Funktionen des Navigationssystems beschrieben. Die nicht funktionalen Anforderungen definieren die Qualität des Software-Produktes.

Die ergonomischen Aspekte des Navigationssystems spielen eine entscheidende Rolle. Dadurch, dass das System keine Interaktion mit dem Benutzer vorsieht und keinen Einfluss darauf hat, ob die ausgegebenen Navigationshinweise von den Fußgängern wahrgenommen werden, muss die Information möglichst attraktiv und optisch markant dargestellt werden. Im Abschnitt 4.2.1 dieses Kapitels werden die erwähnten Aspekte erläutert.

Da der prototypische Entwurf des Systems in einer virtuellen Umgebung getestet und ausgewertet wird, müssen spezielle Anforderungen an die Simulationsumgebung gestellt werden. Sie werden im Abschnitt 4.2.2 genannt.

4.1 Beispielszenario

Um das geplante System als ein „greifbares“ Produkt dem Leser vorzustellen, wird ein Beispielszenario beschrieben. Für die gestellten Ziele des Navigationssystems braucht man eine Umgebung, die dem Benutzer möglichst unbekannt ist und mehrere störende Faktoren (wie z.B. große Anzahl der inneren Objekte, Unübersichtlichkeit des gesamten Raums, Zeitdruck etc.) aufweist. Ein Flughafengebäude ist eine passende Metapher,

da für viele Personen die Navigation durch die Terminals relativ schwierig und oftmals unüberschaubar ist. In solch einer Situation kann eine optimale Navigationsbegleitung eine große Erleichterung darstellen. Desweiteren wird im Rahmen des Beispielszenarios ein möglicher Ablauf der Navigation innerhalb des Flughafens beschrieben. Eine Gruppennavigation ist als ein Feature des Systems gedacht.

Ein Flug aus Köln ist am Flughafen von Phuket, in Thailand, gelandet. Die Flugdauer war relativ lang und das Mahlzeit-Angebot der Reisegesellschaft hat den Geschmack von zahlreichen Passagieren nicht getroffen. Viele würden nun gerne nach der Gepäckabholung ein Restaurant besuchen. Die meisten Touristen sind zum ersten Mal in diesem Flughafen und wissen daher auch nicht, ob und wie sie ein passendes Angebot in der Nähe finden können.

Das Problem ist vielen Touristen aus Europa bekannt und es wurde festgestellt, dass vor allem zwischen 14.00 Uhr und 16.00 Uhr, einem Zeitraum, in dem vor allem Flugzeuge aus Westeuropa landen, die Nachfrage nach gastronomischen Angeboten steigt. Ein Monitor zieht die Aufmerksamkeit der deutschen Passagiere an. Auf diesem ist ein buntes Logo mit einem ansprechenden Gericht zu sehen und „Nizza“, der Name des Restaurants, zu dem ein deutlich abgebildeter Richtungspfeil führen soll. Daraus lässt sich schließen, dass der Monitor zu einem Restaurant führt, welches genau den aktuellen Anforderungen der Flughafengäste entspricht. Einige Passagiere fühlen sich angesprochen, folgen den Hinweisen und bewegen sich in die Richtung, die auf dem Monitor angezeigt wird. Innerhalb weniger Sekunden befindet sich diese Gruppe von Fußgängern an einem Entscheidungspunkt, auf der Kreuzung zwischen zwei weiteren Korridoren. Hier sieht man die schon bekannte Abbildung der Navigationshinweise auf einem neuen Monitor, der die Richtung zu dem rechten Korridor zeigt. Der neu angezeigten Richtung wird gefolgt. Schritt für Schritt bewegt sich die Gruppe von einem Bildschirm der Kette zum anderen. Manchmal sieht man auf dem Weg zum konkreten Ziel andere Monitore, auf denen eine andere, neue Navigationsinformation dargestellt ist. Auf diesen Monitoren sind andere Logos platziert und die ausgewählte Farbpalette für die Richtungspfeile unterscheidet sich von den Bildschirmen, die zu dem Restaurant führen. Deswegen werden die uninteressanten Navigationsanzeigen von den Fußgängern ignoriert. In 7 Minuten erreicht man einen Monitor mit dem bekannten Logo des gesuchten Restaurants. Anstatt des Pfeiles wird nun jedoch eine ansprechende Begrüßung angezeigt. Das ist Ziel ist erreicht.

4.2 Funktionale Anforderungen

Die Funktionalität des gesamten Systems enthält viele verschiedene Aspekte der Fußgängernavigation. Im Rahmen dieser Arbeit wird natürlich nicht das ganze einheitliche System entwickelt, sondern man möchte die Effizienz der Gruppennavigation auf Basis der vorhandenen Infrastruktur der Ausgabegeräte untersuchen. In diesem Abschnitt werden sämtliche Funktionsaufgaben des Systems aufgelistet, um ein vollwertiges Bild des Systems zu präsentieren. Das System setzt voraus, dass die virtuellen Gruppen gebildet sind. Das heißt, es ist bekannt, welche Information für die aktuell anzusprechenden Benutzer interessant ist.

1. Das System muss die realen Bedingungen, die die Navigation in einem großen und unbekanntem Gebäude charakterisieren, simulieren.
2. Die Simulationsumgebung muss möglichst realistisch nachgebildet werden. Dazu gehören die realistische Darstellung des virtuellen Gebäudes mit allen benötigten inneren Objekten und die Simulation der physikalischen Aspekte wie z.B. Kollisionserkennung bei der Bewegung, angepasste Laufgeschwindigkeit etc. Die Anforderungen an die Simulationsumgebung werden in dem Kapitel 4.2.2 erläutert.
3. Aus den individuellen Profilen der einzelnen Flughafengäste muss das System ein gemeinsames Gruppenprofil erstellen können. Die potentiellen Benutzer des Systems werden in die virtuellen Gruppen nach bestimmten Eigenschaften zusammengefasst. Für die Gruppe wird eine Reihe relevanter Ziele als Liste der POIs definiert.
4. Das System muss die Route auf Basis der POIs für die Gruppen von dem Startpunkt zum Zielpunkt berechnen können. Die berechnete Route muss gültig und nicht unbedingt die kürzeste sein ¹. Als Ziel wählt das System ein Objekt aus der Liste der definierten POIs.

¹Es ist bekannt (lyn60), dass Menschen lieber einer möglichst einfachen Route ohne unnötige Richtungsänderung folgen.

5. Wenn die Route berechnet wurde, müssen die entsprechenden Navigationshinweise auf allen beteiligten Monitoren dynamisch dargestellt werden. Monitore der dynamischen Beschilderung sind die Knoten der Route.
6. Die Navigationshinweise müssen klar und eindeutig definiert sein. Die Fußgänger müssen die angebotene Informationshilfe schnell erkennen und verstehen. Dafür müssen das Layout der Abbildungsmedien und die Darstellung der Navigationsanzeigen besonders erwartungskonform gestaltet werden. Die ausführliche Beschreibung der ausgewählten ergonomischen Aspekte findet man im Kapitel 4.2.1.
7. Wenn mehrere Gruppen gleichzeitig geführt werden und einige Monitore für die konkurrierenden Routen gemeinsam benutzt werden, muss das System die Ressourcen effizient verteilen. Die Navigationshinweise müssen für die Mitglieder von allen, aktuell geführten Gruppen dargestellt werden.
8. Das System darf die Anzeige der Navigationshilfe nicht abbrechen, bevor die gesamte Gruppe das Ziel erreicht hat.
9. Wenn das Ziel erreicht wird, muss das System klare Hinweise geben, um die beteiligten Fußgänger darüber zu informieren. Die Führung wird hier beendet.

Die hier erwähnten funktionalen Anforderungen müssen in drei Klassifikationen(must/should/nice to have) entsprechend der Bedeutung der Funktionalität für das Gesamtsystem unterteilt werden:

Anforderung Nr.1 ist ein unabdingbarer Teil dieser Arbeit. Deswegen ist es eine obligatorische Anforderung (*must*). Für das Gesamtsystem besteht aber die Möglichkeit, die Simulation durch die reale Installation der Abbildungsmedien im Gebäude zu ersetzen.

Anforderung Nr.2 ist für die Evaluierung der ergonomischen Aspekte des Navigationssystems im Rahmen der vorliegenden Arbeit von Bedeutung. Dabei wird die Akzeptanz der angebotenen Navigationshilfe bei den Fußgängern nachgewiesen und ggf. verbessert. Diese Anforderung wird als *must* definiert.

Die Anforderung Nr.3 ist das Basiswissen, um die Gruppennavigation zu unterstützen. Daher wird sie als *must*-Kriterium betrachtet. Die Information, die durch die Analyse der individuellen Profile zum Gruppenprofil zusammengefasst wird, stellt die Reihe der potentiellen POIs dar. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Information über die vorhandene Gruppe vorausgesetzt und die Profilanalyse wird nicht als Gegenstand der Arbeit betrachtet. Für die weitere Ausarbeitung findet man die benötigten Lösungsansätze in den Bereichen der Künstlichen Intelligenz (Profile Analysis)(luck2008), Data Mining(gajdz05) und Social Navigation(lee).

Die Anforderung Nr.4 ist ein *must*-Kriterium für das komplette einheitliche Navigationssystem. Man findet zahlreiche Ansätze für die Implementierung der Routenberechnung auf Basis der bekannten Suchalgorithmen, wie z.B. A* ²(luck2008). Durch die Methoden der Graphentheorie(diest2000) kann man die vorhandenen Wege innerhalb des Gebäudes als Graphen definieren. Die Abbildungsmedien der dynamischen Beschilderung werden dann als Knoten des Graphen repräsentiert. Der ausgewählte Suchalgorithmus ist dafür zuständig, den optimalen Weg im Graphen vom Start zu dem Zielpunkt zu finden. Die Routenberechnung wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht implementiert.

Die Anforderung Nr.5 gehört ebenfalls zu den *must*-Anforderungen. Die berechnete Route muss auf die beteiligten Abbildungsmedien verteilt werden. Dabei bekommt jeder Monitor, der ein Knoten der Route darstellt, die für ihn angepasste Navigationsanzeige.

Die Anforderung Nr.6 ist eine obligatorische Anforderung (*must*), die im Rahmen der Tests und Evaluierung 7 iterativ realisiert wird. Die Benutzerfreundlichkeit des Systems steht im Mittelpunkt der Arbeit. Nur wenn die angebotene Navigationsinformation von den Benutzern intuitiv wahrgenommen wird, kann man die ausgewählte Technologie als effizient bezeichnen.

Die Anforderung Nr.7 ist als *must*-Kriterium zu betrachten. Dabei handelt es sich um die Option, möglichst viele Gruppen von Fußgängern mit einer begrenzten Anzahl an Ressourcen zu navigieren. In der vorliegenden Ausarbeitung werden die Methoden der möglichen Ressourcenverteilung für die konkurrierenden Routenanzeigen im Kapitel 6.4 beschrieben und getestet.

²wird als *A stern* ausgesprochen

Die Anforderung Nr.8 ist eine gewünschte Option des Systems, deswegen wird sie als *nice to have* bezeichnet. Das System hat keinen Einfluss auf das Verhalten der Fußgänger. Dadurch, dass auf die zwingend individuelle Navigation mit mobilen Geräten gezielt verzichtet wird, ist die Navigationshilfe mit der dynamischen Beschilderung ein offenes Angebot, das nicht unbedingt von den Fußgängern wahrgenommen wird. Die erfolgreiche Implementierung dieser Anforderung ist mit Hilfe der oben erwähnten Analyse der Gruppenprofile möglich. Dadurch kann man die Aktualität der angezeigten Route bestimmen.

Die Anforderung Nr.9 ist auch eine (*nice to have*) Option. Dadurch wird die Navigationshilfe besser und intuitiv wahrgenommen. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fußgänger am Ziel informiert, dass das gesuchte Objekt erfolgreich gefunden wurde.

4.2.1 Ergonomische Aspekte

Für die Navigation der Benutzer spielt die Ergonomie und die Benutzerfreundlichkeit eine entscheidende Rolle. An der Gestaltung der Ausgaben der Navigationshinweise, der graphischen Darstellung der Landmarken und POIs, der Interaktion mit dem Benutzer etc., kann man beurteilen, ob das System leicht und intuitiv benutzbar ist. Laut der 9241-1 ISO-Normen müssen die Geräte und Systeme an die Benutzung durch Menschen angepasst sein. Die Ein-/Ausgabegeräte, Software, Arbeitsumgebung und Aufgaben müssen entsprechend der Fähigkeiten und Grenzen von potentiellen Benutzern adaptiert sein. Für das Fußgängernavigationssystem ist die Interaktion System-Benutzer nicht vorgesehen. Die Idee schließt die Eingaben des Benutzers aus. Das macht die Gestaltung des Systems aus der ergonomischen Perspektive etwas leichter, da aus dem Schema für das Reaktionsmodell für reaktive Systeme (s.Abb.: 15) nur die rechte Hälfte des Vorganges aktuell ist. Die Aufgabe des Entwicklers wird auf die Planung der Systemausgabe reduziert. Das ist jedoch mit einer zusätzlichen Qualitätskontrolle verbunden. Dem Benutzer ist zu jedem Zeitpunkt höchstwahrscheinlich nur ein Monitor sichtbar, der sich in der unmittelbaren Nähe befindet. Das Ziel des Systems ist, auf diesem Monitor die Richtung zum nächsten Monitor und die klare semantische Interpretation des gesuchten Objektes anzuzeigen.

Bei der Klassifizierung der möglichen Benutzer (Amateure, Gelegenheitsnutzer und Dauernutzer) muss sich das System auf die verständliche, intuitiv beherrschbare Nutzung der angebotenen Features konzentrieren. Man kann dabei nicht davon ausgehen,

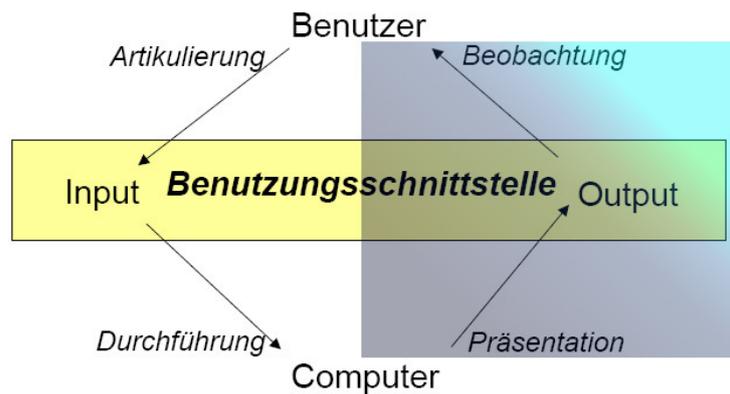


Abbildung 15: Reaktionsmodell für Interaktive Systeme. Quelle: (raas08)

dass der potentielle Benutzer eine zusätzliche Einarbeitung in die Möglichkeiten der vorhandenen Navigationshilfe akzeptieren würde. Es sind oftmals Gelegenheitsgäste des Flughafens, die dieses Gebäude relativ selten betreten. Deswegen muss die Gestaltung der Systemausgaben für die Amateure angepasst werden. Dafür müssen die bereits oben erwähnten Anforderungen an die Verständlichkeit der angebotenen Information erfüllt werden.

4.2.1.1 Optisches und semantisches Erscheinen

Die räumliche Information wird von dem Benutzer intuitiv wahrgenommen, wenn die Optik des Abbildungsmediums und der darauf dargestellten Information und die Semantik der Navigationsanzeigen attraktiv und inhaltlich klar gestaltet sind.

Folgende Anforderungen an die optischen Merkmale der Navigationshilfe müssen realisiert werden, damit die Navigationshilfe von den Fußgängern erkannt und akzeptiert wird:

- Markante Ausgabegeräte

Das Abbildungsmedium (der Monitor) mit der Führungsinformation muss von den umliegenden Objekten unterschieden werden können. Gelände wie Flughäfen, Messegelände, Einkaufszentren etc. sind mit verschiedenartigen Plakaten, Werbebildschirmen und mit der statischen Beschilderung ausgestattet. Das macht das Erkennen des „richtigen“ Navigationshelfers für den Benutzer schwierig. Deswegen muss der Bildschirm mit den Navigationshinweisen, der als das Ausgabegerät des Systems vorgesehen ist, so platziert und gestaltet sein, dass die Aufmerksamkeit des Fußgängers sofort auf ihn gezogen wird (man kann z.B. die Monitore kontrastiert zu den konkurrierenden Objekten hervorheben). Man wählt ungewöhnliche und bunte Farben oder Formen des Gehäuses.

- Einheitlichkeit der Ausgabegeräte

Der Benutzer, der entscheidet, den Navigationshinweisen des Systems zu folgen, benutzt den ersten Monitor der gesamten Route als einen Anfang des Fadens, den er für die Wegsuche benutzt. Intuitiv sucht der Benutzer weiter entlang der Route nach den schon bekannten optischen Merkmalen des Navigationssystems. Das heißt, dass die ganze Hardware-Infrastruktur, deren Knoten die LCD-Monitore mit dem dynamischen Content sind, ein einheitliches optisches Erscheinen haben muss. Im Gegenfall wird es den Benutzer irritieren und führt dazu, dass die weiteren Knoten nicht mehr erkannt werden oder es dauert unakzeptabel lang, bis der Benutzer sich an eine andere Form der Ausgabegeräte gewöhnt.

- Landmarken als Hilfskonzept bei der Navigation

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine verständliche Navigationshilfe den Fußgängern anzubieten. Dabei ist jeder Mensch gewohnt, sich auf die Landmarken der aktuellen Umgebung zu konzentrieren, was die Navigation effizienter und verständlicher macht. Die Ausgabegeräte müssen markant genug sein, um die Aufmerksamkeit der Fußgänger auf sich zu ziehen. Dabei werden die Abbildungsmedien als künstliche Landmarken bezeichnet. Die Navigation mittels der künstlichen Landmarken entspricht den intuitiven Methoden der mentalen Wegsuche. Sie dürfen aber die realen Landmarken nicht überschatten. Um die Abbildungsmedien als künstliche Landmarken zu repräsentieren, müssen die oben erwähnten Anforderungen an den Layouts der Ausgabegeräte erfüllt sein.

