



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Masterarbeit

Mirco Gerling

Indoor-Navigationsunterstützung durch Wearable  
Computing für Such- und Rettungsmissionen  
unter eingeschränkten Sichtverhältnissen

Mirco Gerling

Indoor-Navigationsunterstützung durch Wearable  
Computing für Such- und Rettungsmissionen unter  
eingeschränkten Sichtverhältnissen

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

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

Abgegeben am 16. Januar 2008

**Mirco Gerling**

**Thema der Masterarbeit**

Indoor-Navigationsunterstützung durch Wearable Computing für Such- und Rettungsmissionen unter eingeschränkten Sichtverhältnissen

**Stichworte**

Wearable Computing, Ubiquitous Computing, User-Centered Design, Emergency Response, Indoor-Navigation, Sensornetzwerk, Fussgängernavigation

**Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit befasst sich mit dem Einsatz eines Wearable Computing Systems als Hilfsmittel für die Indoor-Navigationsunterstützung in Such- und Rettungsmissionen unter eingeschränkten Sichtverhältnissen. Für die Entwicklung von Systemen in Kombination von Wearable Computing und Ubiquitous Computing bedeutet dies eine hohe Komplexität, auf welche eine Reaktion in den Designmethoden erfolgen muss. Ziel dieser Arbeit ist die prototypische Erkundung einer Navigationsunterstützung und die Entwicklung eines Werkzeugs, um neue benötigte Designmethoden umzusetzen. Die Leistungsfähigkeit und Eignung des Werkzeugs wird durch Benutzerevaluationen mit den Endanwendern der Feuerwehr erprobt.

**Mirco Gerling**

**Title of the paper**

Indoor-navigation support using Wearable Computing in Search- and Rescuemissions under impaired visibility conditions

**Keywords**

Wearable Computing, Ubiquitous Computing, User-Centered Design, Emergency Response, Indoor-Navigation, Sensor Network, Pedestrian Navigation

**Abstract**

This thesis concerns about the usage of a Wearable Computing System as aiding device for Indoor-navigation support in Search- and Rescuemissions under impaired visibility conditions. For the development of systems in combination of Wearable Computing and Ubiquitous Computing that means a high complexity, which needs a reaction in the design methods. The aim of this thesis is the research in a prototype navigation support and the development of a tool to realise needed new design methods. The performance and suitability of the tool will be tested in user evaluations with the users of a fire brigade.

## Danksagung

Ich danke Prof. Dr. rer. nat. Gunter Klemke und Prof. Dr. rer. nat. Kai v. Luck vom Department Informatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg für die gute Betreuung, die produktive Zusammenarbeit und das ausführliche Feedback während der Erstellung dieser Arbeit.

Des Weiteren danke ich Dipl. Inform. Markus Klann und allen Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT für die gute Zusammenarbeit in einem hoch interessanten Umfeld. Den Projektpartnern aus den Projekten wearIT@work und RELATE möchte ich für die Hilfsbereitschaft und angenehme Kooperation danken.

Den Verantwortlichen für die Durchführung des Masterstudiengangs Informatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg gilt mein besonderer Dank für die gute und praxisnahe Ausbildung in diesem Studium.

Mirco Gerling, Januar 2007

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>10</b>
1.1 Motivation . . . . .	12
1.2 Zielsetzung . . . . .	12
1.3 Gliederung der Arbeit . . . . .	14
<b>2 Hintergrund</b>	<b>15</b>
2.1 Das Projekt wearIT@work . . . . .	15
2.1.1 User-Centered Design . . . . .	16
2.1.2 Emergency Response am Fraunhofer FIT . . . . .	18
2.1.2.1 Die Vision . . . . .	18
2.1.2.2 Die Pariser Feuerwehr . . . . .	25
2.1.2.3 Das RELATE-Projekt . . . . .	25
2.1.3 Verwandte Emergency Response Projekte . . . . .	27
2.2 Ubiquitous- und Wearable Computing . . . . .	28
2.2.1 Ubiquitous Computing . . . . .	28
2.2.2 Wearable Computing . . . . .	29
2.2.2.1 Mensch-Computer Interaktion . . . . .	31
2.2.2.2 Akzeptanz . . . . .	34
<b>3 Analyse</b>	<b>35</b>
3.1 Vorgehensweise im Projekt . . . . .	36
3.1.1 Prototyping . . . . .	37
3.1.1.1 Papierbasiertes Prototyping . . . . .	38
3.1.1.2 Virtual Experience Prototyping . . . . .	39
3.1.1.3 Physikalisches Prototyping . . . . .	41
3.2 Indoor-Navigationsunterstützung . . . . .	42
3.2.1 Verwandte Arbeiten . . . . .	42
3.2.1.1 Fußgängernavigation . . . . .	43
3.2.1.2 Indoor-Navigation . . . . .	48
3.2.2 Navigation mit der Lifeline . . . . .	51
3.2.3 Konkrete Anforderungen . . . . .	53

---

3.2.3.1	Wearable Computing System . . . . .	54
3.2.3.2	LifeNet . . . . .	55
3.3	Virtual Reality Simulationsplattform . . . . .	56
3.3.1	Allgemeine Anforderungen . . . . .	57
3.3.2	Konkrete Anforderungen . . . . .	58
3.4	Fazit . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Design</b>	<b>62</b>
4.1	Virtual Experience Platform . . . . .	63
4.1.1	3D-Rendering-Engine . . . . .	65
4.1.1.1	Portierung der Navigationsanwendung . . . . .	66
4.1.2	Physik . . . . .	67
4.1.3	Modellimport . . . . .	69
4.1.4	Benutzerinteraktion . . . . .	71
4.1.5	Audio-Ausgabe . . . . .	71
4.1.6	Logging . . . . .	72
4.1.7	Konfiguration . . . . .	72
4.1.8	Netzwerk . . . . .	72
4.1.9	LifeNet-Simulation . . . . .	73
4.1.10	Szenario . . . . .	75
4.2	Indoor-Navigationsunterstützung . . . . .	76
4.2.1	Navigationsanwendung . . . . .	76
4.2.1.1	3D-Rendering-Engine . . . . .	77
4.2.1.2	Benutzerinteraktion . . . . .	78
4.2.1.3	Audio-Ausgabe . . . . .	78
4.2.1.4	Logging . . . . .	78
4.2.1.5	Kommunikation . . . . .	78
4.2.1.6	Navigations-Engine . . . . .	79
4.2.1.7	Prototyp 1 . . . . .	79
4.2.1.8	Prototyp 2 . . . . .	80
4.2.2	Wearable Prototyp . . . . .	80
4.2.3	LifeNet . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Realisierung</b>	<b>83</b>
5.1	FireSim . . . . .	83
5.1.1	GUI . . . . .	83
5.1.2	Szenario . . . . .	84
5.1.2.1	Firefighter . . . . .	85
5.1.2.2	Hilfsmittel . . . . .	87
5.1.2.3	LifeNet-Simulation . . . . .	89
5.2	Indoor-Navigationsunterstützung . . . . .	91

---

5.2.1 Navigationsanwendung . . . . .	91
5.2.2 Wearable Prototyp . . . . .	93
5.2.3 LifeNet . . . . .	95
<b>6 Evaluation</b>	<b>97</b>
6.1 Durchgeführte Workshops . . . . .	98
6.1.1 Workshop 1: Einzelbenutzer-System . . . . .	99
6.1.2 Workshop 2: Atemschutztraining der Entwickler . . . . .	101
6.1.3 Workshop 3: Mehrbenutzer-System . . . . .	101
<b>7 Fazit</b>	<b>104</b>
7.1 Zusammenfassung . . . . .	104
7.2 Kritische Betrachtung . . . . .	106
7.3 Ausblick . . . . .	107
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>110</b>
<b>Glossar</b>	<b>120</b>
<b>Index</b>	<b>122</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Lifeline	13
2.1	Feuerwehrmann mit Beacon-Dispenser und LifeNet-Beacons	20
2.2	Relative Positionierung mit dem LifeNet: Die dargestellten LifeNet-Beacons halten Richtungsinformationen in Richtung Ausgang (Start) bereit.	21
2.3	Vision des zukünftigen Feuerwehrmanns	22
2.4	Atemschutzmaske mit integriertem Head-Mounted Display	23
2.5	Mobile Command Post System	24
2.6	RELATE-Bricks	26
2.7	Moteiv Sensorknoten als Evaluationsboards	27
2.8	QBIC (Amft u. a., 2004)	30
2.9	Mensch-Computer Interaktion (Furui, 2000)	31
2.10	Twiddler2 (HandyKey, 2007)	32
2.11	Handschuh zur Gestensteuerung	33
2.12	Head-Mounted Display (Microoptical, 2006)	34
3.1	Dreigeteilter Designprozess (Klann, 2007b)	38
3.2	Beschreibung einer Route durch Wegpunkte, unabhängig von der darunter liegenden Struktur (Wuersch und Caduff, 2005)	44
3.3	Darstellung von drei Wegpunkten und den Pfaden durch die sie verbunden sind (Aslan u. a., 2006)	45
3.4	Verfeinerte Navigationsanweisungen (Wuersch und Caduff, 2005)	48
3.5	Regionsabhängige Navigationsanweisungen (Wuersch und Caduff, 2006)	49
3.6	Zeichnen der kognitiven Karte	52
3.7	Lifeline verfangen am Bürostuhl	53
4.1	Iterativer Designprozess	62
4.2	Die Komponenten Virtual Experience Platform, LifeNet und Navigationsanwendung	63
4.3	Komponenten der Virtual Experience Platform	64
4.4	MovableObjects in Ogre	66
4.5	Portierung der Navigationsanwendung zwischen Virtual Experience Platform (a) und Wearable Prototyp (b)	67



---

4.6	Komponenten für die Physiksimulation . . . . .	68
4.7	Modellimport . . . . .	70
4.8	Zugriff von OgreAL auf OpenAL . . . . .	71
4.9	Unterschiedliche Teilkomponenten für die Netzwerkkommunikation . . . . .	73
4.10	LifeNet-Simulation und Zugriff auf MiXiM-Simulator . . . . .	75
4.11	Komponenten der Indoor-Navigationsunterstützung . . . . .	77
4.12	Prototyp 1 mit routenbasierter Darstellung . . . . .	80
4.13	Prototyp 2 mit kartenbasierter Darstellung . . . . .	81
5.1	Mit CEGUI realisiertes Menü . . . . .	84
5.2	ObjectManager zur Verwaltung von Instanzen der Klassen . . . . .	85
5.3	Realisierung von Trainingshaus, Feuerwehrleuten und Ausrüstung . . . . .	86
5.4	Firefighter . . . . .	87
5.5	Die Klasse TickableObject und deren Ableitungen . . . . .	88
5.6	Klassen der LifeNet-Simulation . . . . .	89
5.7	Klassen der Navigationsanwendung . . . . .	92
5.8	Indoor-Navigationsunterstützung simuliert in der Virtual Experience Platform mit Rauch . . . . .	93
5.9	Indoor-Navigationsunterstützung als externe Anwendung auf dem realen Prototyp in Verbindung mit der Virtual Experience Platform . . . . .	94
5.10	Wearable Prototyp bestehend aus Zeiss Head-Mounted Display, Atemschutzmaske und OQO-Computer . . . . .	95
5.11	USB-Bridge . . . . .	96
5.12	Stiefel mit integrierten LifeNet-Beacons . . . . .	96
6.1	Virtual Experience Prototyping Workshop . . . . .	98
6.2	Feuerwehrmann während der Simulation mit ausgelegten LifeNet-Beacons . . . . .	100
6.3	Autor und Entwickler in Atemschutzausrüstung . . . . .	102
6.4	Workshop mit verteilter Simulation . . . . .	103

# 1 Einleitung

Die allgegenwärtige Verfügbarkeit von Informationen nimmt zunehmend eine wichtigere Rolle in der Gesellschaft ein. Daher steigt der Bedarf an mobilen Geräten und den zugehörigen Anwendungen in Privatkonsumenten-, Büro- und professionellen Einsatzgebieten. Im Arbeitskontext sind viele Anwendungen bisher auf einen stationären Einsatz beschränkt. Die allgegenwärtige Verfügbarkeit von Informationen zur Unterstützung von Arbeitsabläufen wird in Zukunft dazu führen, dass der Arbeiter nicht mehr an den Standort des Computers gebunden sein wird, sondern die Mobilität seines Endgerätes nutzt, um Informationen dort abrufen und verarbeiten zu können, wo sie benötigt werden.

Die zunehmende Miniaturisierung von Endgeräten und deren Peripherie macht den mobilen Einsatz von Computern zunehmend praktikabel. Dabei eröffnet die Interaktion der mobilen Computer mit Geräten in der Umgebung neue, innovative Anwendungsmöglichkeiten und stellt zugleich Anforderungen an geeignete Interaktionsmodalitäten und nutzerfreundliche Methoden für eine intuitive Bedienung.

Im Arbeitsalltag benötigen Arbeiter für die Ausübung ihrer Tätigkeiten häufig die Hände, was den Einsatz eines zusätzlich manuell zu bedienenden Computers in vielen Berufen erschwert oder unpraktikabel erscheinen lässt. Mit Hilfe geeigneter Methoden lässt sich jedoch eine Interaktion realisieren, bei der die Hände zur weiteren Nutzung frei bleiben. Für die mobile Nutzung von Computern im Arbeitskontext, eignet sich der Einsatz von so genannten *Wearable Computing Systemen*<sup>1</sup>. Das Themengebiet *Wearable Computing* beschäftigt sich mit mobilen Computern, die am Körper getragen und in die Kleidung integriert werden können. Sie dienen der Realisierung von Assistenzsystemen, welche am Arbeitsplatz als Unterstützung für Arbeitsabläufe dienen.

Anwendungen des *Mobile Computing* sowie des *Wearable Computing* dienen somit der persönlichen und individuellen Unterstützung des Benutzers. Um die aktuellen Bedürfnisse des Benutzers zu erkennen, ist eine Interaktion mit Geräten in der Umgebung notwendig. Durch die zunehmende Computerisierung bieten viele Geräte in der täglichen Umgebung Kommunikations-Schnittstellen an. Das allgegenwärtige Vorhandensein von Computern wird dabei als *Ubiquitous Computing* bezeichnet ([Weiser, 1991](#)), das durch die vielseitigen Kommunikations- und Interaktionsmöglichkeiten eine hohe Dynamik entstehen lässt.

---

<sup>1</sup> Im folgenden als „Wearable“ bezeichnet

Daraus ergeben sich zahlreiche Zustandsmöglichkeiten für mobile Anwendungen, welche einen großen Mehrwert als auch Schwierigkeiten mit sich bringen. Es entstehen komplexe Gesamtsysteme, deren Entwicklung und Test neue Herausforderungen an die Entwicklungsmethoden stellen.

Der Einsatz von Wearable Computing im Privatkonsumenten-, Büro- oder professionellen Bereich stellt unterschiedliche Anforderungen an die Entwicklung. Die Verwendung dieser Technologie im professionellen Bereich, wie im Einsatz bei der Feuerwehr, erhöht die Anforderungen an Planung und Entwicklung, um eine hohe Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

Diese Masterarbeit entstand im Rahmen des EU-Projektes wearIT@work. Das Projekt betreibt empirische Feldforschung für den Einsatz von Wearables in unterschiedlichen, repräsentativen Arbeitskontexten. Das Teilprojekt Emergency Response befasst sich mit der technischen Unterstützung von Rettungsszenarien der Feuerwehr und erforscht u.a. die Entwicklung von computergestützten Systemen für Body Monitoring, Sprach- und Datenkommunikation, mobile Einsatzleitstände und die Navigationsunterstützung durch tragbare Informationstechnologie. Die vorliegende Masterarbeit beschreibt die Entwicklung einer Navigationsunterstützung für Such- und Rettungsmissionen innerhalb von Gebäuden sowie die Entwicklung einer Simulationsplattform als Entwicklungswerkzeug für die Erprobung neuer Designmethoden.

Die Entwicklung dieser Systeme zur Unterstützung von Rettungsszenarien der Feuerwehr wird durch mehrere Faktoren beeinflusst. Im Projekt Emergency Response arbeiten Entwickler ohne Feuerwehrhintergrund und Endbenutzer der Feuerwehr gemeinsam an der Entwicklung von Systemen. Die Entwickler aus verschiedenen Disziplinen müssen ein Verständnis für die Bedürfnisse der Endbenutzer aufbauen, um bedarfsgerechte Systeme zu entwickeln. Der Test von Prototypen im realen Umfeld ist aufwendig. Die Vorbereitung und Durchführung von Zusammentreffen der Entwickler und Benutzer sowie die Inszenierung von realitätsnahen Trainingseinsätzen ist zeitaufwendig und kostenintensiv.

Zur Förderung des gemeinsamen Verständnisses und Verringerung des Aufwands, durch Verkürzung der Entwicklungszyklen und Verringerung des Zeitaufwandes, soll die Entwicklung einer Simulationsplattform dienen. Die Plattform bietet ein Werkzeug für Entwickler und Endbenutzer, zur Kommunikation von Designansätzen und für den Test von Prototypen in simulierten Einsätzen. Für die Entwicklung dieses Werkzeugs ist ein grundlegendes Verständnis der Domänen der Entwickler und Endbenutzer der Assistenzsysteme notwendig. Die Entwicklung dieser Simulationsplattform, wird am Beispiel der prototypischen Entwicklung der Wearable-basierten Indoor-Navigationsunterstützung für Such- und Rettungsmissionen beschrieben.