- Sichtbare Information

Auf den Monitoren werden die Richtungsanzeigen zu den nächsten Ausgabegeräten und die semantische Abbildung des gesuchten Objektes dargestellt. Die semantische Abbildung des gesuchten Objektes (wie z.B. ein bekanntes Icon des Restaurants) ist dafür da, die Aufmerksamkeit des Benutzers auf sich zu ziehen und das Interesse zu dem Angebot zu erwecken. Der Verfasser geht davon aus, dass das System auf Basis der vordefinierten POIs die für die aktuell ansprechbare Route interessante Navigationshilfe anbietet (die Zielanalyse ist nicht als Teil dieser Arbeit vorgesehen). Wenn der Benutzer sich entscheidet, der vorgeschlagenen Route zu folgen, dann hilft diese Information, die richtigen Monitore in der Umgebung sofort zu erkennen. Deswegen ist die Aufgabe des Systems, eine ideale Korrelation der semantischen und der räumlichen Information (sei es Farb-, Größe- und Formkontrast der Objekte) auf der Fläche des Bildschirms zu gewährleisten. Man darf dabei die physikalischen Grenzen des menschlichen

Sehvermögens nicht außer Acht lassen. Deswegen ist die Aufgabe des Systems, die Farben so auszuwählen, dass sie möglichst effektiv die Aufmerksamkeit des Benutzers auf sich ziehen. Die Sehschärfe ist von der Farbe stark abhängig (s. Abb.: 16), deswegen müssen die richtigen Kontrastkombinationen zwischen dem Hintergrund und dem Vordergrund ausgewählt werden.

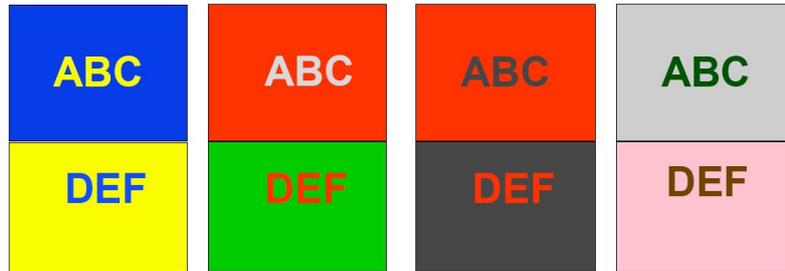


Abbildung 16: Abhängigkeit der Sehschärfe von der Farbe. Quelle: (raas08)

- Einheitlichkeit der Ausgabeinformation

Diese Anforderungen widerspiegeln die Regeln für die einheitlichen Ausgabegeräte. Das heißt, dass der Benutzer am Anfang seines Weges entlang der vorgeschlagenen Route eine bestimmte Information als Leitfaden aussucht. Dann folgt er den weiteren Hinweisen des Navigationssystems. Die Information muss auf den Monitoren homogen sein und einem bestimmten Designkonzept entsprechen. Die Navigationsinformation, die das System anbietet, enthält eine Kombination aus der semantischen Beschreibung des gesuchten Objektes und den Navigationsanzeigen (den Richtungspfeilen). Das heißt, dass die semantische Abbildung sich entlang der Route nicht ändern darf und die Richtungspfeile einheitlich sein müssen.

Weiter sind die Anforderungen an die semantische Darstellung der Navigationsinformation erwähnenswert:

- Allgemeingültige Darstellung der POIs

Die Semantik der dargestellten Navigationshinweise spielt eine wichtige Rolle. Unter der Semantik der Objekte ist vorliegend folgendes gemeint: Dem Benutzer wird eine Abbildung des gesuchten Objektes in einer verständlichen Form angezeigt. Das kann z.B. ein Logo-Icon einer berühmten Restaurantkette sein. Bei der Entwicklung muss aber darauf geachtet werden, dass die potentiellen Benutzer internationale Gäste sind. Deswegen muss die Abbildung des Objektes eine weltweit und nicht nur regional bekannte Darstellung sein. Icons sind am leichtesten

zu repräsentieren und sie werden schnell von dem Benutzer erkannt, aber für die Objekte, deren Eigename nicht markant oder international nicht bekannt ist, muss eine alternative Darstellungsart angeboten werden, die eventuell mit der zusätzlichen Information (Text, Bild des Objektes) erweitert wird.

- Eindeutigkeit der Richtungsvorschriften

Richtungspfeile, die auf den Ausgabemedien des Navigationssystems platziert werden, führen den Benutzer zu dem nächsten Bildschirm, wo er eine andere Richtungsanzeige findet. Das System ist nicht in der Lage, die aktuelle Position des Benutzers zu bestimmen und rechtzeitig einen Hinweis zu geben, dass seine Bewegungsbahn von der angebotenen Route stark abweicht. Deswegen ist die Aufgabe des Systems, eine klare und eindeutige Anzeige der Richtung zu gewährleisten. Die Position der einzelnen Bildschirme bestimmt die passende Abbildungsart der Richtungsanzeigen. Wenn der Benutzer beispielsweise entlang der Route einen Monitor an der Wand sieht, dann bedeutet der Pfeil nach oben eine vorgeschriebene Wechselung der Ebene (z.B. mit dem Fahrstuhl eine Etage höher). Wenn der gleiche Pfeil auf dem Monitor angezeigt wird, der aber senkrecht der Bewegungsrichtung (wie auf der Abb.: 17) platziert ist, dann ist damit der Hinweis gemeint, geradeaus weiterzugehen.

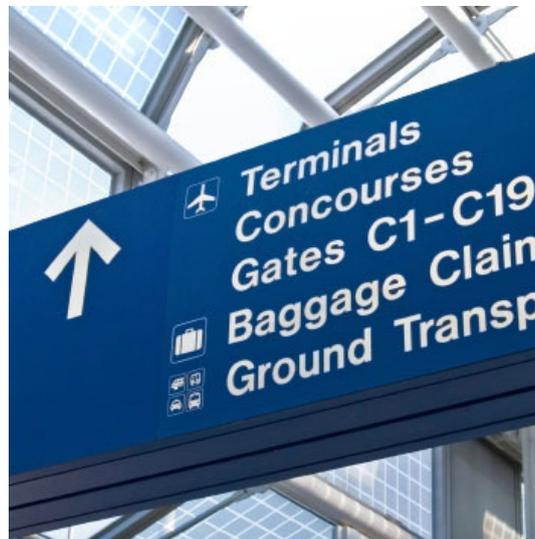


Abbildung 17: Beschilderung des Flughafens

- Erkennbarkeit der eigenen Route

Die Idee des Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung ist, eine Möglichkeit anzubieten, die es erlaubt gesamte Gruppen von Passagieren zu navigieren. Deswegen gehen wir davon aus, dass mehrere konkurrierende Gruppen

gleichzeitig zu verschiedenen Zielen geführt werden müssen. Das bedeutet, dass der Benutzer in einem Teilbereich des Flughafens verschiedene Hinweise sehen kann, die aber nicht unbedingt alle zu dem ausgewählten Objekt führen. Die zusätzliche Aufgabe des Systems ist, die Information so zu gestalten, dass eine bestimmte Route sich von den anderen optisch stark unterscheidet. Der Benutzer ist dann in der Lage, die richtigen Monitore schnell in der Umgebung zu erkennen. Z.B. folgt er intuitiv den Hinweisen mit den großen gelben Richtungspfeilen mit einem roten Icon der Apotheke und mit der hellblauen Hintergrundfarbe.

4.2.2 Anforderungen an die simulierte Umgebung

Für die Simulationsumgebung, die das Testen der Navigation auf Basis der dynamischen Beschilderung implementiert, müssen einige spezifische Anforderungen für eine fundierte Evaluierung erfüllt sein.

- **Realistische Darstellung und die Komplexität der Umgebung**
Um die Ergebnisse der Tests in der simulierten Umgebung als akzeptabel zu betrachten, muss das Gebäude realistisch dargestellt werden. Die Testperson muss bei der Lösung von räumlichen Aufgaben die aus der Realität bekannten Objekte eines komplizierten Gebäudes auch in der 3D modellierten Welt treffen. Objekte müssen erkennbar sein. Die optische Ausstattung der Objekte muss der realen Erscheinung entsprechen. Die Proportionen der inneren Objekte zu einander müssen beachtet werden. Für die Evaluierung des im Kapitel 4.1 beschriebenen Testszenarios muss die Umgebung einem Flughafengebäude gleichen. Dafür müssen verschiedene Objekte wie etwa Shops, gastronomische Objekte, Kioske, Schalter der Fluggesellschaften, die man in der realen Welt in einem Flughafen findet modelliert werden.
- **Egozentrische Perspektive**
Für die Navigation durch die virtuelle Umgebung muss die Sehperspektive egozentrisch sein. Diese Perspektive wird in den so genannten Ego-Shooters wie z.B. *Quake* oder *Doom* benutzt. Das provoziert die Testperson, sich wie in der realen Welt zu verhalten: sich beispielsweise nach links oder rechts zu drehen, den Kopf nach oben oder unten zu bewegen, um die umliegenden Objekte besser wahrnehmen zu können.
- **angepasste Laufgeschwindigkeit**
Die Testperson soll in die Lage versetzt werden, die Umgebung als real wahrzunehmen. Das heißt, dass er durch die Teilbereiche des virtuellen Flughafens

nicht zu schnell geführt werden darf. Die Geschwindigkeit muss an die Größe und Dichte der vorhandenen Objekte der Umgebung angepasst werden. Aber auch eine zu niedrige Geschwindigkeit ist nicht erwünscht, weil es die Performanz der Applikation verschlechtert.

- **Realistische Proportion des Schwinkels und der vorhanden Objekte**
Der Fußgänger muss die Objekte aus der Perspektive eines normalen Menschen wahrnehmen können. Die Objekte dürfen nicht zu klein/groß sein. Besonders auffällig sind die unrealistischen Größenproportionen bei der Annäherung zu den Objekten.
- **Kollisionserkennung und Gravitation**
Der Fußgänger darf durch die Wände und Objekte nicht laufen können. Die räumlichen Störfaktoren müssen erkannt werden. Der Fußgänger steht auf dem Boden, deswegen muss die implementierte Gravitation das „Fliegen“ der Objekt durch die Ebenen des Gebäudes verhindern.

4.3 Nicht Funktionale Anforderungen

Die Softwarequalität ist quantitativ schwer zu messen. Die Merkmale eines Softwareproduktes wie z.B. Benutzerfreundlichkeit oder Wartbarkeit kann man nicht zählen oder wiegen. Die qualitativen Aspekte werden in den nicht funktionalen Anforderungen beschrieben. Im Gegensatz zu den funktionalen Anforderungen, die das Verhalten und die Funktionen des zukünftigen Systems beschreiben, sind in den nicht funktionalen Anforderungen solche Aspekte wie Leistung, Randbedingungen und besondere Qualität der Software definiert. Die funktionalen Anforderungen beschreiben die Funktionsweise, was das System machen muss, um die gestellten Aufgaben zu lösen. Die nicht funktionalen Anforderungen beschreiben wiederum, wie sich das System verhalten muss. Die nicht funktionalen Anforderungen sind „Anforderungen an die Umstände, unter denen die geforderte Funktionalität zu erbringen ist“ (Glinz06). Weiter (s.Abb.: 18) folgt das Qualitätsmodell nach ISO/IEC 9126 (DIN 66272). Die 6 Basispunkte wie Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, Effizienz, Änderbarkeit und Übertragbarkeit werden aus der Perspektive der nicht funktionalen Anforderungen für das, in dieser Arbeit geplante System beschrieben.

- **Funktionalität**
Bei der Funktionalität geht es darum, ob alle geplanten Funktionen des Systems realisiert sind und ob vom System bei der Ausführung der Funktionen korrekte



Abbildung 18: Qualitätsmodell für Software nach ISO/IEC 9126 (DIN 66272). Quelle: (Glinz06)

Ergebnisse geliefert werden. In dem Kapitel 4.2 wurden die geplanten Funktionen des Systems vorgestellt.

Angemessenheit

Um diese Anforderung des Systems zu erfüllen, müssen die vorhandenen Funktionen realistisch und angemessen sein. Das System muss beispielsweise die Gruppe von Fußgängern zum Ziel führen. Die vorhandene, virtuelle Gruppe darf aber nicht unendlich groß sein, weil die Monitore der Navigation aus einer bestimmten erreichbaren Distanz erkennbar sein müssen. Die Anforderung an die Angemessenheit betrifft auch die Größe des Teilraumes, in dem die Navigation durchgeführt wird. Es ist nicht realisierbar, wenn hunderte von Gruppen gleichzeitig geführt werden und die Umgebung mit einer enorm hohen Anzahl der Abbildungsmedien und konkurrierenden Navigationshinweise überlastet wird.

Richtigkeit

Um diese Anforderung zu erfüllen, muss das System die richtige Route zu dem ausgewählten Ziel anzeigen. Während der Verteilung der gesamten Route auf die einzelnen Knoten (Monitore) muss das System darauf achten, dass die Information auf jedem Bildschirm das richtige Icon des gesuchten Objektes darstellt und die korrekte Richtung zu dem nächsten Monitor angegeben wird.

Falls ein Monitor gleichzeitig für die Anzeige von verschiedenen Zielen benutzt wird, betrifft die Anforderung an die Richtigkeit der dargestellten Information jede Hilfsanweisung auf dem Medium.

Interoperabilität

Durch die Kommunikation und den Datenaustausch mit anderen Systemen kann

die Interoperabilität des Systems bestimmt werden. So beispielsweise die Abfrage der statistischen Daten über die aktuell vorhandenen Gruppen und ihre Präferenzen, die von einem fremden Service geliefert werden.

Ordnungsmäßigkeit

„Die Ordnungsmäßigkeit von Informations- und Kommunikationssystemen meint die Zusammenfassung rechtlicher, gesellschaftlicher und technisch-fachlicher Anforderungen zu einem integrierten Konzept. Dabei ist es erforderlich, den jeweils aktuellen (technischen) Erkenntnisstand sowie die zu realisierenden Standards der Informatik zu berücksichtigen.“ vgl. (holl97). Damit werden an das zu entwickelnde System die Anforderungen gestellt, bei der Entwicklung des Software-Produktes die rechtlichen Randbedingungen, interne Ergonomie-Anforderungen des Unternehmens, sowie die sozialen Normen der Gesellschaft zu beachten. Die Daten, die auf Basis der individuellen Profile der Benutzer gesammelt werden, dürfen beispielsweise nicht veröffentlicht oder für externe Produkte benutzt werden.

Sicherheit

Zu einem der sicherheitskritischen Aspekte des zu entwickelnden Systems gehört die Übertragung der Navigationsanweisungen von der zentralen Instanz (Server) an die Clients (Monitore). Die Sicherheit der Datenübertragung muss gewährleistet werden, damit der dargestellte Inhalt nicht durch fremde unbefugte Zugriffe manipuliert werden kann. Die zweite Komponente, welche besonders geschützt werden muss, sind die privaten Informationen der Benutzer, die aus den individuellen Profilen erstellt werden.

- ***Zuverlässigkeit*** (padbe07)

Hierbei ist die Fähigkeit des Systems oder seiner Komponenten gemeint, innerhalb einer bestimmten Zeitspanne seine Funktionen unter bestimmten Bedingungen durchzuführen. Die mögliche Ausfallrate spielt für die Analyse der Zuverlässigkeit eine wichtige Rolle.

Reife

Unter der „Reife“ versteht man die geringe Versagenshäufigkeit durch die Fehlerzustände. Es ist nicht realistisch, alle Fehler in dem Softwareprodukt zu beseitigen. Das Ziel bei der Entwicklung ist aber, diese Anzahl durch Tests zu minimieren.

Fehlertoleranz

Die Fehlerzustände müssen möglichst minimiert werden. Das System muss jedoch auch in der Lage sein weiter zu laufen, wenn ein Fehler auftritt. Nur so leidet

nicht das Interesse des Benutzers darunter. Wenn eine Route vom Startpunkt zu dem Ziel nicht ermittelt werden kann, dann muss ein anderes Objekt als Endpunkt der Route definiert werden. Wenn einer der Monitore ausgefallen ist, und die Navigationshinweise darauf nicht angezeigt werden können, muss das System eine alternative Route, ausschließlich des nicht zugreifbaren Mediums, berechnen.

Wiederherstellbarkeit

Bei einem möglichen Ausfall des Systems müssen die betroffenen Daten wiederhergestellt werden können. Sie dürfen nicht verloren gehen. In dem geplanten System werden z.B. die Gebäudekarten als statische Modelle in einer Datenbank abgespeichert, aber die berechneten Routen sowie die aktuell definierten Ziele für die Navigation müssen bei dem Ausfall oder einem Neustart möglichst ohne zusätzliche Berechnung wiederhergestellt und angezeigt werden.

- ***Benutzbarkeit***

Der Begriff der „Benutzbarkeit“ bezeichnet die Benutzerfreundlichkeit des Systems. Das System muss leicht und intuitiv bedienbar sein. Auf die Fehleingaben des Benutzers muss das System dementsprechend reagieren.

Verständlichkeit

Die Ausgaben des Systems und die Interaktionsmöglichkeiten müssen dem Benutzer verständlich sein. Dadurch, dass die Navigationsinformation multikulturellen Benutzern angezeigt wird, muss die Form der Darstellung sowie die Sprache bei den Textausgaben möglichst international bekannt sein. Die Semantik der dargestellten Objekte muss für den Benutzer klar und eindeutig sein. Wenn beispielsweise zur Passkontrolle navigiert wird, muss ein entsprechendes Icon für die Darstellung des gesuchten Objektes ausgewählt werden, das die betroffenen Fußgänger sofort verstehen können.

Erlernbarkeit

Das Ziel ist hier, die Zeit zu minimieren, die ein durchschnittlicher Benutzer benötigt, um das, für ihn neue System benutzen zu können. Das ermöglicht die Navigation mit Hilfe der künstlichen Landmarken, die möglichst geschickt in der Umgebung verteilt sind. Diese Form der Navigation ist den Menschen aus dem alltäglichen Leben bekannt, in dem sie sich jeden Tag an statischen Beschilderungen und Wegweisern orientieren.

Bedienbarkeit

Da das Navigationssystem auf Basis der dynamischen Beschilderung in einer virtuellen Umgebung getestet wird, ist die leichte und intuitive Steuerung der Software ein wichtiges Kriterium, um die realen Bedingungen möglichst komplett auf

die simulierte Umgebung zu übertragen. Als eine mögliche Variante kann man die, aus Computerspielen bekannten Steuermechanismen betrachten.

- **Effizienz**

Hier kann man die zeitliche Differenz zwischen der gestellten Anfrage an das System und dem gelieferten fertigen Ergebnis erkennen. Die Effizienz ist oft von der Hardware-Ausstattung des Systems, wie dem Speicher oder CPU-Ressourcen, abhängig.