## 1.1 Motivation

Die Motivation dieser Arbeit besteht in der Anforderung zur Verbesserung der Sicherheit und Effektivität von Such- und Rettungsmissionen der Feuerwehr. In solchen Einsätzen kommt es immer wieder zu unvorhersehbaren Komplikationen, Gefährdung oder Unfällen der Rettungskräfte. Zahlreiche Unfälle sind auf technisches und menschliches Versagen während eines Einsatzes, z. B. durch Überlastung von Mensch und Material zurückzuführen. Qualitativ hochwertige Ausrüstung, flexible Utensilien und geeignete Hilfsmittel können Unfälle vermeiden, den entscheidenden Zeitfaktor bei Rettungseinsätzen reduzieren und die Zuverlässigkeit erhöhen. Die Nutzung neuer technischer Möglichkeiten ermöglicht dabei die Entwicklung neuer Hilfsmittel. Ein typisches Szenario, in dem sich immer wieder Unfälle ereignen, sind Such- und Rettungsmissionen innerhalb von Gebäuden unter eingeschränkten Sichtverhältnissen durch Rauch. Die daraus resultierenden Orientierungsprobleme stellen ein großes Unfallpotenzial dar.

Eine bewährte Orientierungshilfe in diesem Szenario ist eine Leine, die so genannte Lifeline<sup>2</sup>, wie in Abbildung 1.1 zu sehen. Die Leine ist eine robuste Hilfe, die jedoch in bestimmten Situationen versagt. Wird sie durch scharfe Kanten oder Feuer durchtrennt, ist sie nicht mehr nutzbar. Das folgende Beispiel dokumentiert einen tragischen Unfall im Zusammenhang mit der Lifeline. Im Mai 2006 ist ein Feuerwehrmann der Feuerwehr Paris tödlich verunglückt. Nach der Bekämpfung eines Brandes hatte sich der Feuerwehrmann von der Lifeline ausgeklinkt. Kurz darauf loderte das Feuer erneut auf und durch die Rauchentwicklung fand er die am Boden liegende Lifeline nicht wieder und konnte den Weg ins Freie nicht wieder finden ([Atemschutzunfälle, 2007](#)).

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erforschung und prototypische Entwicklung einer Indoor-Navigationsunterstützung, die in Such- und Rettungsmissionen eine Orientierung innerhalb von Gebäuden unter eingeschränkter Sicht ermöglicht. Das prototypische System soll eine Alternative oder Ergänzung zur Lifeline darstellen, Schwächen der Lifeline ausgleichen und dadurch Einsätze sicherer und effizienter gestalten.

Für die Entwicklung kommen Ansätze des User-Centered Design ([Norman und Draper, 1986](#)) zum Einsatz, die helfen, die Bedürfnisse der Benutzer zu ermitteln, um das System um die Benutzer der Feuerwehr herum und an ihre spezifischen Bedürfnisse angepasst, zu entwickeln. Eine elementare Methode des User-Centered Design ist die Verwendung von Prototypen. Es soll herausgefunden werden, ob sich Virtual Reality Umgebungen, welche

---

<sup>2</sup>In Deutschland: Feuerwehrleine, in Frankreich: „Ligne De Vie“



Abbildung 1.1: Lifeline

einem 3D-Computerspiel ähneln, als Werkzeug des User-Centered Design eignen. Daher wird für die Entwicklung und den Test von Prototypen eine Virtual Reality Umgebung gewählt. Zur Umsetzung wird eine Virtual Reality Simulationsplattform mit Hilfe einer 3D-Rendering-Engine entwickelt. Zudem dient die Entwicklung unterschiedlicher Prototypen dazu, die Erkundung von Evaluationsmöglichkeiten verschiedener Prototypingmethoden im Rahmen der Doktorarbeit von [Klann \(2008\)](#) zu unterstützen.

Der Funktionsumfang der Plattform wird im Rahmen dieser Arbeit durch die Bedürfnisse der Prototypen der Indoor-Navigationsunterstützung und durch die Grenzen der technischen Möglichkeiten bestimmt. Die Simulationsplattform soll in diesem Sinn die Anwendung von Methoden des User-Centered Design und des Prototyping ermöglichen, um elementare Anforderungen bei der Entwicklung von Wearables zu ermitteln.

Die Indoor-Navigationsunterstützung basiert auf der Auslegung eines Pfades, ähnlich des Brotkrumenpfades, dessen sich Hänsel und Gretel bedienen haben, um den Weg aus dem Wald zurück nach Hause zu finden ([Grimm, 1812](#)). Während einer Umgebungserkundung werden Sensoren in geeigneten Abständen entlang der beschrittenen Pfade auf dem Boden ausgelegt. Die Sensoren sind in der Lage spontane drahtlose Verbindungen aufzubauen und auf diese Weise Informationen über die beschrittenen Pfade zu kommunizieren. Die Pfade lassen sich mit Hilfe des Wearables, durch Kommunikation mit den ausgelegten Sensoren, verfolgen. Die im Projekt entstandene Idee des LifeNet-Konzepts wird entsprechend den Anforderungen der Indoor-Navigationsunterstützung im Rahmen dieser Arbeit konkretisiert.

### 1.3 Gliederung der Arbeit

Die *Einleitung* in Kapitel 1 gibt eine kurze Einführung in das Umfeld dieser Arbeit und beschreibt die Motivation für die Behandlung von Such- und Rettungsmissionen und den damit verbundenen Problemstellungen.

In Kapitel 2 wird der *Hintergrund* dieser Arbeit im EU-Projekt wearIT@work und die verwendeten Ziele und Ansätze des User-Centered Design dargelegt. Des Weiteren werden die Ziele und Visionen des Teilprojektes Emergency Response vorgestellt, in dessen Rahmen diese Arbeit entsteht. Es werden Grundlagen über die Themen Wearable Computing und Ubiquitous Computing vermittelt.

Die *Analyse* in Kapitel 3 beschreibt die Vorgehensweise im Teilprojekt Emergency Response und die Anwendung des projektübergreifenden Ansatzes des User-Centered Design in Bezug auf die Anforderungen, die sich in diesem Teilprojekt stellen. Dabei werden die Anforderungen an die Virtual Reality Simulationsplattform und an die Prototypen der Indoor-Navigationsunterstützung ermittelt, um ihre prototypische Austestung und Evaluation innerhalb der Simulation zu ermöglichen.

Das *Design* in Kapitel 4 beschreibt das zu entwickelnde Gesamtsystem, bestehend aus der Virtual Reality Simulationsplattform und dem prototypischen System für die Indoor-Navigationsunterstützung entsprechend den ermittelten Anforderungen.

Das Kapitel 5 erläutert die konkrete *Realisierung* der Virtual Reality Simulationsplattform und der Indoor-Navigationsunterstützung. Es werden die verwendeten Softwarekomponenten und Bibliotheken erläutert, welche zur Umsetzung des Entwurfs ausgewählt und verwendet werden. Des Weiteren werden die erarbeiteten und realisierten Prototypen der Navigationsunterstützung vorgestellt.

Die *Evaluation* in Kapitel 6 erläutert die durchgeführten Workshops und die angewandten Methoden, zur Überprüfung und Förderung des gemeinsamen Verständnisses der Entwickler und Benutzer.

Das abschließende *Fazit* in Kapitel 7 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und diskutiert diese in einer kritischen Betrachtung. Der Ausblick gibt Anregungen zu Verbesserungsoptionen und sich neu stellenden Herausforderungen.

## 2 Hintergrund

Das Projekt wearIT@work besteht aus Partnern unterschiedlicher Disziplinen, welche die Nutzung von multidisziplinärem Wissen und Fähigkeiten ermöglichen. Zum Verständnis der Zusammenhänge wird an dieser Stelle Hintergrundwissen über die Projektpartner und deren Fachdisziplinen sowie weiterer theoretischer Hintergrund über die Zusammenhänge von Wearable Computing und Ubiquitous Computing vermittelt.

### 2.1 Das Projekt wearIT@work

Das Projekt [wearIT@work \(2007d\)](#) wurde von der europäischen Kommission als integriertes Projekt zur Erforschung von Technologie für Wearable Computing aufgesetzt. Es besteht aus 36 Partnern mit einem Projektvolumen von etwa 23,7 Millionen Euro und einer Förderung von etwa 14,6 Millionen Euro. Zu seiner Zeit ist es das weltweit größte zivile Projekt für Wearable Computing.

Ziel des Projektes wearIT@work ist die Erprobung der Anwendbarkeit von in Kleidung integrierten Computern, den Wearables, im Arbeitsumfeld ([wearIT@work, 2007b](#)). Diese neuartigen Systeme sollen den einzelnen Benutzer oder auch Gruppen bei ihrer Arbeit in unaufdringlicher Weise unterstützen. Dies erlaubt Arbeitern die parallele Nutzung von Computeranwendungen in neuen Bereichen und simultan ihrer Haupttätigkeit ohne Ablenkung nachzugehen. Die aktive Interaktion mit dem Wearable muss dabei minimal sein, um ein angemessenes Systemverhalten zu realisieren. Aus diesem Grund soll eine passive Interaktion stattfinden, indem Wearables den aktuellen Arbeitsfortschritt des Benutzers mit Hilfe von integrierten Sensoren erkennen und die entsprechenden Informationen an den Benutzer liefern, welche derzeit benötigt werden. Die Informationen sollen dem Benutzer in einer geeigneten Weise vermittelt werden, welche eine den Umständen angemessene Unterstützung gewährleistet.

Ein Ziel des Projektes ist die Untersuchung der Benutzerakzeptanz von Wearables als tragbare Informationstechnik. Des Weiteren werden Methoden der Benutzerinteraktion und passende Arbeitsprozesse für Wearable Computing in der Industrie identifiziert. Dafür scheint es von essentieller Natur zu sein, Methoden für die Erkennung des Arbeitskontextes und eine generelle Architektur für Wearable Computing Systeme als auch eine Hardware- und

Softwareplattform für die Umsetzung von Wearables zu besitzen (OWCG, 2007). Dies ist die Basis für die vier Anwendungsfelder der industriellen Pilotanwendungen, die im folgenden erläutert werden:

- Variant Production (Produktion und Entwicklung)
- The Clinical Pathway (Klinisch-medizinische Einsatzgebiete)
- Maintenance (Wartung)
- Emergency Response (Notfallintervention)

Das Anwendungsfeld *Variant Production* (wearIT@work, 2007g) beschäftigt sich mit der Variantenfertigung von Kraftfahrzeugen. Die Herausforderung liegt hier in der Integration und angemessenen Präsentation der Informationen. Innerhalb des klinisch-medizinischen Anwendungsfeldes *The Clinical Pathway* (wearIT@work, 2007f) wird der Einsatz von Wearable Computing beispielhaft bei der Visite im Krankenhaus untersucht. Der Fokus liegt auf der Optimierung der Logistik von Informationen und der kontextsensitiven Zusammenarbeit von Mensch und Informationstechnologie. Das Wartungsszenario des Anwendungsfeldes *Maintenance* (wearIT@work, 2007e) befasst sich exemplarisch mit der Erfassung von Kontext und dem Einsatz digitaler Handbücher in der Flugzeugwartung. Der Schwerpunkt des Anwendungsfeldes *Emergency Response* (wearIT@work, 2007a) liegt in der kollaborativen Planung und Interaktion bei der Verwendung von Wearables in rettenden Interventionssituationen.

In erster Linie wird als Vorteil durch den Einsatz von Wearable Computing eine verbesserte Produktivität und Flexibilität erwartet. Außerdem wird eine Steigerung der Arbeitssicherheit und eine Verringerung des Widerstandes gegenüber Automation prognostiziert. Wearable Computing soll einen vereinfachten und ständig verfügbaren Zugriff auf Unternehmensinformationen erlauben und zu schnelleren Gruppenentscheidungen führen. Basierend auf den Entwicklungen der Pilotanwendungen aus wearIT@work werden neue Produkte der Informationstechnologie in den Markt eingeführt. Das Projekt wearIT@work (2007b) erwartet für den Markt für Wearable Computing ein massives Wachstum. Trotzdem handelt es sich noch um einen Nischenmarkt, im Vergleich zu dem Markt für einen industriellen Einsatz von Desktop Computern. Daher wird eine Standardisierung von Hardware- und Softwareplattformen, speziell für den Bereich des Wearable Computing (OWCG, 2007), für ein starkes Wachstum und zur Etablierung neuer Arbeitsparadigmen benötigt.

### 2.1.1 User-Centered Design

In folge eines einheitlich angewandten Ansatz des User-Centered Design (UCD) im gesamten Projekt wearIT@work, existieren über alle Anwendungsfelder verteilte UCD-Teams, die



sich mit den menschlichen bzw. den sozialen<sup>1</sup> Aspekten ([Boronowsky u. a., 2005](#)) bei der Einführung von Wearable Computing in den entsprechenden Arbeitskontexten befassen. Dabei wird das Design der Wearables unter Berücksichtigung von sozialen Aspekten ein vermutlich entscheidender Faktor für den erfolgreichen Durchbruch von Wearable Computing am Arbeitsplatz sein ([wearIT@work, 2007c](#)).

Die Methode des User-Centered Design beschreibt einen multidisziplinären Designansatz, welcher den Benutzer in das Zentrum des Entwicklungsprozesses stellt und ihn aktiv in den Entwicklungszyklus eines Systems einbindet. Der Begriff User-Centered Design wurde von Donald Norman und Stephen Draper im Jahre 1986 erstmalig genannt ([Norman und Draper, 1986](#)). Im Rahmen von diversen Projekten entstanden unterschiedliche Ansätze mit vergleichbaren Charakteristika, die im Jahre 1999 durch die „International Organisation for Standardization“ in der Norm ISO 13407 „Human-centered design processes for interactive systems“ ([ISO/IEC-13407, 1999](#)) standardisiert wurden. Der Standard beinhaltet die folgenden Prinzipien eines Human-Centered Design:

- Die aktive Einbeziehung der Benutzer und ein klares Verständnis der Benutzer- und Aufgabenanforderungen.
- Eine angemessene Allokation bzw. Aufteilung von Funktionen zwischen Benutzer und Technologie.
- Die Iteration von Designlösungen.
- Multidisziplinäres Design.

Der Standard spezifiziert die folgenden Aktivitäten:

- Planung des Prozesses des human-centered Design.
- Spezifikation der Anforderungen von Benutzer und Organisation.
- Verständnis und Spezifikation des Benutzerkontextes.
- Produktion von Designlösungen.
- Evaluation des Designs gegen die Anforderungen.

Der Ansatz wird durch verschiedene Praktiken, beispielsweise der Verwendung von Prototypen als Werkzeug, zum wechselseitigen Verständnis von Anwender- und Entwicklerdomäne, zur Ideenkommunikation und exemplarischen Evaluation anhand gezielt generierter Anwendungsszenarien, umgesetzt.

---

<sup>1</sup>Social Computing

## 2.1.2 Emergency Response am Fraunhofer FIT

Die Leitung des Teams für User-Centered Design für das Anwendungsfeld Emergency Response ([wearIT@work, 2007a](#)) des Projektes wearIT@work ist am Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT ([Fraunhofer FIT, 2007](#)) angesiedelt. Es beschäftigt sich mit der Steigerung der Effizienz und Sicherheit von Such- und Rettungsmissionen durch die Entwicklung neuer technologischer Hilfsmittel auf der Basis von Wearables und weiteren Systemen.

Es ist als Testfall gut geeignet, um Wearables an ihre Grenzen zu bringen. In Such- und Rettungsmissionen kooperieren gut trainierte, professionelle Einsatzkräfte in umfangreichen, verteilten und unvorhersehbaren, dynamischen Situationen. Unvollständiges Wissen über die vorliegende Situation und Zeitdruck bestimmen die Arbeit. Daher ist es von besonderer Relevanz, die Arbeitsabläufe der Feuerwehr innerhalb entsprechender Missionen zu verstehen. Die Entwicklung bedarfsgerechter Systeme zur Unterstützung der Einsatzkräfte, soll dabei gezielt durch die gemeinsame Entwicklung mit Projektpartnern wie auch der Pariser Feuerwehr gewährleistet werden ([wearIT@work, 2007a](#)).

### 2.1.2.1 Die Vision

Die Vision für das Teilprojekt Emergency Response umfasst die Entwicklung vielfältiger Systeme für Feuerwehreinsätze, welche für spezifizierte Aufgaben die geeignete Unterstützung bieten. Das Ziel ist die Verbesserung der Informationsversorgung, die eine schnellere und genauere Beurteilung von Situationen erlaubt. Die Situation eines Löscheinsatzes wird z. B. durch die Art eines Feuers und dessen Ausmaß, die Anzahl und Positionen der zu rettenden Personen und der benötigten Einsatzkräfte und viele weitere Faktoren beschrieben. Einige Faktoren derartiger Situationen lassen sich oft nur schwer einschätzen. Von speziell angepassten Hilfsmitteln wird daher erwartet, Versorgungslücken entscheidender Informationen zur Einschätzung und Erfassung gegebener, dynamischer Szenarien zu schließen. Dazu müssen Informationen schnell und zuverlässig aufgenommen und kommuniziert werden.