Zeitverhalten

Es ist sehr wichtig die fertige Route dem Benutzer rechtzeitig anzuzeigen. Ansonsten merkt der Fußgänger nichts auf dem Monitor, was ihn interessiert und alle weiteren Anzeigen werden seine Aufmerksamkeit nicht mehr auf sich lenken können.

Ein weiterer Punkt ist die Darstellung der Navigationsinformationen für verschiedene Ziele auf einem Monitor. Als eine der Möglichkeiten für die Ressourcenverteilung kann man die periodische Änderung der Navigationshinweise auf dem Monitor nennen. Falls der Benutzer angefangen hat, den Navigationsanzeigen zu folgen, die Information aufgrund einer Zeitverzögerung oder einer zu langsamen Routenberechnung auf dem beteiligten Monitor zu spät angezeigt wird, verläuft sich der Fußgänger infolgedessen.

Verbrauchsverhalten

Hierbei geht es darum, dass das System sparsam mit den Betriebsmitteln umgehen muss (schre02). Durch die zentrale Steuerung und Logik auf dem Server (wenn das geplante System in der realen Welt installiert wird) gibt es keine strenge Begrenzung für genutzte Betriebsmittel, wie z.B. CPU oder Speicher, aufgrund des heutzutage hohen technischen Entwicklungsstandes. Limitiert wird dabei die Anzahl der installierten Monitore, damit die Umgebung nicht mit den Abbildungsmedien überlastet wird.

- **Änderbarkeit**

Das System muss leicht an die möglichen Verbesserungen angepasst werden. Die Beseitigung der im Laufe des Betriebs entdeckten Fehler muss ohne zusätzliche Änderungen der Struktur durchgeführt werden können. Dafür ist es nötig, das System nach den Prinzipien der Software-Engineering zu entwickeln, damit die Bestandteile als Module mit der streng definierten und gekapselten Funktionalität ausgetauscht oder modifiziert werden können (raas08).

Analysierbarkeit

Hierbei muss der Aufwand, um Ursachen, Mängel beim Ausfall oder einem Fehler des Systems zu diagnostizieren, möglichst gering sein. Durch die effiziente Modularisierung der Komponenten ist es zukünftig leichter, die fehlerhafte Stelle zu finden und die Probleme zu beseitigen (goetz97).

Modifizierbarkeit

Die „Modifizierbarkeit“ bestimmt den Aufwand bei Verbesserungsmaßnahmen oder Anpassungen an Veränderungen der Umgebung. Wenn eine Gebäudekarte durch eine andere ersetzt wird, muss das System in der Lage sein, die neue Umgebung für die Navigation zu benutzen. Dafür braucht man eine Plattform, die möglichst viele 3D graphische Formate unterstützt.

Stabilität

Die Änderungen des Systems dürfen keine unerwarteten Auswirkungen auf das gesamte Verhalten haben. Durch die Verkapselung der eigenen Funktionalität innerhalb der einzelnen Komponenten werden keine Seiteneffekte auftreten.

Prüfbarkeit

Bei der durchgeführten Änderung muss das Verhalten des Systems kontrollierbar und überprüfbar bleiben.

- ***Übertragbarkeit***

Darunter versteht man die Fähigkeit des Software-Produktes auch auf anderen Systemen (Software und Hardware) lauffähig zu sein. Für diese Arbeit wird das System in einer virtuellen Umgebung getestet, aber auch für die reale Installation müssen die Ergebnisse der durchgeführten Usability-Tests gültig sein.

Anpassbarkeit

Das System muss an die neue Umgebung mit dafür vorgesehenen Maßnahmen angepasst werden können. Wenn die Navigation in einer anderen Umgebung als dem Flughafen installiert werden muss (z.B. Messegelände oder Kongresszentrum), dann müssen die gleichen Anforderungen beibehalten werden und das System muss ihr definiertes Ziel verfolgen - Gruppennavigation mittels der dynamischen Beschilderung.

Installierbarkeit

Der Aufwand für die Installation des Systems muss angemessen sein. Das betrifft sowohl die Hardware-Installation der Monitore in der realen Welt als auch die Installation der Software für die Lösung der räumlichen Aufgaben in einer simulierten Umgebung.

Konformität

Die Normen und die Vereinbarungen für die Übertragbarkeit müssen erfüllt sein.

Austauschbarkeit

Hierbei muss es die Möglichkeit geben, unter bestimmten Bedingungen die Software durch die andere ersetzen zu können.

4.4 Fazit

In diesem Kapitel wurde die Anforderungen an das zu entwickelnde Navigationssystem für Fußgänger auf Basis der dynamischen Beschilderung vorgestellt, die einem prototypischen Entwurf des Systems realisiert werden. Die Anforderungen aus der Kategorie *nice to have* sind nicht als Gegenstand der vorliegenden Arbeit zu betrachten.

Dabei wurden die Anforderung in zwei verschiedene Arten klassifiziert. Um festzustellen, welche Aufgaben das System erledigt, wurden die funktionalen Anforderungen erläutert und erarbeitet. Die nicht funktionalen Anforderungen sind wichtige Qualitätsmerkmale des Systems, die bestimmen, wie gut das Endprodukt an die gestellten Kriterien des Kunden angepasst wurde.

Das beschriebene Beispielszenario im Flughafen gibt dem Leser eine Vorstellung davon, wie das Konzept der Gruppennavigation für die Flughafengäste von Nutzen sein kann. Die folgenden Kapitel beschäftigen sich weiterhin mit dem vorgestellten Szenario. Die Konzentration liegt dabei auf der Präsentationsebene eines Navigationssystems. Die attraktive Gestaltung der Information für ihre intuitive Wahrnehmung wird das System zu einem unabdingbaren Helfer im Indoor-Bereich machen. Als ansprechende Lösung für die Implementierung der gestellten Anforderungen ist die realistische Abbildung der Umgebung in einer simulierten dreidimensionalen Welt vorgesehen.

5 Design

In dem Kapitel Design werden die bei der Analyse diskutierten Prinzipien und Bestandteile des zukünftigen Systems als Komponenten des geplanten Endproduktes vorgestellt. Für diese Arbeit ist nicht das ganze einheitliche Navigationssystem vorgesehen. Der Schwerpunkt ist die Untersuchung und Verbesserung der ergonomischen Aspekte des Systems, um die Wegsuche in einem unbekanntem Gebäude den Fußgängern zu erleichtern. Die Implementierung des Prototyps für die Durchführung der Tests und die Analyse der Interviews ist das Ziel dieser Arbeit.

In dem Kapitel 4.3 wurde die Rolle der Modularisierung der Software genannt. Durch die Verkapselung der wichtigen Funktionalitäten des Systems in einzelnen Komponenten erhöht man die Anpassung des Systems an die neue Umgebung, wie z.B. Entwicklung neuer Technologien. Solche Verteilung des Systems in separate, aber miteinander verkoppelte Komponenten wird in der Anwendungsarchitektur beschrieben. Die Kommunikation zwischen den Komponenten wird durch die definierten Schnittstellen realisiert, dabei wird die innere Struktur der Komponente vor der Außenwelt verborgen. Die Design Patterns (gamma95) sind Hilfsmittel, um die Prinzipien des Software Engineering bei der Implementierung zu integrieren. Dabei wird die Verbesserung der internen Struktur durch den Austausch der Komponenten, keine negativen Wirkungen am Gesamtverhalten des Systems haben. Solche Integration der neuen Module ist relativ einfach durchzuführen.

5.1 Anwendungsarchitektur

Man unterscheidet zwischen der fachlichen und der technischen Architektur. Nach Völter (voelt06) ist die fachliche Architektur konzeptionell. Sie basiert auf den fachlichen Aspekten des Systems und beschreibt die Basiskomponenten, die die grundlegenden Funktionalitäten darstellen und implementieren. Die technische Architektur bildet die fachliche Architektur mit den technischen Lösungsansätzen. SOA ist beispielsweise die fachliche Architektur des Systems, und die Web Services, als eine der Möglichkeiten, die fachlichen Anforderungen umzusetzen, ist die technische Architektur.

Die weiter vorgestellte Anwendungsarchitektur (s.Abb.: 19) ist nach einem bekannten Modell der Drei-Schicht-Architektur entwickelt. Dadurch erreicht man bessere Trennung der fachlichen und technischen Aspekte durch die Verteilung der Komponenten in die Schichten für Datenhaltung, Fachlogik und Präsentation. Die Präsentationsschicht ist von der Datenschicht unabhängig, dadurch ist der Austausch der Datenbank möglich. Das System wird klar strukturiert, was wiederum die Wartung erleichtert.

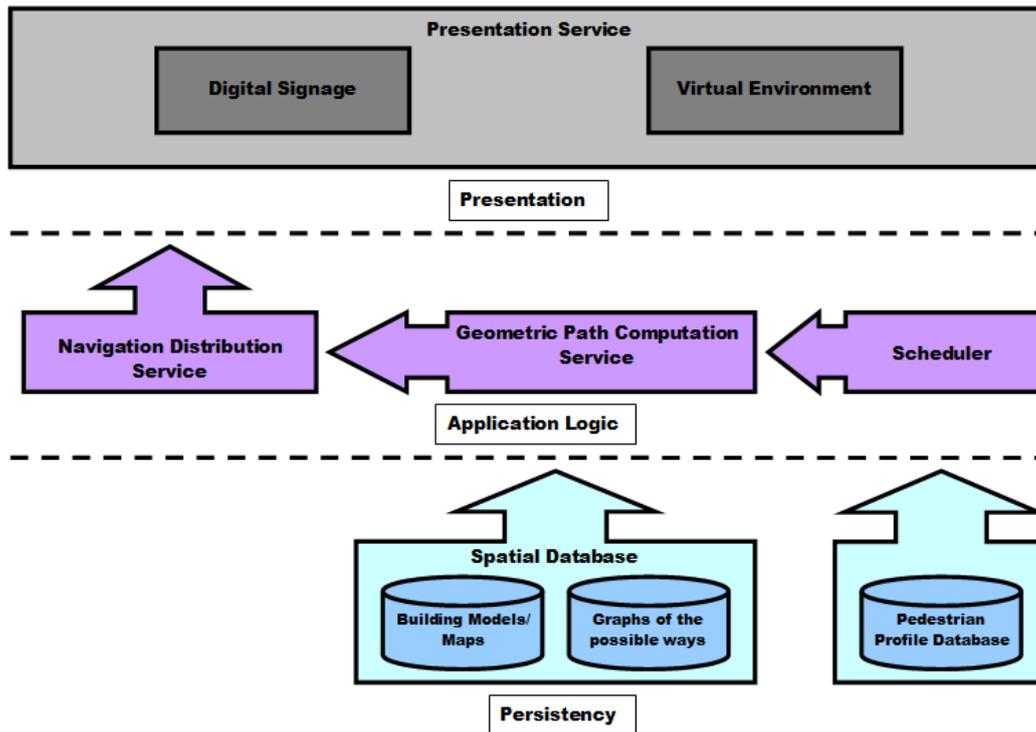


Abbildung 19: Anwendungsarchitektur des Systems

- **Persistenzschicht**

Die Persistenzschicht (auf der Abbildung *Persistency* genannt) umfasst die Sammlung der persistenten Daten, die für die erfolgreiche Routenberechnung nötig sind. Für das zu entwickelnde Navigationssystem ist die Trennung zwischen zwei verschiedenen Komponenten nötig.

Die erste Komponente *Spatial Database* beinhaltet die Gebäudemodelle und/oder die Karten des Gebäudes (*Building Models/Maps*), sowie die Graphen aller möglichen Wege innerhalb des Gebäudes (*Graphs of the possible ways*). Die Monitore der dynamischen Beschilderung sind als POIs im Graphen der möglichen Wege enthalten. Der Standard *CityGML*, der im Kapitel 2.3.2 beschrieben wurde, ist eine passende Technologie, um die Gebäudemodelle zu erstellen. Dabei können nicht nur die geometrischen Größen der Objekte, sondern auch die logischen Zusammenhänge der Bestandteile definiert werden. Dadurch, dass als Ziel dieser Arbeit die intuitive Führung der Fußgänger mittels der künstlichen Landmarken und nicht die Implementierung der Routenberechnung vorgesehen ist, wird der logische Aufbau des Gebäudemodells vernachlässigt. Für die Simulation in der virtuellen Umgebung ist aber die dreidimensionale Darstellung des Gebäudes

notwendig. Die Details zur Realisierung der virtuellen Umgebung sind im Kapitel 6 beschrieben. Die Infrastruktur der Abbildungsmedien wird bei der prototypischen Entwicklung des Systems nicht als ein Graph aller möglichen Wege definiert. Für den Endzweck ist es ausreichend, die Monitore statisch in der Umgebung zu platzieren, damit die Infrastruktur die Anforderungen für das ausgewählte Test-szenario erfüllt.

Die zweite Komponente der Persistenzschicht ist *Pedestrian Profile Database*. Hier werden die einzelnen Fußgänger in virtuelle Gruppen zusammengefasst, um die Gruppennavigation zu ermöglichen. Die Gruppenverteilung ist auf Basis der Information aus den individuellen Profilen möglich. Dabei ist Aktualität der Information zeitlich streng begrenzt. Die Gruppe der Passagiere aus Frankreich ist beispielsweise in dem Teilbereich XY von 17:30 bis 17:45 anwesend. Die Gruppenbildung auf Basis der individuellen Profile ist aber nicht der Gegenstand dieser Arbeit. Für das komplette System kann man sich eine relativ einfache Realisierungsmöglichkeit für diese Komponente vorstellen. Dabei wird eine virtuelle Gruppe als eine Datenstruktur mit den zusätzlichen Attributen implementiert. Die möglichen Attribute sind:

- ID der Gruppe

Auf Basis der ID wird die Gruppe eindeutig identifiziert.

- Anzahl der Gruppenmitglieder

Damit berechnet man die Zeit, die die Gruppe braucht, um das Ziel zu erreichen. Je größer die virtuelle Gruppe ist, desto länger braucht sie. Für diese Arbeit wird die Simulation für eine einzige Person gestartet, die als Mitglied der Gruppe interpretiert wird.

- Startposition der Gruppe

Die Startposition der Gruppe wird als Startpunkt der Route festgelegt. Für diese Arbeit wird die Position als Start der Simulation eingegeben. Hier fängt die Testperson mit der Lösung der räumlichen Aufgabe an.

- Eine oder mehrere interessante Ziele

Dieses Attribut bestimmt, welche der vorhandenen Objekte des Flughafens für die Gruppe von Interesse sind. Die Gruppe wird zu einem Ziel geführt. Für die vorliegende Arbeit wird das Ziel festgelegt.

- **Anwendungsschicht**

Die weitere Schicht ist die Anwendungslogik (*Application Logic*). Es ist sehr wich-

tig, keine logischen Komponenten innerhalb der Präsentationsschicht zu realisieren.

Die erste Komponente ist *Geometric Path Computation Service*. Hier findet die eigentliche Routenberechnung statt. Mit Hilfe der implementierten Suchalgorithmen wird der kürzeste oder der schnellste Weg zum Ziel ermittelt. Die Route besteht aus einer Sammlung der Monitore, die zu dem Ziel führen. Dabei ist die Aufzählung der betroffenen Medien gerichtet, um die Richtung von einem Knoten zu dem nächsten zu bestimmen.

Die Routenberechnung wird im Rahmen dieser Arbeit nicht implementiert. Für die gestellten Ziele reicht es aus, der Testperson, die als Mitglied der Gruppe betrachtet wird, eine vordefinierte Route anzubieten. Für die weitere Ausarbeitung kann die geplante Komponente für die Berechnung der Route in das System leicht integriert werden. Dafür müssen die Monitore, die als statische Objekte des Gebäudemodells definiert sind, durch die objekt-orientierte Implementierung ersetzt werden. Alle installierten Monitore werden in einer Datenstruktur zusammengefasst. Durch die eingegebenen Koordinaten der einzelnen Ausgabemedien wird ihre Position im Graphen aller möglichen Wege festgelegt. Die Monitore sind als Knoten zu betrachten. Als Kanten definiert man die Durchgänge zwischen den Monitoren. Durch die Beschreibung der räumlichen Objekte mittels *CityGML* kann man das Graphenmodell als Bestandteil des Gebäudemodells integrieren. Dafür können die Knoten und Kanten als Zusatzattribute der Raum-Objekte definiert werden. Die einzige Schwierigkeit besteht im Übergang von der *XML*-basierten Raumdefinition im *CityGML* zu der dreidimensionalen Darstellung. Die heutzutage existierenden *CityGML*-Viewer sind für die Darstellung der detaillierten Objekte im Indoor-Bereich immer noch nicht gut geeignet. Das Problem ist jedoch durch die Interface-Technologie lösbar. Man benutzt das *CityGML*-Modell für die logischen Operationen und Berechnung und die statische 3D Karte des Gebäudes für die graphische Darstellung der Umgebung. Mittels der Schnittstellen werden die berechneten Routendaten an das Gebäudemodell übergeben und dementsprechend dargestellt.

Die weitere Komponente *Scheduler* informiert den *Geometric Path Computation Service*, wann die Route berechnet werden muss. Der *Scheduler* entnimmt die Information aus der *Pedestrian Profile Database*, welche Gruppe zu welchem Ziel geführt wird. Dabei muss die Gruppe, die ihren Weg mit Hilfe des Navigati-

onssysteme startet, erfolgreich zum Ziel gelangen können, ohne, dass das System bereits die nächste Gruppe navigiert und die aktuelle Navigationshilfe abbricht. Es handelt sich um den Lebenszyklus der Information, der nur innerhalb dieses zeitlichen Bereiches dargestellt wird. Jede Gruppe wird zu einem Ziel geführt. Den Gültigkeitsbereich kann man entsprechend der Anzahl der Gruppenmitglieder, die die Geschwindigkeit der gesamten Gruppe beeinflusst, und der Länge des Weges zu dem Ziel bestimmen. Für diese Arbeit wird der Testperson eine Route angeboten, deren Gültigkeit nicht begrenzt ist.

Bei der zukünftigen Integration in das System kann der Scheduler wie ein Trigger eingeführt werden, dessen Aufgabe ist, die Berechnung der Route für die neu angekommene Gruppe zu erzwingen. Der Scheduler übergibt dem *Path Computation Service* die Suchparameter, wie Startpunkt, Ziel und Gültigkeitsbereich.