Die dadurch geschaffene Transparenz ermöglicht eine Reduktion von Risiken. Gefahrenherde lassen sich besser detektieren, wenn zahlreiche und genaue Informationen über die Situationsdynamik vorliegen. Darüber hinaus können durch den Transfer von Informationen an zentrale Koordinationseinrichtungen wie z. B. mobile Einsatzleitstellen, Einsatzleiter dazu befähigt werden, sich mit Hilfe der Informationen einen qualitativ und quantitativ besseren Überblick über das vorliegende Szenario zu verschaffen und Einsatzkräfte gezielt einzusetzen und zurückzuziehen.

Um die Feuerwehrleute in einer Einsatzsituation direkt mit den für sie relevanten Informationen zu versorgen und eine Kommunikation mit der Außenwelt zu ermöglichen, können

Wearables eine sinnvolle Einrichtung darstellen. Mit Hilfe von Sensorik am Körper erlauben sie die körperliche Verfassung der Einsatzkräfte zu überwachen und Informationen aus der direkten Umgebung aufzunehmen. Ein Sensornetzwerk, welches in unmittelbarer Umgebung durch die Feuerwehrleute ausgelegt wird, unterstützt die Erfassung von Umgebungsinformationen und ermöglicht eine präzisere Beurteilung von Situationen vor Ort und im mobilen Einsatzleitstand. Des Weiteren gewährleistet das Sensornetzwerk eine Sprach- und Datenübertragung zwischen Teammitgliedern sowie zur Außenwelt. Bei entsprechend dichter Auslegung und Überlagerung von Sensorketten, lässt sich durch Redundanz und Vermaschung eine zuverlässige Übertragung von Informationen erreichen. Fallen ein oder mehrere Sensoren aus, ist das Netzwerk weiterhin betriebsfähig. Dabei lässt sich durch die Übertragung von Sensor zu Sensor über eine Kette von Sensoren eine zuverlässigere Übertragung als durch Sprechfunk von Funkgerät zu Funkgerät realisieren, was insbesondere für Einsätze in unterirdischen Gebäuden und Bahnhöfen gilt.

### *LifeNet-Konzept*

Das LifeNet-Konzept hat die Erweiterung bzw. Ersetzung der herkömmlichen Lifeline zur Verbesserung der Kommunikation und der Orientierung zum Ziel. Dabei enthält es Gemeinsamkeiten in der Erweiterung der herkömmlichen Lifeline hinsichtlich eines verbesserten Informationsaustausches (Ceperley u. a., 2002). Das LifeNet-Konzept verfolgt die Idee einer virtuellen Lifeline, welche durch ein drahtloses Netzwerk für den Aufbau einer spontanen Infrastruktur eingesetzt wird und der relativen Positionierung, Messwerterfassung und Kommunikation dient. Das LifeNet-Konzept beschreibt darüber hinaus, denkbare Anwendungsmöglichkeiten zur Unterstützung der Einsatzkräfte, die über den Aufbau einer spontanen Infrastruktur entstehen. Dabei wird die Infrastruktur durch das Auslegen von Sensorknoten, den so bezeichneten LifeNet-Beacons aufgebaut, die als Basis für die Übertragung von Informationen seitens der im Einsatzszenario operierenden Feuerwehrleute fungiert. Dies sind Umgebungsinformationen wie Temperatur und Luftzusammensetzung sowie Informationen über die Fitness der Feuerwehrmänner. Zudem ist es möglich, Photos, Textnachrichten und Sprache zu übertragen.

Als Auswurfmechanismus existiert der Ansatz des so genannten Beacon-Dispensers, welcher prototypisch durch den Projektpartner BIBA (2007) entwickelt wird. Der Beacon-Dispenser in Abbildung 2.1 ist so gestaltet, dass er an der Pressluftflasche der Atemschutzausrüstung platziert werden kann. Mit Hilfe des Beacon-Dispensers können die LifeNet-Beacons automatisiert ausgelegt werden, ohne dass es eines besonderen Einwirkens seitens des Feuerwehrmannes bedarf.

Die ausgelegten LifeNet-Beacons sammeln Informationen über Temperaturen und Luftzusammensetzung entlang der beschrifteten Pfade. Die Propagation dieser Informationen ermöglicht eine Warnung der Feuerwehrleute, sofern sich auf einem Rückzugspfad die Temperatur oder Luftzusammensetzung bedrohlich verändert. Auf diese Weise lassen sich Un-

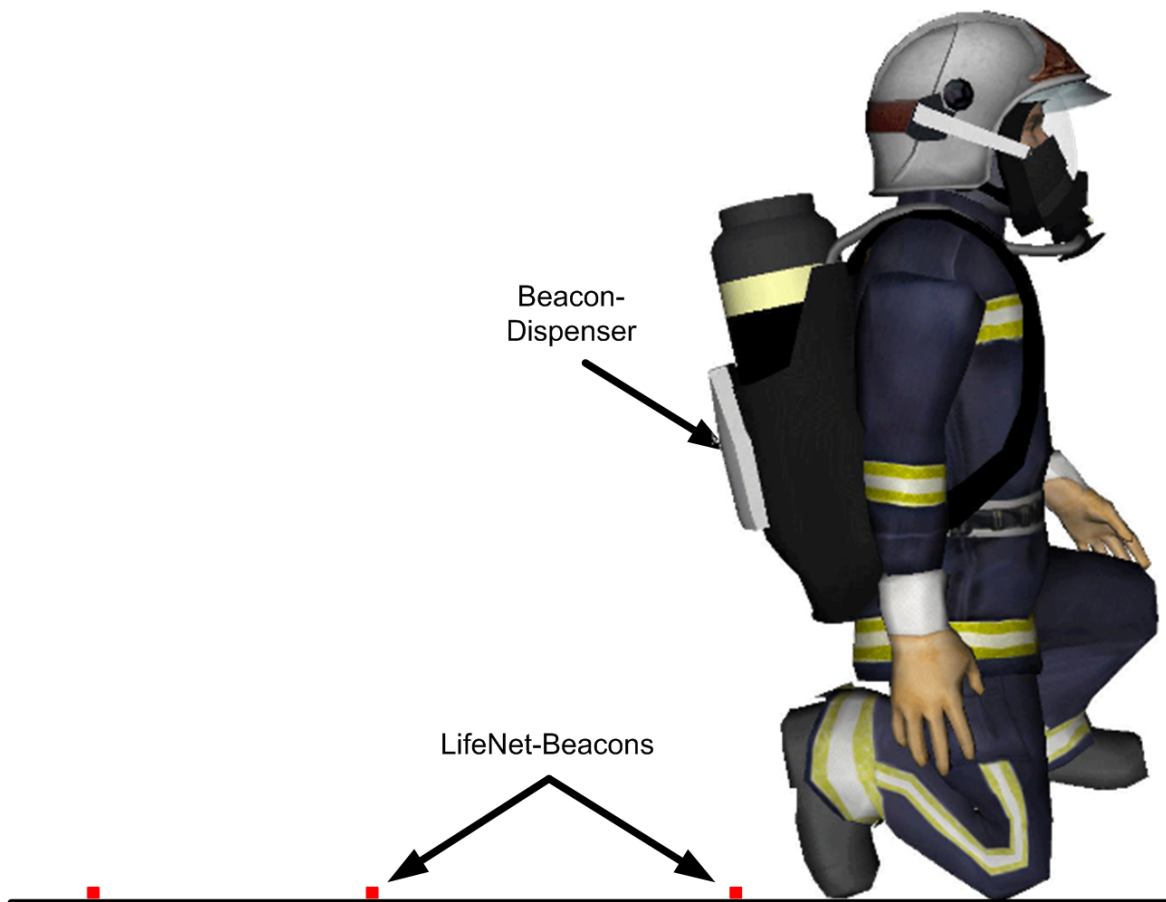


Abbildung 2.1: Feuerwehrmann mit Beacon-Dispenser und LifeNet-Beacons

fälle über das Detektieren gefährlicher Rückwege verhindern. Die Versorgung des mobilen Einsatzleitstandes mit derartigen Informationen ermöglicht eine Bewertung der situationsgerecht zu koordinierenden Gesamtsituation und hilft bei der Entscheidungsfindung.

Einen konkreten Ansatz des LifeNet-Konzeptes (Klann u. a., 2007) liefert die Erprobung der virtuellen Lifeline in Kombination mit einer spezifischen Wearable Computing Technologie, zur Navigationsunterstützung in Such- und Rettungsmissionen. Sie soll in unbekanntem Umgebungen, ohne eine vorinstallierte Infrastruktur spontan einsetzbar sein. Zum Aufbau einer spontanen LifeNet-Infrastruktur sollen während eines Einsatzes, die LifeNet-Beacons derartig ausgelegt werden, dass sie den jeweiligen Pfad abbilden, der zurückgelegt wurde. Bei Überschneidung von Pfaden soll ein weiterer Auswurf von LifeNet-Beacons unterdrückt werden, um den Verbrauch von LifeNet-Beacons klein und somit den Aktionsbereich der Feuerwehrleute möglichst groß zu halten.