Bei der realen Installation ist die Komponente *Navigation Distribution Service* für die Verteilung der Information auf die jeweiligen Monitore zuständig. Die Komponenten der Präsentationsschicht sind nur für die Darstellung der Information zuständig. Deswegen bestimmt diese Komponente der Anwendungslogik, welche Richtungsanzeige für welchen Zeitraum auf dem Monitor dargestellt wird. Die weitere Aufgabe der Komponente ist, die effiziente Verteilung der Ressourcen bei der gleichzeitigen Führung von mehreren Gruppen. Wenn bei der Routenberechnung festgestellt wird, dass die benötigten Knoten, nämlich die Monitore, schon für die Navigation einer anderen Gruppe benutzt werden, dann muss entweder die Fläche des Monitors für mehrere Anzeigen verteilt werden oder die Ressource wird für jedes befolgte Ziel für eine bestimmte Zeit reserviert.

Für die reale Installation ist eine Server-Client-Realisierung des Systems möglich. Dabei sind die logischen Operationen wie Routenberechnung, Bestimmung der Aktualität der Information, Verteilung der Navigationshinweise auf die Monitore die Aufgaben der zentralen Instanz, nämlich des Servers. Die Monitore agieren als *thin Clients* (zoell06) und sind nur für die Darstellung der Navigationsanzeigen zuständig. Solche Verkapselung der Anwendungslogik innerhalb der separaten Schicht ermöglicht den Austausch der Präsentationsart, sei es eine reale Installation oder eine virtuelle Simulation.

Die Randbedingungen, für wie viele Gruppen das Abbildungsmedium die Navigationsanzeigen gleichzeitig darstellen kann, werden im Rahmen der geplanten Evaluierung⁷ iterativ bestimmt. Für die vorliegende Ausarbeitung werden die beiden Lösungen für die Darstellung der konkurrierenden Ziele in zwei separate

Testszenarien aufgeteilt.

- ***Präsentationsschicht*** Präsentationsschicht(*Presentation*)

Diese beinhaltet die Komponenten, die für die Darstellung der Navigationsanweisungen für den Endbenutzer zuständig sind. Im Rahmen dieser Arbeit unterscheidet man zwei verschiedene Formen, die Navigationsinformation darzustellen: Reale Installation und die Simulation in der virtuellen Umgebung.

Die Komponente *Digital Signage* repräsentiert die Abbildung der Navigationsanweisungen auf den Monitoren der dynamischen Beschilderung, die als Clients für die Darstellung der berechneten Route agieren. Die reale Installation ist nicht Gegenstand vorliegender Arbeit, daher ist die realistische Darstellung der Umgebung und die Anzeige der Hinweise in einer virtuellen Umgebung als die zu realisierende Komponente vorgesehen.

Die Komponente *Virtual Environment* repräsentiert die geplante virtuelle Testumgebung. Für die geplante Arbeit wird das virtuelle Gebäude mit den installierten Ausgabemedien dargestellt. Das Gebäudemodell enthält eine statische dreidimensionale Karte der Umgebung. Für die Evaluierung werden die gemeinsam genutzten Ausgabemedien mit einer dynamisch anpassbaren Struktur vorgesehen. Dadurch wird die periodische Änderung des dargestellten Inhaltes simuliert. Die Implementierungsdetails sind im Kapitel 6 beschrieben.

5.2 Spezifikation des Systems

Im Kapitel 4.2 und 4.3 wurden die funktionalen und die nicht funktionalen Anforderungen vorgestellt. Die in diesem Kapitel dargestellte Anwendungsarchitektur (s. Abb.: 19) basiert auf den funktionalen Anforderungen an das geplante System und enthält die Komponenten, die für die Implementierung der fachlichen Aspekte zuständig sind. In der Spezifikation des Systems werden aus den erwähnten Anforderungen und Komponenten die Funktionen des zukünftigen Prototyps zusammengefasst (reche02). Dabei werden die Aspekte genannt, die das System erledigen muss, ohne sich in die Realisierungsdetails zu vertiefen. Auf Basis der Spezifikation werden am Ende der Arbeit der Soll- und der Ist-Zustand verglichen.

Implementierung

- Im Rahmen der Arbeit muss ein statisches Gebäudemodell entwickelt werden. Das Gebäudemodell wird mit Hilfe einer 3D Game Engine dargestellt. Um ei-

ne realistische Darstellung zu erzielen, werden die physikalischen Aspekte der menschlichen Bewegung simuliert. Die Anforderungen an die simulierte Umgebung wurden im Kapitel 4.2.2 erwähnt.

- Als Teil des Gebäudemodells muss die Infrastruktur der Abbildungsmedien iterativ bestimmt werden. Die Monitore der dynamischen Beschilderung werden in der Umgebung entsprechend der vorgeschlagenen Infrastruktur platziert.
- Die installierten Abbildungsmedien müssen den Benutzern klare Navigationshinweise anzeigen. Dafür werden die Designvorschriften für die Darstellung der Navigationsinformationen diskutiert. Die Information wird entsprechend der Vorschriften auf den Monitoren für die ausgewählte Route platziert.
- Die installierten Monitore müssen die Option unterstützen, den Inhalt dynamisch nach Bedarf anzupassen.
- Das System muss in der Lage sein, mehrere Gruppen gleichzeitig zum Ziel zu führen. Dafür werden zwei Einsätze implementiert: Verteilung der Fläche der gemeinsam benutzten Ressourcen und die zeitliche Reservierung der Ressource für jedes Ziel.

Tests und Evaluierung Im Laufe der Testphase muss die prototypische Anwendung folgende Aspekte beweisen:

- Die Testperson erkennt die Monitore der Navigationskette als Hilfsquellen für die Lösung der gestellten räumlichen Aufgabe.
- Die Navigation mit Hilfe der künstlichen Landmarken entspricht den gewöhnlichen Modellen des menschlichen Raumverstehens und erleichtert die intuitive Wegsuche.
- Die Führung auf Basis der dynamischen Beschilderung ist für die Gruppennavigation in der realen Welt gut geeignet.
- Die Testbedingungen in der virtuellen Umgebung entsprechen den Bedingungen der realen Welt.

5.3 Fazit

In dem Kapitel Design wurden die möglichen Komponenten des gesamten Navigationssystems in einer Anwendungsarchitektur zusammengefasst.

Für die vorliegende Arbeit sind Komponenten wie *Building Models/Maps*, *Navigation Distribution Service* und *Virtual Environment* zu implementieren (s.Kapitel:6). Dabei stehen im Mittelpunkt der Arbeit die möglichst realistische Simulation der realen Bedingungen in einer virtuellen Umgebung und die Evaluierung der Techniken für die benutzerfreundliche Darstellung der Navigationshilfe. Im Rahmen des Designs wurden die Integrationsmöglichkeiten für die weiteren Komponenten des gesamten Systems erwähnt.

Die Aspekte, die im Rahmen der Entwicklung eines Prototyps realisiert werden müssen, wurden in der Systemspezifikation beschrieben. Dabei werden nur die obligatorischen Anforderungen an das zu realisierende System in dem Prototyp implementiert. Die weiteren erwähnten Bestandteile des Systems sind als Basis für die zukünftige Ausarbeitung der hier vorgestellten Navigationstechnologie relevant.

6 Realisierung

In diesem Kapitel der Arbeit wird das gesammelte theoretische Wissen praktisch eingesetzt, um einen Prototyp des Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung zu entwickeln. Die Lösung der räumlichen Aufgaben findet nicht real sondern in einer künstlich geschaffenen, virtuellen Welt statt. Dafür wird eine Testumgebung in Form einer 3D Simulation realisiert.

Im Abschnitt 6.1 werden die konkreten Szenarien beschrieben, die im Kapitel 7 im Rahmen der Usability-Tests den Testpersonen als Aufgaben gestellt werden.

Das optische Erscheinen der Navigationsinformationen wird im Abschnitt 6.2 diskutiert und als eine mögliche Variante für diese Arbeit eingesetzt.

Bei der Bestimmung der optimalen Platzierung der Monitore (s. Kapitel: 6.3) werden zusätzliche Tests durchgeführt, um die Entscheidungspunkte der Umgebung zu identifizieren. Auf Basis der Interviewergebnisse wird die Infrastruktur der Abbildungsmedien in dem virtuellen Gebäude definiert.

Im Abschnitt 6.4 wird die Implementierung des virtuellen statischen Gebäudes und der Simulationsumgebung beschrieben. Ein wichtiger Punkt ist die Verteilung der gemeinsam genutzten Ressourcen.

6.1 Testszzenarien

Das in diesem Kapitel beschriebene Szenario wird in der Testumgebung durchgeführt und ausgewertet. Das Hauptanliegen bei der Erstellung und der Implementierung der Testszzenarien ist, die Effizienz der Navigation mit Hilfe der dynamischen Beschilderung eines Gebäudes nachzuweisen. Die angebotene Methode hat als Ziel, mehrere Gruppen von Fußgängern gleichzeitig zu verschiedenen Zielen zu führen. Dafür wird eine zusätzliche Konfliktsituation in den Szenarien simuliert. Auf einigen Monitoren werden Informationen angezeigt, die die Fußgänger zu zwei konkurrierenden Zielen führen. Im ersten Fall wird der Content die Fläche einer gemeinsamen Ressource teilen. Die Navigationsinformation für jedes Ziel wird auf einem Teil des Abbildungsmediums angezeigt. Als eine Alternative für die Lösung dieser Aufgabe werden die Navigationsanzeigen im zweiten Testszzenario in einem Zyklus auf einem Monitor periodisch dargestellt. Dabei bekommt jede Anzeige eine bestimmte Zeitspanne, in der sie aktiviert wird.

Szenario 1

Die Testperson bekommt eine räumliche Aufgabe: „Sie befinden sich im 1. Stock des Flughafens in Phuket (Thailand). Nach dem langen Flug aus Europa sind Sie immer noch hungrig, weil die am Bord angebotenen Spezialitäten ihrem Geschmack nicht entsprachen. In dem Flughafen befindet sich eine Sushi-Bar, die Sie schnellstmöglich erreichen müssen.“

Die Testperson bekommt die Tastatur und die Maus als Eingabemedien für die Bewegung im virtuellen Gebäude. Die Anwendung wird auf dem Powerwall der HAW Hamburg gestartet. Dabei wird die Zeit, die die Testperson für die Lösung dieser räumlichen Aufgabe benötigt, protokolliert. Als erfolgreich gelöst gilt die Aufgabe, wenn die Testperson die, in der Beschreibung genannte Sushi-Bar findet. Auf einigen Monitoren der Navigationskette sieht der Fußgänger gleichzeitig die Hinweise zu verschiedenen Zielen. Deswegen ist die verbale Befragung der Probanden nötig, um festzustellen, wie diese Art der Informationsrepräsentation von den Fußgängern wahrgenommen wird.

Szenario 2

Die Beschreibung entspricht dem ersten Testszenario. Der Unterschied in der Implementierung besteht darin, dass einige Knoten der Navigationskette, nämlich die Monitore, den Inhalt periodisch ändern. Das Ziel ist, mehrere Gruppen gleichzeitig zu navigieren.

Durch die Zeit, die die Testpersonen für die Orientierung im virtuellen Gebäude gebrauchen, kann man die Effizienz des Systems bestimmen. Dabei sind zusätzliche Interviews der Probanden nötig, um die ergonomischen Aspekte der Navigation auszuwerten. Die Ergebnisse der beiden Tests müssen mit einander verglichen werden, um festzustellen, wie gut die Technologie der Navigation auf Basis der dynamischen Beschilderung für die Führung von mehreren Gruppen geeignet ist.

6.2 Darstellung der Navigationshinweise

Für die Gestaltung der Navigationshinweise, die mittels der dynamischen, digitalen Beschilderung den Fußgängern zur Verfügung gestellt werden, sind mehrere Aspekte von Bedeutung. Die Darstellung der Informationssemantik und Richtungsanzeigen gehören zum optischen Erscheinen der Navigation. In diesem Abschnitt der Arbeit wird über das Äußere des zu entwickelnden Navigationssystems diskutiert. Dabei werden die wichtigen Bestandteile der Darstellung betrachtet.

- Informationssemantik

Bei der graphischen Darstellung der Navigationssemantik ist das Hauptziel, die angezeigten Objekte schnell erkennbar zu repräsentieren. Im Kapitel 2.2.1 wurde erwähnt, dass die Darstellung der Navigationsinformation mittels der Icons, eine für den Benutzer intuitiv verständliche Form ist. Die Person entnimmt die Funktionalität des gesuchten Objektes aus der graphischen Darstellung. Dabei muss man aber zwischen allgemein bekannten und regional oder funktional begrenzten symbolischen Darstellungen unterscheiden. Wenn z.B. zum Restaurant McDonalds navigiert wird, dann ist es ausreichend, dass das Icon nur den bekannten gebogenen Buchstabe „M“, der weltweit verbreiteten Restaurantkette enthält, ohne eine zusätzliche Überschrift *Restaurant*. Falls der Name des Objektes nicht eindeutig ist, müssen mehrere Aspekte zusammengefasst werden: der Name, das Logo und die Funktionsschreibung (z.B. Duty-Free Shop oder Pizzeria). Falls die allgemeine Funktionalität nicht ausreichend ist, darf auch eine spezifische Bedeutung des Objektes betont werden, wie z.B. *Balkan Spezialitäten* anstatt vom Restaurant. Für die Objekte, die nur nach ihren Funktionalitäten und nicht nach dem Eigennamen erkannt werden müssen (z.B. Apotheke) ist die Abbildung des allgemein bekannten Icons im Zusammenhang mit der Funktionsbeschreibung nötig.

Für die Realisierung des gewählten Beispielszenarios - die Suche der Sushi-Bar - wurde folgende semantische Darstellung des gesuchten Objektes ausgewählt (s. Abb.: 20). Dabei handelt es sich um ein Logo des Restaurants und um den Eigennamen des Objektes, der gleichzeitig die Funktionsbeschreibung repräsentiert.

Die weiter folgenden Bestandteile des visuellen Erscheinens der Navigationshin-



Abbildung 20: Semantische Darstellung des gesuchten Objektes

weise, sind eher subjektiv erstellte Designmuster. Das Ziel ist, die Information so zu gestalten, dass sie in der Umgebung schnell gemerkt und erkannt werden kann. Der weitere Aspekt ist die konkurrierenden Navigationshinweise von einander unterscheidbar zu gestalten.

- Farbpalette

Auf dem Abbildungsmedium sind zwei Komponenten der Navigationsanzeige zu sehen: Icon (Semantik) und der Richtungspfeil. Ein wichtiger Aspekt der visuellen Wahrnehmung ist der Kontrast zwischen der Hintergrundfarbe und der dargestellten Objekte (erwähnt im Kapitel 4.2.1.1). Für die Lösung der konkreten räumlichen Aufgabe, die als Evaluierungsszenario im Rahmen dieser Arbeit realisiert wird, wurden Objekte auf dem Bildschirm folgendermaßen dargestellt: Auf der hell-grauen Hintergrundfarbe befindet sich das Icon der Sushi-Bar in Originalfarbe (rosa) und mit einem bunten grünen Richtungspfeil. Als ein anderes Beispiel betrachten wir noch eine mögliche Realisierung der Navigationsanzeige(s. Abb.: 21).

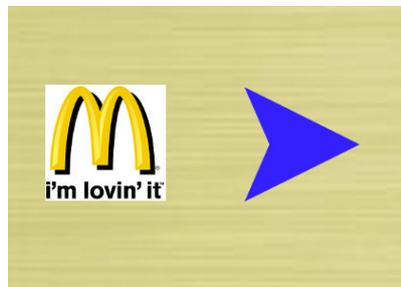


Abbildung 21: Darstellung der Navigationsinformation zum Restaurant McDonalds

- Richtungsanzeigen

Die Anforderungen an die Darstellung der Richtungsanzeigen sind folgende: Die Information muss klar und eindeutig repräsentiert werden, damit der Fußgänger den Weg zu dem nächsten Abbildungsmedium der gesamten Navigationskette schnell finden kann. Die Art der Darstellung der Richtungspfeile ist eine kreative Entscheidung und damit frei wählbar. Dennoch gibt es eine strikte Restriktion bei der Auswahl der Pfeile: Es ist die Einheitlichkeit der Darstellung innerhalb der Navigationsmetapher. Das heißt, dass die Richtungspfeile, die zu den anderen Zielen führen, den erstellten Designmustern entsprechen müssen. Der Entwickler darf nicht die Pfeile sehr unterschiedlich von einander gestalten. Falls die Information einem bestimmten Muster entspricht, kann der Fußgänger schnell erkennen, dass der aktuell beobachtete Monitor die benötigte Navigationsinformation darstellt. Eine Option, die Information für verschiedene Gruppen gleichzeitig darzustellen ist beispielsweise die Auswahl von verschiedenen Farben beim gleichzeitigen Beibehalten der Form. Auf der Abbildung 22 ist eine Situation zu sehen, in der zwei verschiedene Navigationsanzeigen den Platz auf einem Medium teilen.

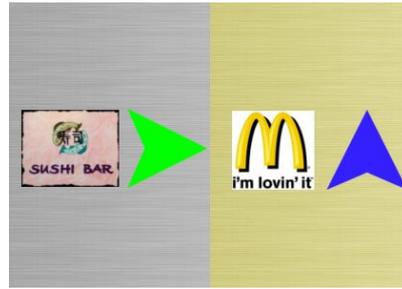


Abbildung 22: Darstellung der Navigationsinformation für 2 Gruppen

- visuelle Merkmale der Abbildungsmedien

Selbst die Monitore, die als Abbildungsmedien für die Navigationshinweise dienen, haben die Aufgabe, sich von den anderen Objekten der Umgebung zu unterscheiden. Trotz der klassischen Form eines Monitors, wird hier jedoch zusätzlich eine außergewöhnliche Farbe, als ein Merkmal der Navigationsbeschilderung (s. Abb.: 23), angeboten.



Abbildung 23: Darstellung der Navigationsinformation auf dem Monitor

6.3 Infrastruktur der Abbildungsmedien

Das Ziel dieser Arbeit ist zu beweisen, dass das Konzept der Navigation auf Basis der digitalen Beschilderung, dessen Content leicht modifizierbar und an die Umgebung anpassbar ist, für die Lösungen der verschiedenartigen räumlichen Aufgaben effizient ist. Dabei ist natürlich nicht nur die dargestellte Information wichtig, die den Interessen der Fußgänger entspricht. Eine optimale Verteilung der Ressourcen (Bildschirme) in der Umgebung ermöglicht die intuitive Unterscheidung der Navigationshinweise von den anderen Objekten wie z.B. Werbeplakate, statische Beschilderung usw. Deswegen ist die Topologie der platzierten Abbildungsmedien ein wichtiger Bestandteil des gesamten Systems.

Für diese Arbeit ist es unnötig, die Infrastruktur für das gesamte virtuelle Gebäude zu entwickeln. Im Rahmen des Testszenarios wird eine bestimmte vordefinierte Route

von einem Start- zu einem Zielpunkt angeboten. Deswegen werden die Monitore für diese Route eingerichtet. Aber das entwickelte Modell, oder besser gesagt das Designmuster für die räumliche Verteilung der Abbildungsmedien, kann für den gesamten Raum übernommen und erweitert werden.

Beim ersten Versuch wurden die Monitore in der virtuellen Umgebung relativ chaotisch platziert, ohne ein bestimmtes Lokalisierungsmodell zu beachten. Im Rahmen des vorläufigen Tests und der Befragung der Testpersonen wurde jedoch festgestellt, dass solch eine Infrastruktur nicht optimal ist: Die Monitore wurden nicht immer von den Werbeplakaten unterschieden. Die hohe Konzentration der Bildschirme an einem Punkt war unnötig und führte eher zur Irritation der Probanden. Deswegen ist ein strukturiertes Modell nötig, nach dessen Prinzipien die Medien in der Umgebung verteilt werden.

Als Lösung wurden einige Aspekte der weiter genannten Konzepte in einem hybriden Modell vereinigt. Dabei handelt es sich erstens um die Prinzipien der Bestimmung von Landmarken und zweitens um die Interpretation der räumlichen Objekte und deren Zusammenhänge in die so genannten *Image Schemata* (raub97). Die Prinzipien von Landmarken wurden in dieser Arbeit schon mehrmals erwähnt (s. Kapitel 2.2). Das, was aber in diesem Kapitel geklärt werden muss, ist, welche Bedeutung die Landmarken für die Bestimmung der Topologie von Abbildungsmedien haben. Die Hauptidee dabei ist, die markanten Objekte entlang der Route zu finden und deren Position als eine mögliche Lokation für die Bildschirme der dynamischen Beschilderung zu wählen. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Bildschirme bei den extremen Bedingungen der Navigation im Flughafen (mangelnde Zeit, Gedränge) nicht verpasst werden. Die Hauptprinzipien der *Image Schemata* wurden kurz im Kapitel 2.1 erläutert, weiter 6.3.1 folgt eine ausführlichere Beschreibung der Technologie.

6.3.1 Image Schemata

Nach Johnson (johns87) sind die *Image Schemata* ein Mittel, die mentalen Bilder in ein Modell umzuwandeln. Die möglichen *Image Schemata* werden bei der Befragung der Testpersonen extrahiert und auf ihrer Basis kann man die Kenntnisse über die Umgebung für verschiedenartige räumliche Aufgaben strukturieren. Das hilft bei komplexen Aufgaben kleinere Bestandteile zu definieren. Im Rahmen der in (raub97) beschriebenen Interviews wurden den Testpersonen Bilder des Wiener Flughafens gezeigt. Dabei musste man seine räumlichen Erlebnisse auf dem Weg von der Abflughalle zu seinem Gate beschreiben. Das Interessante dabei ist nicht das eigentliche Resultat, sondern die Beschreibungen im Laufe der Suche des Zielobjektes. Die Testpersonen beschreiben

ihren Weg und nennen die Objekte und Merkmale, die sie unterwegs beachten. Diese Einheiten werden unter verschiedene Kategorien zusammengefasst. So ist ein geschlossener Raum beispielsweise ein CONTAINER. Man kann sich innerhalb oder außerhalb des Containers befinden (im Raum, in der Halle, außerhalb des Zimmers). Oder man nutzt die Grenzen eines Containers für die Beschreibung der räumlichen Situation. Das Container-Schema wird also genutzt, um z.B. das Betreten eines Raums zu beschreiben. Als weiteres Beispiel lassen sich einige Sätze der Testpersonen betrachten, mit deren Hilfe das Container Image Schema extrahiert werden kann.

- **CONTAINER(departure hall):** „I enter this hall which is the departure hall“
- **CONTAINER(gate):** „I enter the gate“

Weitere Elemente der Liste von *Image Schemata* nach Johnson (johns87) sind SURFACE, OBJECT, COLLECTION usw. Nach dem Extrahieren der *Image Schemata* aus den verbalen Beschreibungen von Testpersonen können Teilbereiche eines komplizierten Gebäudes für die effiziente Navigation entsprechend ausgestattet werden.

6.3.2 Umsetzung der Interviewergebnisse

Um die Topologie der Bildschirme für diese Arbeit zu entwickeln, wurden die beiden oben erwähnten Konzepte übertragen. Folgendes Testszenario wurde für die Lösung dieser Aufgabe implementiert. Das gesamte, entwickelte, virtuelle Gebäude wurde angepasst: Die Testpersonen folgen der Route von der oberen Ebene zu der Sushi-Bar. Da nur diese vorgeschriebene Route im Rahmen der weiteren Evaluierungstests untersucht wird, wurden alle möglichen Wege im Gebäude mit Wänden blockiert, die zu den anderen, nicht relevanten Teilbereichen führen. Dadurch haben sich die Testpersonen nur auf diese vordefinierte Strecke konzentrieren können. An diesem Test haben 4 Personen teilgenommen. Die Erfahrungen, Erlebnisse der Testpersonen auf dem Weg zu dem Zielobjekt wurden schriftlich festgehalten. Daraus wurden die Image Schemata extrahiert. Aus dieser Information lassen sich die markanten Objekte, die die Aufmerksamkeit der Testpersonen gewinnen, als Landmarken definieren. Die kritischen Entscheidungspunkte, wie z.B. Richtungsänderung, nicht überschaubare Teilbereiche des Gebäudes, lange Korridore, in denen man die Orientierung verliert, wurden genauer beachtet. Weiter folgt das resultierende Protokoll, auf dessen Basis das eigentliche Entwurfsmuster für die Verteilung der Abbildungsmedien entwickelt wird. Aus der gesamten Route haben sich anhand der Interview-Ergebnisse die potentiellen Entscheidungspunkte herauskri-

stallisiert, die weiter in Verbindung mit den Image Schemata aufgelistet werden.

- Änderung der Ebene

Auf der 1.Etage des virtuellen Gebäudes fängt der Weg der Testpersonen an. Die in die Route eingefügte Änderung der Ebene, die die Komplexität des Gebäudes erhöht, wurde von den Testpersonen beachtet und mit folgenden Sätzen kommentiert :“Ich gehe eine Etage tiefer“. Das entspricht dem Schema PATH. Die Aufmerksamkeit der Probanden gewinnt die im Vergleich zur Umgebung kontrastierende Farbe des Treppengeländers (dunkel braun), das zu der tieferen Etage führt. Das passende Image Schema heißt ATTRACTION, da die optischen Eigenschaften des Objektes die Aufmerksamkeit des Fußgängers auf sich ziehen. Die Wände und die Decke blieben aber unbeachtet und wurden nicht kommentiert. Das liegt höchstwahrscheinlich an der Homogenität der Farben (grau-weiße Palette). In der 1. Etage befinden sich nur wenige Objekte: Türen zu den zusätzlichen Räumen, statische Beschilderung an der Decke (entspricht dem Schema VERTIKAL und wird folgendermaßen kommentiert: „An der Decke sehe ich die Beschilderung der Polizei“), Warteraum, Werbeplakate (passende Image Schema ist COLLECTION: „Ich sehe die graphische Werbung von McDonalds und Honda auf den Wänden“). Die Werbeplakate werden in erster Reihe nach den bekannten Eigennamen identifiziert. Theoretisch könnte man sie als potentielle Landmarken betrachten, aber durch die häufige Wiederholung im gesamten Raum sind sie keine markanten Objekte und sind als Orientierungspunkte zu vernachlässigen. Aus der oben erwähnten Analyse wird Folgendes vorgeschlagen. Das Image Schema PATH bei der Richtungsänderung muss mit dem Navigationsmedium ausgestattet werden. Dafür wird der Monitor gerade an der Treppe platziert, so nutzen wir das, von der Testperson erwähnte markante, optische Erscheinen des Treppengeländers(s.Abb.:24) aus.

- Auswahl eines Weges aus mehreren aktuell vorhandenen Alternativen

Das passende Image Schema, um die Problematik der Auswahl zu bezeichnen ist der PATH, der den Weg von einem Punkt zu dem anderen beschreibt: „Ich gehe quer durch den Raum zu dem Ausgang“. Der Weg muss aber klar sein, das heißt von allen möglichen Wegen, die aus der aktuellen Position sichtbar sind, muss der richtige ausgewählt werden. Falls der gesamte Raum überschaubar ist und der Endpunkt der Teilroute von der jetzigen Position sichtbar ist, dann können wir den Pfad (PATH) durch das Bilden eines Links (LINK aus dem Image Schema)



Abbildung 24: Richtungsanzeige zur Änderung der Etage

anzeigen. Daher platzieren wir den Monitor in der Nähe des gewünschten Knotens der Kette, nämlich des Ganges, auf dem der Pfeil „geradeaus“ anzeigt ist. Falls der Weg zu dem Zwischenziel nicht zu sehen ist, brauchen wir einen oder mehrere Zwischenschritte. Dafür wird aber das am weitesten liegende sichtbare Objekt genommen, um die Anzahl der Monitore so klein wie möglich zu halten. Auf der Abbildung 25 ist so ein Entscheidungspunkt zu sehen. Dem Fußgänger wird der Weg zwischen den Schaltern der Reisebüros als der richtige angezeigt.



Abbildung 25: Richtungsanzeige zur Auswahl aus mehreren möglichen Wege

- Richtungsänderung

In mehreren Fällen sind die Richtungsänderungen mit den Hindernissen (BLOCKAGE) verbunden, wie zum Beispiel Wände, Geschäfte usw., die sich plötzlich auf dem Weg zu dem Ziel befinden und man deswegen nicht weiter gehen kann, ohne die Richtung zu ändern. Wir benutzen die gleichen Image Schemata wie im

Beispiel für die Auswahl aus mehreren Alternativen, nämlich LINK und PATH. Dafür sind klare, stricte Richtungsanzeigen nötig. Das heißt, auf die diagonalen Richtungen muss möglichst verzichtet werden. Falls als Hindernis eine Wand angetroffen wird, wird das Abbildungsmedium parallel zur weiteren Bewegungsrichtung auf der freien Fläche platziert (s. Abb.: 26). Wenn sich ein markantes Objekt in der unmittelbaren Nähe befindet, dann wird der Navigationsmonitor daneben installiert. Im Erdgeschoss des virtuellen Gebäudes sieht man sofort eine breitere Palette an Farben aufgrund der neuen Raumobjekte, die sofort nach ihrer Funktionalität von den Testpersonen genannt werden: „Royal Transfer“ (Kiosk der Autovermittlung und Transfer), „Echo Newspapers“ (Pressekiosk), Raucherzone. Sie entsprechen dem Image Schema OBJECT. Die Objekte wurden jetzt in der Reihenfolge aufgelistet, wie sie von den Testpersonen erwähnt wurden. Es ist wichtig zu merken, dass sich die Autovermittlung frontal zu der Bewegungsrichtung der Testpersonen befindet. Obwohl dieses Objekt sich positionell weiter von der eigentlichen Person als der Pressekiosk befindet, ist sie dennoch ein Blickfang für die Probanden. Nachdem die Testperson die Treppe runter geht, ist eine Wand zu sehen, die die Richtungsänderung vorschreibt. Dadurch, dass die Perspektive, die man dabei hat, erlaubt den ganzen Raum sofort zu bewerten, wird die Wand nicht beachtet.

Falls die Richtungsänderung nicht mit einem Hindernis zusammenhängt, braucht man ein künstliches Stop-Zeichen, das signalisiert, dass die Richtung sich ändert. Genau diese Funktion übernimmt ein Monitor, der auf dem Weg des Fußgängers platziert ist und die neue Richtung anzeigt.

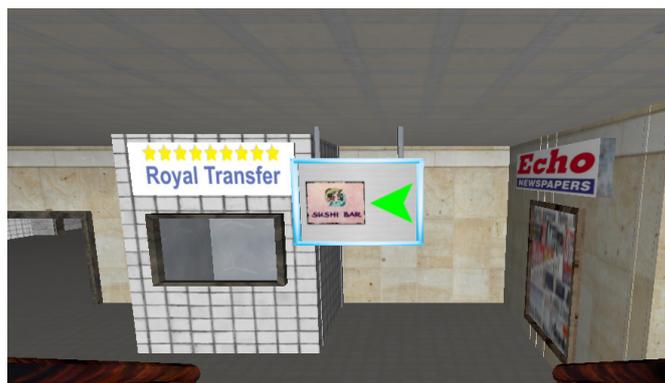


Abbildung 26: Navigationsanzeige zur Änderung der Richtung

- sicherheitskritische Objekte

In der Beispielsroute wurde ein sicherheitskritisches Objekt wie der Ausgang (gekennzeichnet mit *Exit*) eingefügt. Das beeinflusst die Prinzipien für die Erstellung

der Infrastruktur von Abbildungsmedien. Solche Objekte werden im Gebäude optisch betont, damit die Fußgänger sie schnell identifizieren können. Sie agieren somit als eindeutige Landmarken. Trotzdem dürfen sie bei der Installation der Navigationsmedien nicht verborgen werden. Solche Objekte müssen aus jeder Perspektive sichtbar bleiben. Auf der Abbildung 27 ist ein solch sicherheitskritisches Objekt zu sehen. Die Position des daneben installierten Monitors wurde extra angepasst, damit der Richtungshinweis klar und deutlich aus der entfernten Position des Fußgängers verstanden wird. Jedoch muss dabei die Beschilderung *Exit* sichtbar bleiben. Solche Objekte haben die höchste Priorität und müssen gegebenenfalls beachtet werden.



Abbildung 27: Navigationsanzeige in der Nähe eines sicherheitskritischen Bereichs

- lange direkte Strecken

Auch bei der Definition von Landmarken sind solche Teile der Route zu beachten. Die Fußgänger brauchen entlang der langen Strecke ohne Richtungsänderung zusätzliche Hinweise, damit sie einen Beweis bekommen, dass der ausgewählte Weg richtig ist. In die Beispielroute ist solch eine lange gerade Strecke integriert und man geht dabei durch einen Korridor. Die Richtungshinweise werden als VERTIKAL platziert, nämlich unter der Decke, und zeigen die Richtung geradeaus an. Die Platzierung an den Wänden ist wegen der vielfältigen Werbeplakate nicht gewünscht.

Dabei versucht man auf unnötige Monitore zu verzichten, sofern sich die Richtungsanzeige nicht ändert. Diese Duplizierung der Navigationshinweise ist aber nur in den Fällen wichtig, wenn der nächste Knoten, nämlich der Monitor mit der neuen Information, vom Anfangspunkt der Teilroute aus, nicht sichtbar ist. Auch wenn die Information auf dem Monitor aus der aktuellen Perspektive nicht

klar identifiziert werden kann und die neue Richtungsanzeige nicht zu sehen ist, so kann man trotzdem auf zusätzliche Abbildungsmedien verzichten. Da der Monitor eine künstliche Landmarke in der Umgebung ist, wird er von dem Fußgänger als der gesuchte Knoten der Kette erkannt. Die Person wird sich an dann nähern und in einigen Schritten die Semantik der Information erkennen können (s.Abb.:28). Durch die statische Beschilderung, die durch das ganze Gebäude verteilt ist, kann die Sichtbarkeit der Navigationshinweise verhindert werden. In solchen Fällen ist die Duplizierung der Monitore möglich.



Abbildung 28: Navigationsanzeige innerhalb eines geraden Korridors

- markante Objekte

Die Objekte, die von den Testpersonen als erste genannt werden, sind als Landmarken zu bezeichnen. Diese Objekte kann man effizient in die Route integrieren und Abbildungsmedien dementsprechend platzieren (wie im Beispiel mit dem Autovermittlungskiosk). Das heißt, wenn die Navigationsanzeige gewünscht ist und daneben sich ein markantes Objekt befindet, dann wird das Abbildungsmedium so platziert, dass es im gleichen Blickwinkel wie die Landmarke bemerkt wird. Nach der Treppe ist beispielsweise die Richtungsänderung vorgeschrieben, dabei wurde „Royal Transfer“ (s.Abb.:26) als das markante Objekt der Umgebung erwähnt (optisch und funktionell einmalig). Aus diesem Grund wird der zusätzliche Monitor unter dem gleichen Blickwinkel wie das oben genannte Autovermittlungskiosk platziert.

Diese definierten Kategorien für die Entscheidungspunkte entlang der Route werden in der vorliegenden Arbeit eingesetzt und für die Beschreibung des Weges von dem Startpunkt zum Ziel, der Sushi-Bar im Erdgeschoss des virtuellen Gebäudes, genutzt. Dabei wurde als Route absichtlich nicht die kürzeste genommen, um die Effizienz des

Verfahrens gegenüber der Navigation ohne Beschilderung zu belegen. Die Implementierung der oben beschriebenen Designmuster findet der Leser in dem virtuellen Gebäudemodell, welches ein Teil dieser Arbeit ist. Die Tabelle 6.3.2 repräsentiert die Interview-Ergebnisse in strukturierter Form.

6.4 Implementierung

Ein unabdingbarer Teil der Realisierung ist die Darstellungsschicht des Navigationssystems. Die komplexe und realistische Repräsentation der räumlichen Objekte erlaubt es, auf die physikalische Ausstattung der Umgebung mit der dynamischen Beschilderung zu verzichten. Die oben erwähnten Testszenarien (s.Kapitel 6.1) müssen bei der Implementierung des Systems ständig beachtet werden, weil die Infrastruktur der Abbildungsmedien an die vorgeschriebene Route angepasst werden muss. Dabei sind folgende Komponenten zu implementieren:

- Gebäudemodell

Hier handelt es sich um die dreidimensionale Darstellung des Flughafengebäudes. Dafür muss die zu entwickelnde virtuelle Umgebung einer hohen Komplexität der Modellierung entsprechen: begehbare Räume, Raumdekoration, Plakate, bunte Werbung. Nur wenn die Testperson solche Störfaktoren aus der realen Welt bei der Navigation beachten muss, kann man die Ergebnisse der Tests als kompetente Basis für die weitere Entwicklung benutzen.

- 3D Simulation der Umgebung

Die Testpersonen brauchen eine realistische Simulation der virtuellen Umgebung, damit beim Testen das übliche kognitive Denken für die Lösung der räumlichen Aufgaben eingebunden wird. Die Testperson muss in dem modellierten virtuellen Gebäude verschiedene Wege gehen können, Blickrichtung ändern, sich an die ausgewählten Objekte annähern. Dafür ist eine 3D Engine nötig, mit deren Hilfe alle genannten Aspekte implementiert werden.