Zur Positionsbestimmung der Feuerwehrleute sieht das LifeNet-Konzept das Prinzip der re-

lativen Positionierung vor. Durch geeignete Sensorik lassen sich im Sinne dessen Distanzen und Winkel zwischen den LifeNet-Beacons sowie den Feuerwehrleuten in der Umgebung bestimmen. In Abbildung 2.2 sind die LifeNet-Beacons durch kreisförmige Punkte dargestellt. Die Richtungsinformationen der LifeNet-Beacons zeigen jeweils zum nächsten LifeNet-Beacon, welcher sich dichter am Ausgang (Start) befindet. Die Pfeile symbolisieren die Richtungen und die Kreise um die LifeNet-Beacons stellen die Funkreichweite dar.

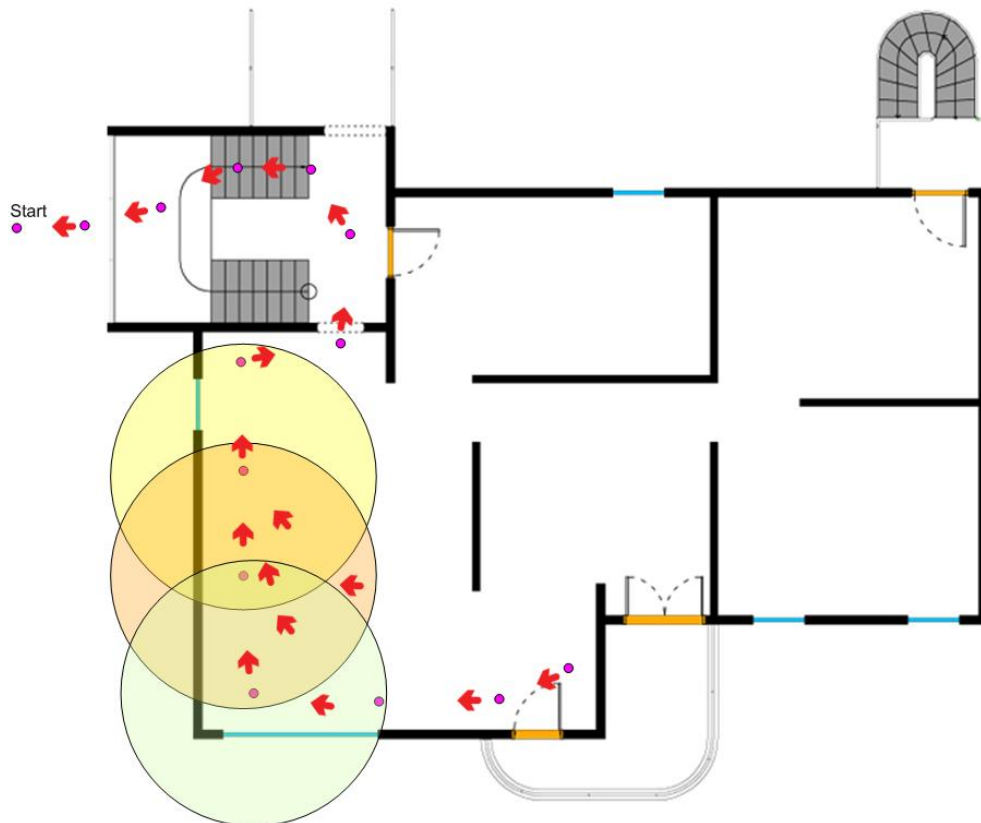


Abbildung 2.2: Relative Positionierung mit dem LifeNet: Die dargestellten LifeNet-Beacons halten Richtungsinformationen in Richtung Ausgang (Start) bereit.

Zusätzlich muss bei Ausfall von einzelnen LifeNet-Beacons die Korrektheit von Informationen und das weiterhin reibungslose Funktionieren des Gesamtsystems garantiert sein. Insofern sollte die Ausfallsicherheit innerhalb des gesamten LifeNets begründet liegen und nicht an einzelnen LifeNet-Beacons verhaftet sein, so dass die weitere Nutzbarkeit des LifeNets trotz Zerstörung einzelner LifeNet-Beacons sichergestellt ist. Das Prinzip des Systems soll leicht verständlich sein, um nicht zu missverständlichen Interpretationen seitens der Anwender zu führen. Die Genauigkeit des Systems bzw. der individuellen Messungen sollten berücksichtigt werden.

### Systeme am Körper

Für die Ausstattung des Feuerwehrmanns sieht die Vision des Projektes diverse am Körper zu tragende Geräte vor. Abbildung 2.3 zeigt Systeme, die an verschiedenen Stellen des Körpers angeordnet sind.

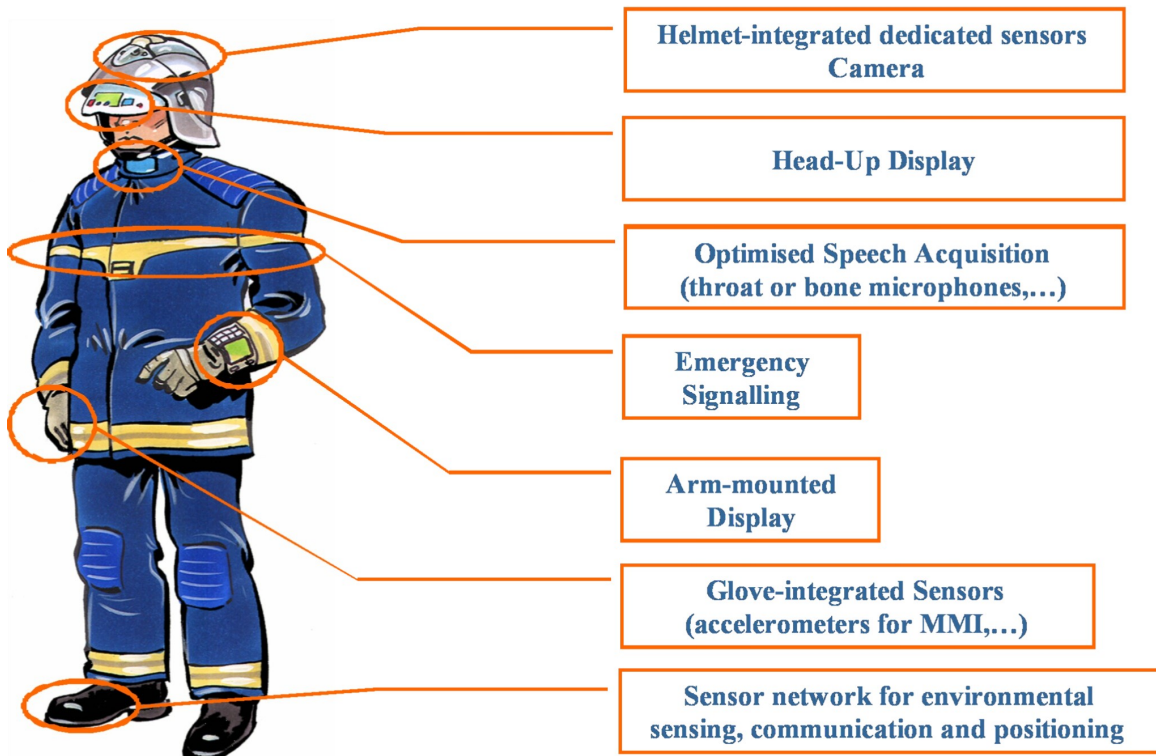


Abbildung 2.3: Vision des zukünftigen Feuerwehrmanns

Im Speziellen ermöglicht eine Helmkamera die Erweiterung der Sehfähigkeit durch die Aufnahme von Wärmebildern, wenn Rauch die Sicht einschränkt. Zudem können Photos von Umgebungen und Gegenständen erstellt werden. Durch Auswahl und Zoom von bestimmten Bildbereichen wird eine Vergrößerung von Ausschnitten im Sinne einer Detailansicht erreicht. Die Photos werden auf einem Head-Mounted Display (Abbildung 2.4) in der Atemschutzmaske dargestellt, welches vom Projektpartner [Carl Zeiss AG Deutschland \(2007\)](#) entwickelt wird. Die Carl Zeiss AG befasst sich mit dem gezielten Einsatz von Head-Mounted Displays für die bedürfnisgerechte Unterstützung von Feuerwehrleuten in den entsprechenden Einsatzszenarien ([Bretschneider u. a., 2006](#)). Durch potenziell geeignete Interaktionsmethoden, wie Sprach- oder Gestensteuerung, werden Bereiche der Photos selektiert ([Gerling, 2006](#)). Die Sprachsteuerung wird vom Projektpartner [Multitel ASBL \(2007\)](#) bereitgestellt und in ihrer Robustheit speziell an die Anforderungen von Feuerwehreinsätzen angepasst.