- Installation der Abbildungsmedien

Auf Basis der erwähnten Prinzipien für die Installation der Monitore für die dynamische Beschilderung (s.Kapitel 6.3) muss als Teil des Gebäudes die Reihe der Abbildungsmedien in einer statischen Topologie installiert werden. Dabei muss man für das Szenario (s.Kapitel: 6.1) die Dynamik der Informationsdarstellung implementieren.

ENTSCHEIDUNGSPUNKT	IMAGE SCHEMATA	LOKATIONSVORSCHLAG
Änderung der Ebene	PATH, LINK, VERTICAL	Frontal zu der vorgeschriebenen Richtung. Neben dem Portal (Treppe, Fahrstuhl usw.). Richtungsanzeige: Nach oben/unten.
Richtungsänderung	PATH, LINK, BLOCKAGE	Mit Hindernis: direkt vor dem Hindernis. Ohne Hindernis: direkt vor dem Entscheidungspunkt (z.B. Kreuzung). Richtungsanzeige: rechts/links.
Sicherheitskritische Objekte	ATTRACTION, OBJECT, LINK	Die Objekte müssen trotz des daneben platzierten Abbildungsmediums aus jeder Perspektive sichtbar sein.
Direkte Strecken	SURFACE, SCALE, LINK, PATH	Entlang der Strecke, Frontal zu der Bewegungsrichtung. Im Falle der Unübersichtlichkeit duplizieren. Richtungsanzeige: geradeaus
Markante Objekte	OBJECT, ATTRACTION, LINK	Bezogen auf die Bewegungsbahn des Fußgängers muss das Abbildungsmedium unter dem gleichen Blickwinkel wie das markante Objekt (Landmarke) platziert werden.

Tabelle 1: Lokationsvorschläge für die Abbildungsmedien

6.4.1 Irrlicht

Aus den optischen Gründen wurde entschieden, die geplanten Tests auf der, in der HAW Hamburg installierten Powerwall durchzuführen. Durch die große Fläche der Monitore wirkt die virtuelle Umgebung realistischer und es macht den gesamten Testprozess für die Probanden interessanter und attraktiver. Die heutzutage implementierten Komponenten für den installierten Powerwall erlauben es, die OpenGL(opengl08) Anwendungen auszuführen. Diese Restriktionen spielten eine wichtige Rolle bei der Auswahl der Implementierungstechnologie für die Simulation. Die aktuell beliebteste 3D Engine ist Irrlicht, deren Hauptmerkmale Plattformunabhängigkeit, schnelles 3D-Rendering mit OpenGL und eine breite Palette von benutzbaren Formaten sind. Die Engine ist für die Erstellung von Computerspielen ideal geeignet. Die Plattform ist Open Source und somit kostenlos. Die Anwendungen werden in C++ (lischner07) implementiert. Die Kollisionserkennung kann in die Irrlicht-Programme integriert werden. Der Entwickler muss sich um die Position der Kamera und über das Rendering der Umgebung nicht kümmern, die Aufgaben werden von der Engine übernommen. Die Irrlicht-Engine unterstützt eine breite Palette von 3D Formaten, wie z.B.: Maya (.obj), 3DStudio (.3ds), COLLADA (.dae), DeleD (.dmf), Milkshape (.ms3d), Quake 3 levels (.bsp), Quake2 models (.md2), Microsoft DirectX (.X) etc. Für die Realisierung der relevanten Aufgaben dieser Arbeit wurden folgende Funktionalitäten implementiert:

- Laden des Gebäudemodells als DMF File
Die Karte wird als statische Datei mit allen benötigten Objektstrukturen (JPG Files) in die Ausführungszeit geladen.
- Kollisionserkennung
Damit die Testperson nicht durch die Objekte (wie z.B. Wände) im virtuellen Gebäude laufen kann.
- Dynamik des Navigationsinhalts
Für das Testszenario (s.Kapitel:6.1) ist die Karte des Gebäudes als die statische Basis nicht ausreichend. Der Inhalt auf einigen Monitoren muss sich dynamisch ändern können. Dafür werden zusätzliche Objekte erstellt und geladen, die nichts anderes als Flächen sind, mit denen die betroffenen Monitore bedeckt werden. Die Aufgabe ist, die Navigationshinweise zu verschiedenen Zielen auf einem Monitor in einem bestimmten Zyklus darzustellen. Dafür ändern wir die Strukturen des neu geladenen Objektes in einer Schleife. Die Testperson beobachtet dabei, dass der angezeigte Inhalt sich ständig ändert.

Den gesamten Quell-Code findet der Leser auf den beigelegten CDs der vorliegenden Arbeit. Um die Klassen und Methoden von Irrlicht besser kennenzulernen, ist es von Vorteil die Seite der Engine (irrlich08) zu besuchen. Dort findet man verschiedenartige Informationen inklusive Foren, Tutorials, Dokumentation und vieles mehr. Folgend einige Hauptmethoden und Programmieraspekte, die für die Realisierung der oben genannten Aufgaben eingesetzt wurden:

Wir wählen den passenden Triber-Typ aus. Wie es schon erwähnt, ist es nötig, die Applikation als eine OpenGL-Anwendung zu kompilieren.

```
video::E_DRIVER_TYPE driverType = video::EDT_OPENGL;
```

Das wichtigste Objekt, das auf der Basis des ausgewählten Treibers erzeugt werden muss, ist IrrlichtDevice. Durch den Pointer dieses Objektes werden die Funktionen der Irrlicht zugegriffen. Dann kann das Archiv mit allen benötigten statischen Elementen geladen werden.

```
device->getFileSystem()->addZipFileArchive(„../media/myAirport.zip“);
```

Die in dem Archiv gespeicherte Karte des Gebäudes wird als ein animierter Mesh geladen.

```
scene::IAnimatedMesh* q3levelmesh = smgr->getMesh(„myAirport.dmf“);
```

Nach diesem Prinzip werden folgend alle dynamischen Objekte erstellt, wie z.B. unsere Abbildungsmedien, nämlich die Bildschirme. Die Monitore sind schon als Teil der statischen Karte implementiert. Zusätzlich werden die Flächen geladen, mit denen die Monitore bedeckt werden. Auf diesen Flächen wird der änderbare Inhalt als Animation repräsentiert.

```
scene::ISceneNode* n = smgr->addAnimatedMeshSceneNode(smgr->getMesh(„../media/plane.ms3d“));
```

```
n->setPosition(core::vector3df(-80,130,-1777));
```

```
n->setRotation(core::vector3df(0,-90,0));
```

```
video::ITexture* myTexture = driver->getTexture(„../media/dynamic/left.jpg“);
```

```
video::ITexture* myTexture2 = driver->getTexture(„../media/dynamic/fon_logo_right_2.jpg“);
```

```
core::array<video::ITexture*> textures;
```

```
textures.clear();
```

```
textures.push_back(myTexture);
```

```
textures.push_back(myTexture2);
```

```
if(n)
{
n->setMaterialTexture(0, driver->getTexture(„../media/t351sml.jpg“));
n->setMaterialFlag(video::EMF_LIGHTING, false);
scene::ISceneNodeAnimator* anim = smgr->createTextureAnimator(textures,5000,true);
n->addAnimator(anim);
anim->drop();
}
```

Ein wichtiger Aspekt bei der Implementierung ist die Kollisionserkennung. In der Irrlicht-Engine, ist es relativ einfach, diese Funktionalität zu implementieren. Dafür erstellen wir eine so genannte first shooter Kamera (wie z.B. im 3D Spiel Quake (quake08)). Zu dem Kamera-Objekt wird ein *Collision Response* gebunden. Durch dieses Objekt kontrolliert man, dass die Kamera nicht durch die Wände laufen kann und die Testperson sich entsprechend der Gravitationsgesetze bewegt. `scene::ICameraSceneNode*`

```
camera = smgr->addCameraSceneNodeFPS(0, 100.0f, 300.0f, -1, 0, 0, true);
camera->setPosition(core::vector3df(-100,50,-150));
if (selector)
{
scene::ISceneNodeAnimator* anim = smgr->createCollisionResponseAnimator(
selector, camera, core::vector3df(30,50,30),
core::vector3df(0,-3,0),
core::vector3df(0,100,0));
selector->drop();
camera->addAnimator(anim);
anim->drop();
}
```

Als hilfreicher Start sind die Beispiel-Anwendungen, die man mit der Irrlicht-Engine installiert, zu empfehlen. Die aktuell vorhandene Version von Irrlicht-Engine ist 1.4.2.

6.4.2 DeleD

Ein wesentlicher Teil der praktischen Arbeit bei der Realisierung des Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung ist die Modellierung des virtuellen Gebäudes. Die Hauptkriterien bei der Auswahl eines passenden 3D-Modellierung Tools

waren die Bedienbarkeit der Software, um das geplante Ziel schnellst möglich zu erreichen und die Unterstützung der Output Formate von der Irrlicht-Engine. Folgende Tools wurden für die Lösung dieser Modellierungsaufgabe getestet: DeleD (deled08), MilkShape 3D (milks08), Blender(blende08). Aus den drei erwähnten Anwendungen hat sich der DeleD als ein optimales Hilfstool für die Realisierung der gestellten Aufgaben bewiesen.

Mit Hilfe des Tools kann man relativ leicht die 3D Welten erstellen. Die Objekte bestehen aus Polygonen. Die Anwendung bietet eine breite Palette von Werkzeugen, um Objektteile zu manipulieren, sie zu bearbeiten und modifizieren. So entstehen fertige virtuelle Einheiten. Mit Hilfe eines integrierten Struktur-Editors kann man die Objekte mit einer beliebigen Struktur bedecken. Nicht nur statische Objekte können mit Hilfe von DeleD 3D Editor erstellt werden, sondern auch animierte. Für diese Arbeit wurde diese Funktionalität aber nicht benötigt.

Der 3D Editor bietet eine Reihe von Features, um die Modellierung zu erleichtern. Man bearbeitet die Objekte in einem Flächen-, Vertex-, Knoten- oder Polygon-Modus. So kann man beliebige Teile der Objekte verschieben, skalieren, zusammenfügen und vieles mehr. Kostenlos ist eine DeleD 3D Editor LITE Version verfügbar, die jedoch nicht alle Funktionalitäten des Tools anbietet. Für diese Arbeit waren aber die Möglichkeiten der kostenlosen DeleD-Version ausreichend. Der Entwickler beobachtet das zu erstellende Objekt aus vier Perspektiven (s. Abb.: 29).

Schritt für Schritt wurde mit Hilfe des 3D Editors ein virtuelles Gebäude auf 2 Ebe-

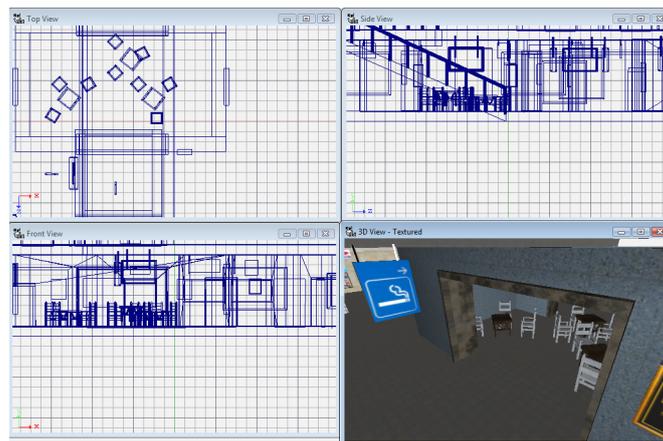


Abbildung 29: Entwicklung eines virtuellen Gebäudes mit Hilfe von DeleD

nen erstellt. Dabei wurden nicht nur begehbare Räume des Gebäudes, sondern auch verschiedene Objekte, die in der realen Welt für ein großes Objekt typisch sind, modelliert. Das Gebäude wurde mit Cafés, Läden, Kiosken, Werbeplakaten, Möbeln etc. ausgestattet. Als Strukturen für die modellierten Objekte dienen die graphischen Da-

teilen, die entweder aus der vorhandenen Beispiel-Bibliothek des Tools oder aus den externen Quellen integriert werden.

Mit Hilfe eines vorhandenen Irrlicht-Plugins kann man die Navigation einer Irrlicht-kompilierten Umgebung simulieren. Dadurch ist es nicht nötig, die modifizierte Karte für die Zwischentests unter Irrlicht neuzuladen und zu kompilieren.

Der Editor bietet zwei Output-Formate für die erstellten Dateien an. Eine davon wird in Irrlicht unterstützt, nämlich DeleD Map Files(.dmf). Wenn die Karte komplett ist, muss sie in einem Archiv mit allen benötigten Strukturen zusammengefasst und, wie schon in 6.4.1 erwähnt, in der Irrlicht Applikation geladen werden.

6.5 Fazit

Im Rahmen des Kapitels Realisierung wurden folgende Ziele erreicht:

Spezifische Testszenarien wurden erarbeitet, die für Untersuchung der Navigation der Fußgänger auf Basis der dynamischen Beschilderung gut geeignet sind. Die ergonomischen Aspekte der Navigation stehen bei der geplanten Evaluierung im Mittelpunkt.

Die visuelle Darstellung der Navigationshinweise wurde entwickelt und die Anzeigen wurden für die konkrete Testroute auf den Monitoren platziert.

Auf Basis von Technologien wie Landmarken und Image Schemata, wurden Grundprinzipien für die Platzierung der Navigationshinweise in einem Gebäude entwickelt. Das Modell der Medienverteilung wurde experimentell durch die zusätzlichen Tests analysiert und verbessert. Für die Testszenarien wurde die konkrete Infrastruktur nach den entwickelten Vorschlägen implementiert.

Als praktischer Teil der Arbeit wurde das virtuelle Gebäude mit allen benötigten räumlichen Objekten implementiert. Das Gebäude dient als Grundlage für die Lösung der räumlichen Aufgaben bei den geplanten Tests. Als Testumgebung wird sich die Testperson in einer virtuellen Welt bewegen. Die Game-Engine Irrlicht ist die ausgewählte Plattform für die Realisierung der menschlichen Bewegung in einer dreidimensionalen Umgebung. Auf der Abbildung 30 ist das Navigationssystem auf Basis der dynamischen Beschilderung während des Tests dargestellt.



Abbildung 30: Navigationssystem auf Basis der dynamischen Beschilderung. Testen in der virtuellen Umgebung.

7 Tests und Evaluierung

Der prototypische Entwurf eines Navigationssystems, das seine Benutzer mit Hilfe der dynamischen Beschilderung zum Ziel führt, wird im Rahmen der virtuellen Umgebung getestet und ausgewertet. Dadurch werden die wesentlichen Vor- und Nachteile des Prototyps herauskristallisiert. Bei der Auswertung der Testergebnisse findet man die Basisprobleme des vorgeschlagenen Konzeptes und dadurch können sie schon vor der realen Installation überarbeitet und behoben werden. Das wesentliche Ziel ist, die ergonomischen Aspekte des Systems zu überprüfen und zu verbessern. In der Evaluierungsphase werden die Verbesserungsmethoden angewendet, um die in den Tests erkannten Schwachstellen zu beseitigen. Es wurde entschieden, die Tests nicht nur durchzuführen und zu analysieren, sondern mit Hilfe des mobilen Usability Labors der HAW Hamburg als kurze Filme einzeln aufzunehmen. Das macht die spätere Auswertung der Tests noch genauer und zuverlässiger, weil man immer nach dem eigentlichen Testverlauf das Verhalten, die Emotionen und die verbalen Kommentare der Probanden analysieren kann.

Im Abschnitt 7.1 wird dem Leser die Ausstattung des eingesetzten mobilen Labors vorgestellt. Das allgemeine Profil der eingeladenen Testpersonen ist unter 7.2 zu finden.

Der Verlauf des Tests ist unter 7.3 beschrieben.



Abbildung 31: Ausstattung des mobilen Labors

Im Abschnitt 7.4 werden die Ergebnisse der durchgeführten Tests vorgestellt.

Danach werden die Ergebnisse im Abschnitt 7.5 ausgewertet. Auf Basis dieser Analyse kann man feststellen, ob die ausgewählte Strategie für die Lösung der Konfliktsituationen richtig war. Dadurch werden die möglichen Schwachstellen des Konzeptes gefunden.

In der Evaluierung 7.6 macht man den nächsten Schritt für die Realisierung des geplanten Systems. Dabei besteht die Hauptaufgabe darin, die Verteilung der gemeinsam genutzten Ressourcen zu optimieren.

7.1 Mobiles Labor

Die Studentengruppen der HAW Hamburg unter der Leitung von Professor Jörg Raasch beschäftigen sich mit der Problematik der Usability Auswertung der Software Produkte. Dabei handelt es sich um unterschiedliche Testmethoden, die Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit der Applikationen zu überprüfen. Parallel zu dem stationären Usability-Labor, in dem man professionelle Videoaufnahme der laufenden Tests und die Messung der Metadaten durchführen kann, existiert ein so genanntes mobiles Labor (s.Abb.: 31). Mit dessen Hilfe sind die Usability-Tests auch außerhalb des Hauses möglich. Dadurch, dass für das Testen der in dieser Arbeit implementierten virtuellen Navigation die Ausstattung eines anderen Labors, nämlich Powerwall, benutzt werden muss, wird die Mobilität des Usability-Labors benötigt. Die benötigte Ausstattung für die Tests besteht aus drei Videokameras und einem zusätzlichen Mikrofon. Mit den Kameras kann man alle wichtigen Perspektiven beobachten (s.Abb.: 32). Die zentrale Bedeutung gewinnt die Kamera, die direkt den Verlauf der Navigationsaufgabe aufnimmt. Damit kann das gesamte Verhalten der Testperson in der virtuellen Umgebung gesehen und später analysiert werden. Die zwei anderen Kameras sind für die weiteren Befragungen der Testpersonen nötig. Ihre Positionen sind so gewählt, dass eine Testperson im Mittelpunkt steht. Für die Tests wurde die spezielle diffuse Beleuchtung des Raums eingerichtet, um die Aufnahmequalität zu verbessern.

7.2 Profile der Testpersonen

Bei der Auswahl der Testpersonen ist zu beachten, dass sie in zwei Kategorien, entsprechend ihrer Vertrautheit mit dem Computer, eingeordnet werden: Anfänger oder Experte. Dadurch, dass in dieser Arbeit eine simulierte Umgebung für den Test verwendet wird, ist es wichtig, dass auch die Amateure sich schnell in der virtuellen Welt



Abbildung 32: Testverlauf aus drei verschiedenen Perspektiven

orientieren können. Ist das nicht der Fall und können nur die erfahrenen Computerspieler problemlos navigieren, ist die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung nicht optimal und die Steuerung muss überarbeitet werden.

Für die Tests war es nötig, dass sowohl männliche als auch weibliche Probanden daran teilnehmen. Schon in der Arbeit (james97) wurde erwähnt, dass die räumliche Orientierung von Männern und Frauen sich von einander unterscheiden. Männer beispielsweise tendieren dazu, die Umgebung geometrisch zu beschreiben: „Nach 500 Metern links abbiegen und dann 30 Meter geradeaus“. Im Gegensatz dazu orientieren sich Frauen eher mit Hilfe der Landmarken: „Am Hauptbahnhof rechts abbiegen und dann geradeaus bis zur Bibliothek“. Deswegen kann der Vergleich von den Testergebnissen anhand des Geschlechtes der Testpersonen interessante Aspekte der Navigation im Raum beinhalten.

Insgesamt wurden zwölf Personen getestet, davon drei Frauen. Zwei der Personen wurden als unerfahrene Computerbenutzer definiert. Sechs der Personen sind mit den klassischen 3D Computerspielen wie Quake (quake08) vertraut und spielen auch regelmäßig.

7.3 Testverlauf

Die Testperson befindet sich zentral vor den Monitoren der Powerwall. Der Arbeitsplatz ist mit einer Maus und einer Tastatur für die Steuerung ausgestattet. Die Kameras des mobilen Usability Labors beobachten die Testperson aus drei Perspektiven. Eine der drei Kameras ist mit einem externen Mikrofon ausgestattet, um die Kommentare der Probanden und die Befragung in höherer Qualität aufzunehmen.

Der Testperson wird angeboten, sich mit der Steuerung der Bewegung im virtuellen Raum vertraut zu machen. Dann wird die Aufgabe erläutert.

Nach der Formulierung ist die Testperson frei in Ihrer Wahl, entweder „blind“ nach der Sushi-Bar zu suchen, oder die entsprechenden Navigationshinweise wahrzunehmen.

Dabei ist der Testperson von Anfang an nicht klar, was als eine Navigationshilfe der Umgebung gemeint ist. Das Ziel ist zu überprüfen, ob die angebotene Hilfe auf den Monitoren intuitiv erkannt wird.

Danach beginnt die Testperson den Weg zum gesuchten Ziel. Die Anfangsposition in dem virtuellen Gebäude ist so gewählt, dass die Monitore der Navigation nicht sichtbar sind. Deswegen muss die Testperson die ersten Schritte in der unbekanntem Umgebung allein machen, um sie kennenzulernen. Die Route zu dem Ziel, die man auf den Monitoren sieht, ist wesentlich länger und komplizierter als die kürzeste Strecke. Das Ziel dieser eingebauten Komplexität ist nachzuweisen, dass die Fußgänger der Navigation vertrauen und folgen, ohne eigene Routenberechnungen durchzuführen. Auf den Monitoren ist die Kombination aus der Semantik und Navigationsanzeige dargestellt. Der Fußgänger sieht das Icon des gesuchten Objektes (Sushi-Bar) und die entsprechende Richtungsanzeige zum nächsten Monitor der Route. Die wichtigen Knoten sind die, die in dem Kapitel 6 als mögliche Varianten der Informationsverteilung für mehrere konkurrierende Routen erwähnt wurden. Das sind jeweils drei Monitore für jedes der beiden Testszenarios. In einem Fall ist das Problem durch die zeitliche Verteilung der Ressource gelöst worden. Für das zweite Szenario wird die Fläche des Monitors auf mehrere Sektoren zerlegt und jede Route bekommt den entsprechenden Platz auf dem Abbildungsmedium.

Die Testpersonen müssen den Weg zum Ziel ohne externe Hilfe oder Hinweise schaffen. Auch wenn Unklarheiten bei der Navigation auftreten ist der Fußgänger motiviert, die Lösung mit Hilfe der in der Umgebung angebotenen Navigationsanzeigen zu finden. Wenn das gesuchte Ziel, also die Sushi-Bar, gefunden wurde, gilt die Aufgabe als erfolgreich gelöst. Man darf jedoch nicht vergessen, dass nicht das schnell erreichte Ziel für die Auswertung des implementierten Systemprototyps interessant ist, sondern die eigentliche Suche.

Danach findet eine kurze Befragung der Testperson statt. Hier werden Fragen gestellt, um die ergonomischen Aspekte der Navigation, die Benutzbarkeit in der realen Welt und auch die Realität der virtuellen Umgebung zu beurteilen.

7.4 Ergebnisse

Als erstes muss erwähnt werden, dass alle Probanden das Ziel, nämlich die Sushi-Bar, erfolgreich erreicht haben. Das Interessante ist jedoch nicht das Endergebnis der durchgeführten Tests, sondern der eigentliche Suchprozess. In diesem Abschnitt werden wichtige Aspekte der Navigation in der virtuellen Umgebung erläutert und anschließend ausgewertet. Die Ergebnisse von allen Testpersonen bestätigen die ausgewählte

Strategie der Konfliktlösung bei der Navigation zu mehreren Zielen.

- ***Intuitives Verstehen der Navigationshilfe***

Da die Testpersonen von Anfang an nicht wussten, welche Art der Navigationshilfe ihnen angeboten wird, benötigten sie einige Sekunden, um sich mit der Umgebung vertraut zu machen. Dann wurde der erste Monitor, der auf der 1. Etage des Gebäudes direkt über der Treppe hing, von den Testpersonen bemerkt. Es wurde den Probanden sofort klar, welche Art der Information sich auf dem Monitor befand. Die Semantik, nämlich das Ziel zu dem geführt wird, war sichtbar und verständlich. Später hat man den markanten Monitoren vertrauen können, die eine von den umliegenden Objekten kontrastierende Farbe hatten. Eine der Probandinnen hatte aufgrund einer Sehschwäche Probleme bei der Erkennung des Inhaltes auf dem Monitor und hat daher den ersten Bildschirm nicht einmal sehen können. Erst beim zweiten Monitor konnte sie die Information auf dem Monitor gut erkennen und hatte sie keine weiteren Schwierigkeiten bei der Erkennung der Monitore in der Umgebung.

- ***Verkettung der Monitore***

Alle Monitore gehören zu einer geschlossenen Kette, die die Route vom Start- zum Zielpunkt repräsentiert. Für die Navigation auf Basis der dynamischen Beschilderung war es sehr wichtig, dass die Fußgänger den Faden im Laufe der Route nicht verlieren. Das heißt, die Monitore wurden angemessen verteilt, damit man leicht den nächsten Knoten der Route finden konnte. Durch die außergewöhnliche Optik der Monitore war es für die Testpersonen nicht mehr nötig, den abgebildeten Inhalt sofort zu erkennen, denn es war bereits ausreichend, den Navigationsmonitor von den anderen Objekten in der Umgebung unterscheiden zu können. Erst bei der Annäherung an den Bildschirm konnten die Fußgänger feststellen, ob das gesuchte Ziel auf dem Monitor angezeigt ist.

- ***Abbildung der Semantik***

Auf dem Monitor haben die Testpersonen, wie bereits erwähnt, das Icon der gesuchten Sushi-Bar gesehen. Jedoch konnte das dargestellte Bild nicht sofort identifiziert werden. Das heißt, nur aus einer eingegrenzten Entfernung konnte man feststellen, dass es sich tatsächlich um das gesuchte Objekt handelt. Die grafische Darstellung des Ziels als Icon wurde von den Probanden intuitiv verstanden und es gab keine Probleme bei der Abbildung der Realität auf die dargestellte Grafik.

- ***Abbildung der Navigationshinweise***

Für die Pfeile, die die Richtung zu dem nächsten Monitor darstellen, wurden bun-

te und zu der Umgebung und dem Monitor kontrastierende Farben ausgewählt. Die Testpersonen haben die Farbe der Pfeile schneller als die Richtung selbst erkannt, die die Pfeile repräsentierten. Die ausgewählte Größe beträgt ungefähr die Hälfte des semantischen Icons und ein Viertel des ganzen Monitors. Das macht sie aus einer relativ großen Entfernung zum Monitor sichtbar. Beim Verständnis der Navigationsinformation gab es keine Probleme. Die Testpersonen haben bestätigt, dass die Richtungsanzeigen klar definiert wurden. Darüber hinaus gab es keine Mehrdeutigkeiten bei der Auswahl der nächsten Bewegungsrichtung.

- ***Markantes optisches Erscheinen der Abbildungsmedien***

Die Farbe des Monitors ist sein wichtiges Merkmal. Nachdem der erste Monitor der Route von der Testperson erkannt wurde, hat sie weiter nach dieser Farbe zwischen allen Objekten der Umgebung intuitiv gesucht. Der Monitor kann, dank seinen markanten optischen Attributen, schneller gesehen werden als der darauf abgebildete Inhalt. Der Fußgänger ging zu dem erkannten Monitor, obwohl er nicht sicher war, ob die dargestellte Navigationshilfe zu dem gesuchten Ziel führt.

- ***Komplexität der Route***

Einige Testpersonen haben im Laufe der Route festgestellt, dass das Navigationssystem für sie einen längeren Weg ausgesucht hat als die kürzeste existierende Route. Trotzdem hat niemand die Navigationshinweise ignoriert, um eine eigene Route zu berechnen und einen alternativen kürzeren Weg zu finden. Alle Testpersonen sind den Navigationshinweisen gefolgt bis das Ziel erreicht wurde.

- ***Verteilung der Monitore für die konkurrierenden Routen (zeitlich)***

Für die Tests wurde ein Zeitschlitz von fünf Sekunden für die Monitore ausgewählt. Dieser stellte die Navigation zu verschiedenen Zielen dar. Alle Testpersonen haben bemerkt, dass der Inhalt auf dem Monitor sich periodisch ändert. Nur eine Person hat dabei die Orientierung kurz verloren. Zu dem Zeitpunkt, als die Testperson den Inhalt auf dem Monitor erkennen konnte, hat er die Navigation nicht zu der gesuchten Sushi-Bar sondern zu dem nicht relevanten Duty-Free Shop gesehen. Die Information war für ihn nicht wichtig und er hat die Bewegungsrichtung spontan geändert, ohne auf die Navigationshinweise zu achten. In dem Raum, in dem keine Monitore platziert wurden, die zu der Sushi-Bar führen, hat der Fußgänger entschieden, zurück zu dem verlassenen Raum zu kehren. Erst danach hat er gemerkt, dass der Inhalt auf dem Monitor dynamisch ist und dass eine der angezeigten Informationshilfen genau zu dem gesuchten Objekt führt. Weiterhin gab es jedoch keine Missverständnisse bei der Wegsuche.

- ***Verteilung der Monitore für die konkurrierenden Routen(Flächenverteilung)***

Dadurch dass der Monitor gleichzeitig die Navigationsinformation zu zwei verschiedenen Zielen dargestellt hat, haben die Testpersonen die Information erst ganz wenig entfernt von dem eigentlichen Abbildungsmedium definiert. Keiner hatte Probleme damit und den Testpersonen hat wie davor das markante optische Erscheinungsbild der Bildschirme geholfen, die relevante Informationshilfe von den irrelevanten zu unterscheiden.

- ***Beachtung der Objekte in der Umgebung***

Einige Probanden haben erwähnt, dass die Objekte der Umgebung während der Lösung der gestellten räumlichen Aufgabe von ihnen nicht beachtet wurden. Sie konnten sich nur an den Inhalt einiger bunten Plakate erinnern und nicht an die anderen Objekte wie z.B. Cafés oder Reisebüroschalter. Dabei hat man nur die Information wahrgenommen, die von dem Navigationssystem angeboten wurde. Auch die Objekte, die bei den früheren Tests in der Umgebung (s Kap. 6.3) als Landmarken definiert wurden, sind diesmal missachtet worden.

- ***Steuerung***

Diejenigen, die keine geübten Computerspieler sind, hatten einige Schwierigkeiten bei der Steuerung. Die Aufgabe bestand darin, die Blickrichtung, die von der Maus gesteuert wird, der Bewegungsrichtung(Tastatur) anpassen zu können. Deswegen haben diese Personen sich durch die Umgebung nicht fließend, sondern schrittweise bewegt. Eine derartige Steuerung ist gewöhnungsbedürftig. Die weniger erfahrenen Spieler haben etwas mehr Zeit gebraucht, um das Ziel zu erreichen. Dadurch wurden die gesamten Testergebnisse aber nicht negativ beeinflusst.

7.5 Auswertung

Die oben erwähnten Ergebnisse müssen analysiert und ausgewertet werden, um die Effizienz des Systemprototyps und seine Akzeptanz bei dem Endbenutzer zu beweisen und zu verbessern.

- ***Erkennung der Abbildungsmedien***

Durch die markanten optischen Merkmale der Monitore sind sie in der Umgebung sichtbar und werden schnell von den Fußgängern bemerkt. Sobald der erste Monitor als Leitfaden gefunden wird, merkt sich der Benutzer, wie die Navigationsinformation ausgestattet ist. Die nächsten Monitore werden schnell von den anderen Objekten der Umgebung gefiltert. Dadurch, dass die Bildschirme genau

so platziert sind wie die statische Beschilderung, erkennt man die informative Rolle der dynamischen Beschilderung. So werden sie nicht mit den bunten Werbeplakaten verwechselt.

- ***Navigation zu den konkurrierenden Zielen***

Aus den zwei getesteten Möglichkeiten, die Navigation zu mehreren Zielen auf einem Monitor darzustellen, nämlich der periodischen Änderung des Inhaltes und der Flächenverteilung auf dem Monitor, ergibt sich, dass beide Methoden gleich gut geeignet sind. Die für den Informationsaustausch gewählte Zeitspanne von fünf Sekunden wurde von den Fußgängern als optimal definiert. Dadurch haben die Testpersonen frühzeitig erkannt, dass der Inhalt auf dem Monitor sich periodisch ändert und auch wenn die Navigation zu dem irrelevanten Ziel dargestellt war, war es eine Motivation für die Fußgänger abzuwarten und den gesamten Inhalt zu analysieren. Die Verteilung der Fläche eines Monitors ist ebenso eine effiziente Technologie, um zu mehreren Zielen gleichzeitig zu führen. Dadurch, dass nur zwei Bilder auf dem Monitor dargestellt wurden, waren die Bilder relativ groß und für die Fußgänger gut zu sehen. Mit der steigenden Anzahl der Ziele, die gleichzeitig auf einem Monitor verfolgt werden können, verliert man jedoch die Übersichtlichkeit der Information.

- ***Vertrauen der Fußgänger***

Die Navigationsinformation wurde von den Testpersonen als die gebräuchliche Hilfe zur Lösung der räumlichen Aufgaben wahrgenommen und den Hinweisen des Navigationssystems wurde gefolgt. Die anderen Objekte der Umgebung sind dabei so gut wie gar nicht beachtet worden. Das bedeutet, dass die Monitore des Navigationssystems als künstliche Landmarken betrachtet wurden und nur sie zu dem Zeitpunkt die Aufmerksamkeit der Fußgänger hatten. Wenn der nächste Bildschirm aus einer relativ großen Entfernung gesehen wurde, ohne dass der Inhalt klar war, haben die Probanden sich trotzdem weiter in Richtung des bemerkten Monitors bewegt.

- ***Semantik und Navigationsanzeigen***

Die ausgewählte Form, das gesuchte Ziel auf dem Monitor als Icon darzustellen, war für die Testpersonen eine klare und eindeutige Repräsentation des realen Objektes. Die Pfeile, die die Richtung darstellen, waren groß und kontrastierend genug, so, dass die Fußgänger sie schnell erkannten.

7.6 Evaluierung

Im Rahmen der Evaluierung des Systems wurden einige kritische Aspekte des realisierten Prototyps analysiert und als Vergleichsbasis mit unterschiedlichen Werten getestet. Für die Lösung einer wichtigen Aufgabe, nämlich gleichzeitig mehrere konkurrierende Gruppen zu navigieren, wurden die verschiedenen Möglichkeiten ausprobiert, um akzeptable Parameter für die reale Installation des Systems zu definieren. Wie schon erwähnt, gibt es zwei Varianten, die Information darzustellen, um die gemeinsam benutzbare Ressource zu verteilen. Entweder wird die gesamte Fläche eines Monitors in mehrere Segmente verteilt, wodurch die Navigationsinformation zu jedem Ziel eine bestimmte Fläche auf dem Abbildungsmedium bekommt oder der Inhalt auf dem Monitor wird periodisch gewechselt.

Für die erste Möglichkeit wurden einige Experimente mit der Anzahl der dargestellten Fragmente auf dem Monitor durchgeführt. Im Rahmen der oben beschriebenen Tests handelte es sich um zwei verschiedene Ziele, die gleichzeitig dargestellt wurden. Für die Evaluierung wurde der Monitor in drei, vier und fünf Segmente der gleichen Größe verteilt. Bei der Befragung der Testpersonen wurde folgendes festgestellt: Mehr als vier gleichzeitig dargestellte Fragmente sind kaum zu sehen und somit nicht zu erkennen. Um den Inhalt zu verstehen, muss die Entfernung vom Monitor aus sehr klein sein, was in der realen Welt für die Navigation in einem komplexen Gebäude wie Flughafen nicht akzeptabel ist. Man möchte die Information so schnell wie möglich erkennen.

Nach dem gleichen Prinzip wurde die Anzahl der periodisch angezeigten Navigationsinformationen erhöht. Bei vier verschiedenen Routen und dem Zeitschlitz von vier Sekunden pro Bild hat die Testperson den erwarteten Inhalt nicht mehr sehen können, weil der Weg von einem Monitor zu dem anderen kürzer war als die Zeit bis das gesuchte Ziel angezeigt wurde. In der realen Welt sind die Wege länger als die in der virtuellen Umgebung. Aus den Tests ergab sich folgendes: Drei Bilder mit einem Intervall von fünf Sekunden sind die höchsten Werte, die von den Benutzern akzeptiert werden.

7.7 Fazit

In diesem Kapitel wurden die im Laufe der Arbeit diskutierten Vorteile eines Navigationssystems auf Basis der dynamischen Beschilderung getestet und bewiesen. Die Akzeptanz einer solchen Technologie für die Realisierung der Navigation in einem großen und unübersichtlichen Gebäude bei den Fußgängern ist sehr groß. Die Testpersonen fanden es interessant und realistisch genug, die räumlichen Aufgaben in einer virtuellen Umgebung zu lösen. Die wichtige Frage, ob man solch ein System für die

Gruppenavigation einsetzen kann oder nicht, wurde ebenfalls beantwortet. Eine derartige Navigation ist für die Führung von Gruppen durch das Gebäude geeignet. Sogar mehrere Gruppen können gleichzeitig zu verschiedenen Zielen navigiert werden. Aus ergonomischen Gründen ist aber die Anzahl der gleichzeitig verfolgten Ziele begrenzt.