Alternativ werden die Bilder mit Hilfe des JPIP-Protokolls<sup>2</sup> (JPEG, 2008), implementiert durch den Projektpartner [Thales Communications S.A. \(2007\)](#), über das Sensornetzwerk an einen mobilen Einsatzleitstand ([Habelski, 2007](#)) übertragen. Derartige Bilder können u.a. die fachgerechte Einschätzung besonderer Situationen durch außerhalb des Einsatzgeschehens anwesendes Fachpersonal gewährleisten, das Expertenwissen zur Behandlung spezieller Situationen bereithält und eine entsprechende Ausführung von Anweisungen an die im Einsatz befindlichen Feuerwehrmänner über das LifeNet kommunizieren und delegieren kann. Exemplarisch würde die Einsatzkraft z.B. unter Anleitung eines Technikers, Ventile einer chemischen Anlage in der richtigen Reihenfolge bedienen können ([Klann u. a., 2006](#); [Klann, 2007b](#)).



Abbildung 2.4: Atemschutzmaske mit integriertem Head-Mounted Display

Mit Hilfe von Wearables werden den Feuerwehrleuten nicht nur Informationen ihrer unmittelbaren Umgebung zur Verfügung gestellt. Sensoren am Körper messen zusätzlich Temperaturen und Luftzusammensetzung. Temperatursensoren in den Handschuhen ermöglichen das Ertasten der Temperaturen an Türen, bevor ein Raum betreten wird. Dies ist wichtig, um die temperaturbezogene Situation hinter Türen einschätzen zu können. Bei hohen Temperaturen und Sauerstoffmangel besteht beim Öffnen einer Tür und der damit verbundenen Sauerstoffzufuhr, die Gefahr einer Durchzündung<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup>JPEG 2000 Interactive Protocol

<sup>3</sup>Flashover

Weiterhin sehen die am Körper positionierten Systeme in den Schuhen integrierte LifeNet-Beacons vor, die eine Erfassung von Umgebungsinformationen, Positionen und die Kommunikation über das LifeNet ermöglichen.

Durch das Body Monitoring werden Werte wie Herzschlag und Körpertemperatur übermittelt und erkannt, ob Einsatzkräfte eine Mission abbrechen müssen oder handlungsunfähig geworden sind und ihrerseits eine Rettung eingeleitet werden muss.

#### *Externe Systeme*

Die Vision beinhaltet Systeme, welche außerhalb eines Einsatzortes angesiedelt sind, wie z. B. der mobile Einsatzleitstand, das so genannte Mobile Command Post System (MCP) (Habelski, 2007), das zur Darstellung und Besprechung der aktuellen Einsatzsituation dient. Auf einem Großbildschirm werden Informationen über die aktuelle Situation dargestellt. Auch hier verhelfen die visualisierten Informationen über die Position und die Verfassung von Feuerwehrleuten bei der Situations-Beurteilung. Abbildung 2.5 zeigt die Darstellung der absoluten Position von zwei Feuerwehrleuten im MCP-System sowie ein Photo der realen Situation. Die Anwendung lässt sich durch einen berührungsempfindlichen Bildschirm mit den Händen bedienen, ohne dass dazu Tastatur und Maus erforderlich wären. Mit Hilfe von farbigen Stiften können Bereiche wie auf einer Tafel markiert werden. Die chronologische Aufzeichnung der Informationen über den Verlauf eines Einsatzes in der Datenbank des MCP-Systems, bildet darüber hinaus eine Basis für spätere Analysen und Nachbesprechungen.



Abbildung 2.5: Mobile Command Post System



### 2.1.2.2 Die Pariser Feuerwehr

Die Pariser Feuerwehr (BSPP) ist Partner im Projekt wearIT@work. Die BSPP ist aus historischen Gründen eine militärische Einheit und verfügt über mehr als 8000 Männer und Frauen (BSPP, 2007a).

Die Arbeitsweise der Feuerwehren unterscheidet sich national und regional. Um einen Ansprechpartner mit einheitlichen Arbeitsweisen zu Verfügung zu haben, findet die Entwicklung und Untersuchung am Beispiel der Pariser Feuerwehr statt. Die Zusammenarbeit mit mehreren Feuerwehreinheiten und unterschiedlichen Arbeitsweisen würde die Arbeit erschweren sowie eine schlechte Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen bewirken.

Die BSPP eignet sich gut als Partner, da sie die größte Feuerwehreinheit in Europa darstellt und dementsprechend über ein breites Angebot an Fachbereichen und Abteilungen verfügt. Die BSPP betreibt Forschung und unterstützt Forschungsinteressen durch eine gesonderte Forschungsabteilung. Bei der BSPP werden neue und zukünftige Geräte erprobt (BSPP, 2007b). Zum Teil werden die Geräte von der BSPP selbst oder in Zusammenarbeit mit Herstellern von Feuerwehrausrüstungen entwickelt.

Ein speziell für Übungs-, Ausbildungs- und Evaluationszwecke ausgerichtetes Trainingsgelände steht dabei für den realitätsnahen Test neuer Geräte zur Verfügung. Es setzt sich unter anderem aus einem kleinen Hotel, Trainingscontainern und einem Tunnel, in denen Trainingseinheiten durchgeführt werden können, zusammen.

Die BSPP ist im Projekt wearIT@work beratend tätig, da sie die Bedürfnisse der Benutzer am Besten kennt. Sie unterstützt die Durchführung von Benutzerstudien auf dem Trainingsgelände für die Systeme, welche in wearIT@work entwickelt werden. Die Indoor-Navigationsunterstützung wird mit Unterstützung der BSPP entwickelt und in gemeinsamen Benutzerstudien überprüft.

### 2.1.2.3 Das RELATE-Projekt

Für die reale Umsetzung des zuvor in 2.1.2.1 genannten LifeNet-Konzeptes findet eine Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe um Hans Gellersen und Paul Lukowicz aus dem EU-Projekt RELATE (2007) statt. Das Projekt RELATE dient als Entwicklungspartner für die Umsetzung der Positionsbestimmung für die Indoor-Navigationsunterstützung.

Das RELATE-Projekt befasst sich mit der relativen Positionierung von Objekten mit Hilfe von drahtlosen Sensornetzwerken. Zuvor befasste sich das RELATE-Projekt mit der relativen Positionierung von mobilen Geräten in Büroumgebungen. Das Forschungsteam hatte zu Beginn der Zusammenarbeit keinen Bezug zum Feuerwehrumfeld und den damit verbundenen

Herausforderungen. Daher bietet sich die künftige Simulationsplattform für Tests der Positionsbestimmung, zur Vertiefung des Verständnisses und als Diskussionsgrundlage an.

Zur Realisierung der relativen Positionierung werden die so genannten *RELATE-Bricks* eingesetzt (siehe Abbildung 2.6). Sie sind eine Variante der zuvor eingeführten RELATE-Sensorknoten (Hazas u. a., 2005), welche als USB-Stecker für mobile Computer realisiert sind. Der RELATE-Brick ist unabhängig von anderen Geräten verwendbar.