8 Methodische Abstraktion

In der methodischen Abstraktion muss das System, das im Rahmen dieser Arbeit prototypisch entwickelt wurde, aus anderen Perspektiven untersucht werden. Dabei muss die Vielfältigkeit der möglichen Einsatzgebiete beachtet werden.

Das Navigationssystem auf Basis der dynamischen Beschilderung wurde als ein Indoor-Navigationssystem für komplexe Gebäude vorgestellt. Jetzt stellt sich die Frage, ob das System auch für die Outdoor-Bereiche geeignet ist. Der weitere mögliche Einsatzort wäre eine Verbindung aus Indoor- und Outdoorumgebungen, wie z.B. ein großes Konferenzzentrum oder Universitätscampus. Dabei brauchen die Teilnehmer die Navigationshilfe sowohl innerhalb als auch zwischen den Gebäuden. Als eine logische Verbindung der Teilnehmer in virtuelle Gruppen kann man sich folgendes vorstellen: Diejenigen, die gerade einen Vortrag zu dem Thema *Künstliche Intelligenz* besucht haben, würden sich auch für dieses Thema *Neuronale Netze* interessieren. Dieser Vortrag beginnt in 15 Minuten in dem Gebäude C und die Navigation wird den potentiellen Hörern mittels der dynamischen Beschilderung angeboten.

Weitere Möglichkeiten, das System zu integrieren, sind die so genannten Rescue Szenarien. In einem Gebäude wird im Notfall nicht mehr die kommerzielle Navigation zu den relevanten Objekten in der Nähe angezeigt, sondern eine Route zu dem nächsten Notausgang für die Evakuierung der Flughafengäste. Dabei muss die zusätzliche Aufgabe des Systems gelöst werden, nämlich eine effiziente Ressourcenverteilung. Das System muss die Auslastung der Ausgänge berechnen können, damit die Gruppen schnell und gefahrlos das Gebäude verlassen. Eine ähnliche Einsatzmöglichkeit wäre eine Ressourcenverteilung wie z.B. Schalter oder Passkontrolle, damit die Passagiere schnell bedient werden können. Dafür ist das Navigationssystem auf Basis der dynamischen Beschilderung ein passender Weg, die Warteschlangen zu organisieren. Die Lösungen für die gestellten Aufgaben findet man in den Bereichen der Warteschlangentheorie und Markow-Ketten (taschk06).

Wenn wir von der Idee der Gruppennavigation abstrahieren und nur die Darstellungsmöglichkeiten, nämlich die Monitore, nutzen möchten, dann kann man sich ein System vorstellen, das die Navigationsanzeigen auf dem nächsten Monitor darstellt, wenn der Benutzer sich in der Nähe des Monitors befindet. Dann handelt es sich um die individuelle Navigationshilfe, die beispielsweise für die Fälle geeignet ist, in denen man ein

eigenes Profil mit den entsprechenden Suchkriterien auf dem mobilen Gerät gespeichert hat. Die Person wird lokalisiert und auf dem großen Monitor kann sich der Benutzer die Navigation in hoher Auflösung anschauen.

9 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde der Versuch gemacht, eine optimale Navigationshilfe für Fußgänger in einem großen und unübersichtlichen Gebäude zu erstellen. Durch die Recherche, deren Ergebnisse in den ersten Kapiteln dieser Arbeit beschrieben werden, wird deutlich, dass ein Navigationssystem für Fußgänger auf den Prinzipien des menschlichen Raumverstehens basieren muss, um den Benutzern eine effiziente Hilfe zu sein. Die Landmarken sind ein wichtiger Bestandteil eines solchen benutzerfreundlichen Navigationssystems. Obwohl mentale Karten eine wichtige Rolle bei der Wegsuche spielen, war das Ziel dieser Arbeit, die Personen ohne mentale Karten zum Ziel zu führen, da es sich um eine unbekannte und unübersichtliche Umgebung handelt.

Die Umgebung, für die der prototypische Entwurf des Systems entwickelt wurde, musste den Anforderungen gerecht werden, dass der Benutzer aufgrund von Zeitmangel und Gepäck in der Hand, nicht das mobile Gerät für die Abfrage der Navigationshinweise benutzen konnte. Die passende Lösung in dieser Situation war die vorhandene Infrastruktur von Bildschirmen, die heutzutage oft für Werbung in Flughäfen benutzt werden. Diese können somit auch als Medien für die Darstellung der Navigationshilfe dienen. Dabei gewinnt man die Dynamik des Inhaltes, der an den Kontext leicht anpassbar ist. Solche Medien werden von zahlreichen Personen gleichzeitig beobachtet und so kann man ihnen nicht nur einem sondern mehreren Benutzern die Navigation anbieten. Die dynamische Beschilderung sorgt dafür, dass der Passant zu einem bestimmten Zeitpunkt zu dem aktuell interessanten Ziel hin navigiert wird. Die markanten optischen Merkmale der Abbildungsmedien machen sie zu den künstlichen Landmarken, die bei der Navigation von Fußgängern in der Umgebung leicht bemerkt werden und denen intuitiv gefolgt werden kann.

Das System kann gleichzeitig nicht nur eine Gruppe, sondern mehrere Gruppen von Flughafengästen zu verschiedenen Zielen navigieren. Dadurch, dass die Anzahl der Monitore möglichst klein gehalten werden muss, beschäftigt sich das System mit der Lösung folgender Probleme: Wie kann eine Ressource für mehrere konkurrierende Ziele genutzt werden? In der vorliegenden Ausarbeitung wurden zwei verschiedene Lösungsansätze erarbeitet und später getestet.

Das Ziel dieser Arbeit war es nachzuweisen, dass solche alternativen Mittel der Navigation für Fußgänger im Indoor-Bereich, wie die Führung mit Hilfe der dynamischen

Beschilderung, effizient und zuverlässig sind. Dabei wurde die Idee der künstlichen Landmarken implementiert, indem die Monitore als markante Objekte die Aufmerksamkeit der Benutzer auf sich zogen. Als Endprodukt wurde eine virtuelle Testumgebung implementiert, in der man sehr realistisch das Verhalten der Fußgänger in einem sehr großen Gebäude reproduzieren konnte. Das mit Hilfe eines graphischen Editors (deled08) entwickelte Raummodell des Flughafens stellte eine komplexe Infrastruktur der räumlichen Objekte dar. Dies machte die Testergebnisse zuverlässig und genau. Die Infrastruktur der in der virtuellen Umgebung platzierten Abbildungsmedien wurde mit Hilfe der zusätzlichen Tests und Befragungen, wie auch auf Basis der Aspekte der Image Schemata (raub97) und Landmarken (Lit 40) entwickelt. Durch eine geschickte Verteilung der Monitore in der Umgebung wurde das Ziel erreicht, möglichst wenige Medien zu installieren aber wiederum genügend, um jeden Entscheidungsknoten entlang der Route mit der dynamischen Beschilderung auszustatten. Die Strategie für die Darstellung der konkurrierenden Navigationsanzeigen auf gemeinsam genutzten Ressourcen wurde implementiert, indem zwei verschiedene Lösungen zur Verfügung gestellt wurden: Verteilung der Fläche eines Monitors für mehrere Ziele und die begrenzte zeitliche Reservierung der Ressource pro Navigationsanzeige. In weiteren Evaluierungstests wurde die maximal erlaubte Anzahl der Navigationsanzeigen pro Medium gemessen, um die Wahrnehmung der Navigationshinweise von den Fußgängern zu verbessern. Durch die Implementierung der Testumgebung als virtuelle Realität wurde eine Plattform für die weitere Analyse der Navigationskonzepte im Indoor-Bereich ohne Installation der Hardware in der realen Umgebung geschaffen.

Vorschläge für die weitere Arbeit

Für die vorliegende Arbeit wurde ein Prototyp des geplanten Navigationssystems entwickelt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Ergonomie der Navigationsanzeigen und der Lösung der Konfliktsituationen bei der Navigation zu mehreren konkurrierenden Zielen. Die in dem Kapitel Design 5 erwähnten Komponenten des gesamten Systems sind als Erweiterung des vorgestellten Konzeptes dieser Arbeit vorgesehen:

- Routenberechnung, die den Graphen von allen möglichen Wegen im Gebäude benötigt. Dabei sind die Monitore der dynamischen Beschilderung Knoten im Graphen.
- Dadurch, dass die Tests in einer simulierten Umgebung nach dem Prinzip von 3D Spielen durchgeführt wurden, war es nicht möglich, reale Gruppen durch die Umgebung laufen zu lassen. Dafür ist die reale Installation in einem Gebäude

nötig.

- Die Bildung der virtuellen Gruppen, die auf der Analyse von individuellen Profilen der Fußgänger basiert.
- Bestimmung der zeitlichen Aktualität der Information. Dabei stellt sich die Frage, wann sich der Inhalt auf dem Monitor ändern darf, damit die aktuell navigierte Gruppe komplett das Ziel erreicht, ohne das plötzlich irgendwo, im Laufe der Route eine andere Gruppe geführt wird.
- Die Modellierung des virtuellen Gebäudes ist mit einem hohen Aufwand verbunden, weil man manuell das Raummodell konstruiert. Eine alternative Lösung wäre eine automatisierte Erstellung der 3D Modelle auf Basis der vorhandenen zweidimensionalen Zeichnungen des Gebäudes.

10 Referenzen

Literatur

- [lyn60] Lynch, K. *The Image of the city*. Cambridge, MA: MIT Press, 1960.
- [raub97] Raubal, M., Egenhofer, M., Pfoser, D., Tryfona, N. *Structuring space with Image Schemata: Wayfinding in Airports as a Case Study*. COSIT' 97, Laurel Highlands, PA, Oktober, 1997.
- [anagn05] Anagnostopoulos, C., Tsetsos, V., Kikiras, P. *OntoNav: A Semantic Indoor Navigation System*. Pervasive Computing Research Group, Communication Networks Laboratory. Dept of Informatics & Telecommunications, University of Athens, 2005.
- [cityg] *CityGML: Exchange and Storage of Virtual 3D City Models*. [www.citygml.org], Letzter Zugriff: 12.10.2008.
- [kogan08] Kogan, B. *Entwicklung einer Navigationsplattform für die dynamische Fußgängerführung*. Ausarbeitung im Rahmen des Masterprojektes, HAW Hamburg, Februar 2008.
- [semway08] *Semantische Navigation: Orientierung für Fußgänger*. [http://semway.salzburgresearch.at/], Letzter Zugriff 12.01.2009. Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH, TU Wien, 2008.
- [kray03] Kray, C., Elting, C., Lakso, K., Coors, V. *Presenting Route Instructions on Mobile Devices*. ACM International Conference on Intelligent User Interfaces, 2003.
- [millo07] Millonig, A., Schechtner, K. *Developing Landmark-Based Pedestrian-Navigation Systems*. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems. VOL. 8, NO. 1, März 2007.
- [kray05] Kray, C., Kortuem, G., Krüger, A. *Adaptive Navigation Support with Public Displays*. Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces, S. 326-328. New York, NY, USA. ACM Press, 2005.
- [braun05] Braun T. *Detektion von Landmarken zur Navigation von Laufmaschinen*. Universitär Keiserslautern, 2005.

- [augmre07] *7 things you should know about Augmented Reality*. Educause Learning Initiative, Advancing Learning through IT-Innovation, September 2005.
- [utopi07] *User-oriented Pedestrian-Navigation Service*. [<http://www.utopian-online.de>], Letzter Zugriff: 04.07.2008. Universität für Geoinformatik, Münster, 2007.
- [timmy07] *TIMMI is Mobile Map Interaction*. [http://ifgi.uni-muenster.de/deutsch/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=126], Letzter Zugriff: 05.07.2008. Universität für Geoinformatik, Münster, 2007.
- [schoen08] Schöning J., Krüger A., Müller H. *Interaction of Mobile Camera Devices with physical maps*. Institute for Geoinformatics, University of Münster, 2008.
- [elias06] Elias, B., Paelke, V., Kuhnt, S. *Kartographische Visualisierung von Landmarken*. Aktuelle Entwicklung in Geoinformation und Visualisierung. GEOVIS 2006, 5./6. April 2006, Potsdam, Kartographische Schriften Band 10, 2006.
- [aecby08] *AECBytes, The IFC Building Model: A Look Under the Hood*. [<http://www.aecbytes.com/feature/2004/IFCmodel.html>], Letzter Zugriff: 17.07.2008.
- [kolbe05] Kolbe, T., Gröger, G., Plümer, L. *CityGML - Interoperable Access to 3D City Models*. Institute for Cartography and Geoinformation, University of Bonn, März 2005.
- [landx08] *LandXplorer CityGML Viewer*. [<http://www.3dgeo.de/citygml.aspx?culture=1031>], Letzter Zugriff: 18.07.2008.
- [citydi07] *CityGML UML Diagrams as contained in the OGC Specification Proposal Version 0.4.0, OGC Doc. 07-062*. Special InterestGroup 3D(SIG 3D of GDI NRW), Modeling WorkingGroup, Juni 2007.
- [knippel03] Klippel, A. *Conceptualizing Wayfinding and Route Direction Elements*. Dissertation, Universität Bremen, 2003.
- [pfaff07] Pfaff, T. *Entwicklung eines PDA-basierten Indoor-Navigationssystems*. Bachelorthesis, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2007.
- [raas08] Kahlbrandt, B., Raasch, J., Zukunft, O. *Software-Engineering. Ergonomie*. Lehrmaterial, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2008.

- [diest2000] Diestel, R. *Graphentheorie 2.Auflage*, 2000.
- [luck2008] von Luck, K. *Anwendungen der Künstlichen Intelligenz*. Lehrmaterial, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2008.
- [johns87] Johnson, M. *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. The University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- [quake08] *Offizielle Seite zu Quake von id Software*. [<http://www.idsoftware.com/games/quake/quake>], Letzter Zugriff: 12.11.2008.
- [opengl08] *OpenGL Developer Web Site*. [www.opengl.org], Letzter Zugriff: 12.11.2008.
- [lischner07] Lischner, R. *C++ in a Nutshell. A Language & Library Reference*. O'REILLY, 2007.
- [irrllich08] *Open Source 3D Engine Irrlicht*. [<http://irrllich.sourceforge.net>], Letzter Zugriff: 12.11.2008.
- [deled08] *Delgine Developer Group, DeleD*. [www.delgines.com], Letzter Zugriff: 17.11.2008.
- [milks08] *Chumbalum Soft, MilkShape*. [<http://chumbalum.swissquake.ch>], Letzter Zugriff: 17.11.2008.
- [blende08] *Blender Open Source Platform*. [www.blender.org], Letzter Zugriff: 17.11.2008.
- [freksa2000] Freksa, C. *Using Orientation Information for Qualitative Spatial Reasoning*. Fachbereich Informatik Universität Hamburg, 2000.
- [tolman48] Tolman, E. *Cognitive maps in rats and men*. Psychological Review, 55,S. 189-208, 1948.
- [evans80] Evans, G. *Environmental cognition*. Psychological Bulletin, 88, S. 259-287, 1980.
- [herrm98] Herrmann, T., Schweizer, K. *Sprechen über Raum. Sprachliches Lokalisieren und seine kognitiven Grundlagen*. Bern, 1998.

- [skubic04] Skubic, M., Blisard, S., Bailey, C., Adams, J., Matsakis, P. *Qualitative analysis of sketched route maps: translating a sketch into linguistic descriptions*. Systems, Man, and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 34(2):1275-1282, 2004.
- [elias08] Elias, B. *Landmarken-basierte Navigation von Fußgängern auf Geodaten beliebiger Repräsentation*. Institut für Kartographie und Geoinformatik, Hannover, 2008.
- [emic07] *EMIC Location and Mapping Framework*. [<http://www.microsoft.com/emic/>], Letzter Zugriff: 12.10.2008.
- [Lit 40] Raubal, M., Winter, S. *Enriching wayfinding instructions with local landmarks*. Geographic Information Science Lecture Notes in Computer Science 2478:243-259, 2002.
- [ifcbr08] *IFC Engine Series*. [www.ifcbrowser.com], Letzter Zugriff: 11.12.2008.
- [napit07] Napitupulu, J. *Indoor Map Server in einem Flughafenszenario*. Bericht zum Masterprojekt, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2007.
- [james97] James, T., Kimura, D. *Sex differences in remembering the locations of objects in an array: Location-shifts versus location-exchanges*. Evolution and Human Behavior, 18, 155-163, 1997.
- [taschk06] Prof. Dr. Taschke, T. *Arbeitsgruppe Stochastische Modelle in den Ingenieurwissenschaften*. TU Clausthal, 2006.
- [telea09] *Tele Atlas*. [<http://www.teleatlas.com/index.htm>], Letzter Zugriff: 8.01.2009.
- [Glinz06] Glinz, M. *Requirements Engineering I. Nicht funktionale Anforderungen*. Universität Zürich, Institut für Informatik, Zürich, 2006.
- [holl97] Holl, F. *Das Konzept der Ordnungsmäßigkeit von Informations- und Kommunikationssystemen. Ein Beitrag zur konstruktiven Erschließung gesellschaftlicher Anforderungen in der Informatik*. HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 1997.
- [padbe07] Padberg, F. *Software-Qualitätssicherung*. IPD Tichy, Fakultät für Informatik, 2007.

- [schre02] Schrepf H., Greif N. *Anforderungen an als Prüfmittel eingesetzte Software*. PTB-Softwareprüfstelle, Projekt 8.302, 2002.
- [goetz97] Goetz R., Scharnweber H. *IVENA: Integriertes Vorgehen zur Erhebung nicht-funktionaler Anforderungen*. SOPHIST GmbH, Nürnberg, 1997.
- [gamma95] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1995.
- [reche02] Rechenberg, P., Pomberger, G. *Informatik Handbuch* III. Auflage, HANSER, 2002.
- [voelt06] Völter, M., Kircher, M. *Architecture Pt. 3*. Podcast: Software Engineering Radio, 2006.
- [zoell06] Zöllner B. *Thin Client vs. Fat Client, Teil I*. Zöllner & Partner GmbH, 2006.
- [gajdz05] Gajdzik, J. *Data Mining: Methoden und Algorithmen*. Seminar „Algorithmen für Datenbanksysteme“, ETH Zürich, 2005.
- [lee] Lee, A. *Social Navigation: Design for Environments to Foster Electronic Marketplace Communities*. A Position Paper for Social Navigation Workshop, IBM TJ Watson Research Center, Hawthorne, New York.