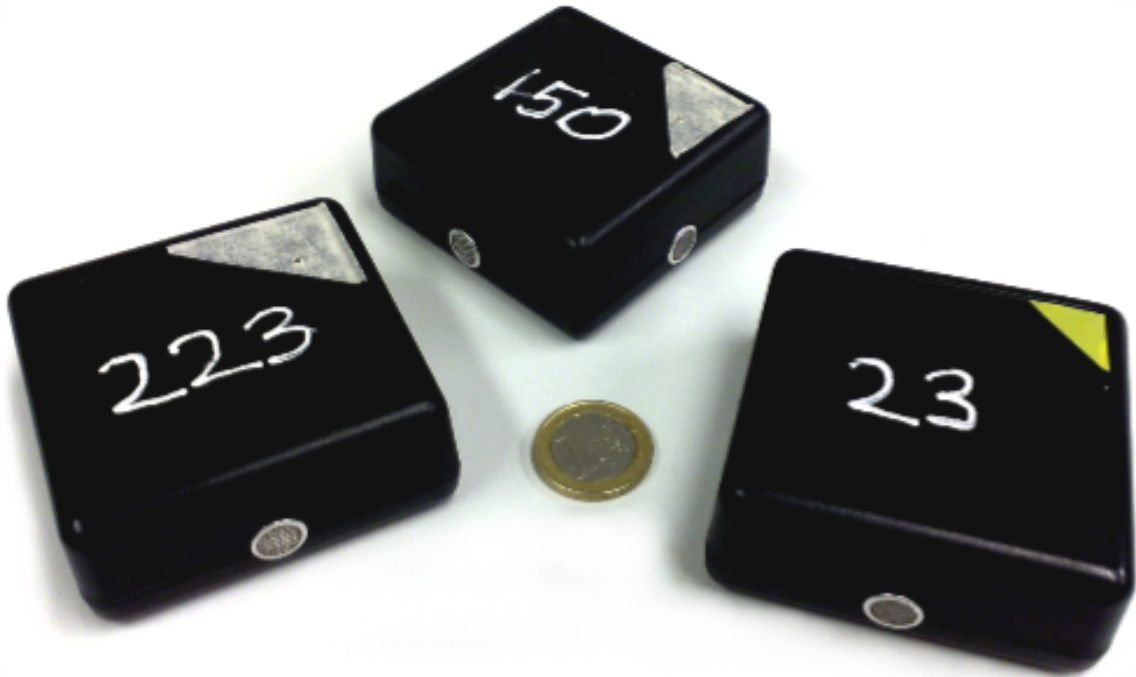


Abbildung 2.6: RELATE-Bricks

Die relativen Positionen werden mit Hilfe von Ultraschallmessungen bestimmt. Distanzen und Winkel lassen sich durch Messung der Signallaufzeiten messen. Wird ein Schallsignal ausgesendet, wird zeitgleich ein Funksignal gesendet. Dieses Funksignal trifft nahezu verzögerungsfrei ein und das Schallsignal in Abhängigkeit von der Distanz mit einer Verzögerung. Die Bestimmung der Verzögerungsdauer, welche das Schallsignal vom Sender zum Empfänger benötigt, ermöglicht die Berechnung der Distanz. Durch die Messung der Verzögerungen an allen vier Seiten der RELATE-Bricks lassen sich Differenzen zwischen dem Eintreffen des Schallsignals an den einzelnen Sensoren bestimmen. Durch die Zeitdifferenzen in der Ankunft der Signale ist es möglich, die Richtung des Senders zu bestimmen. Durch die Verwendung von Ultraschall können Messungen allerdings nur zwischen RELATE-Bricks durchgeführt werden, zwischen denen Sichtkontakt besteht. In Abhängigkeit von der Distanz und räumlichen Gegebenheiten, entstehen dadurch Messungenauigkeiten, welche berücksichtigt werden müssen.

Das System ist in dieser Form ausschließlich in der Lage, zweidimensionale Messungen in der Ebene durchzuführen. Die Bricks müssen sich möglichst in einer Ebene befinden, damit die Ultraschallsignale den Empfänger erreichen.

### 2.1.3 Verwandte Emergency Response Projekte

Es gibt einige Projekte, welche sich mit ähnlichen Themen, wie das Teilprojekt Emergency Response befassen, jedoch unterscheiden sich die Forschungsschwerpunkte zum Teil.

Das amerikanische Projekt [FIRE \(2007\)](#) beschäftigt sich mit der Unterstützung von Feuerwehreinsätzen in der Brandbekämpfung. Das Design und die Anwendung von neuen Technologien, wie von so genannten Motes (siehe [Abbildung 2.7](#)) ([Sentilla, 2007](#)) zum Aufbau von drahtlosen Sensornetzwerken, sollen eine verbesserte Kommunikation und Ortsbestimmung der Feuerwehrleute ermöglichen. Die Präsentation von Gebäudeinformationen und der Positionen in der Atemschutzmaske der Feuerwehrleute, soll die Orientierung in Gebäuden bei eingeschränkter Sicht verbessern. Ziel ist das Design, Testen von Prototypen und die Implementation von Werkzeugen, welche die Informationsversorgung und die Kommunikation steigern, um die Sicherheit, Effizienz und die Effektivität in Rettungseinsätzen zu verbessern.

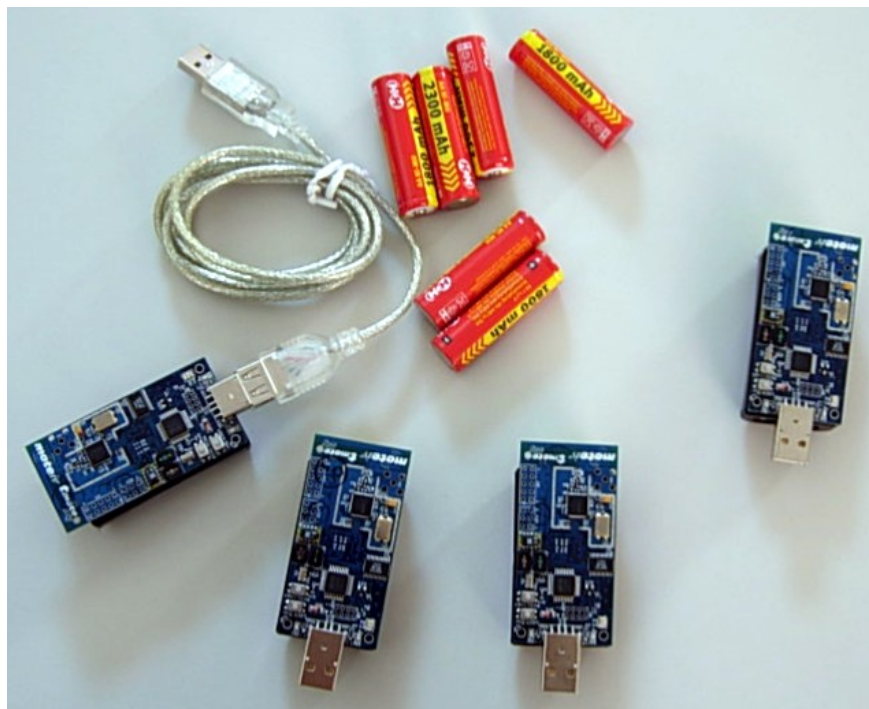


Abbildung 2.7: Moteiv Sensorknoten als Evaluationsboards

Das EU-Projekt [RUNES \(2007\)](#) verfolgt die Vision, über ein großes Gebiet verteilte, heterogen vernetzte Embedded Systeme zu ermöglichen, welche zusammenarbeiten und sich an ihre Umgebung anpassen. Dies können Geräte aus dem täglichen Leben, wie Mobiltelefone, Rauchmelder und Kühlschränke sein. Durch die flexible Vernetzung verspricht sich das Projekt die Verbesserung von bestehenden und die Erschließung neuer Anwendungen. Als ein Szenario dient ein Unglück in einem Straßentunnel mit dem Ausbruch von Feuer und den möglichen Reaktionen durch ausgeklügelte Systeme.

In dem EU-Projekt [PalCom \(2007\)](#) werden die Herausforderungen für das Design und die Entwicklung von interaktiven Anwendungen im Zusammenhang mit Ubiquitous Computing im Emergency Response Umfeld erforscht ([Kyng u. a., 2006](#)). Das Projekt befasst sich mit der zunehmenden „Unsichtbarkeit“ von Computertechnologie und der zunehmenden Unterstützung des täglichen Lebens. Es wird als notwendig angesehen, Benutzer in ihrem Verständnis für die Technologie zu unterstützen, um zu verstehen, welche Aufgabe eine Technologie erfüllt. Es wird ein Konzept für das Design von „palpable<sup>4</sup> computing“ entwickelt, welches die Wahrnehmbarkeit und das Verstehen von Informationstechnologie fördert.

## 2.2 Ubiquitous- und Wearable Computing

Die Idee des LifeNet-Konzeptes aus [2.1.2.1](#) entspricht dem Ansatz des Ubiquitous Computing von [Weiser \(1991\)](#), welcher von der allgegenwärtigen Präsenz von Computern in der Umgebung ausgeht. Auf die umliegenden Computer kann von beliebigen Geräten zugegriffen werden. Im Fall der Indoor-Navigationsunterstützung soll mit Hilfe eines Wearables auf die durch das LifeNet mit Informationen angereicherte Umgebung zugegriffen werden. Außerdem ist der Wearable mit dem am Körper getragenen LifeNet-Beacon ein mobiler Teil des Ubiquitous Computing Systems, welcher Informationen bereitstellt.

### 2.2.1 Ubiquitous Computing

Die Vision des Ubiquitous Computing besteht darin, dass Informationen und Services für den Benutzer jederzeit und an jedem Ort verfügbar sind. Dies geschieht mit Hilfe von Umgebungen, die mit Computerressourcen angereichert sind. In seiner Vision beschreibt Weiser eine Veränderung von persönlichen Handheld-Geräten zu leistungsfähigen Geräten, deren Ressourcen geteilt genutzt werden und von der Notwendigkeit neuer Applikationen, welche die neuen Geräte nutzen, um dem Benutzer neue Dienste anzubieten ([Weiser, 1991](#)). Dies

---

<sup>4</sup>„fühlbar“

beinhaltet nicht nur die Entwicklung einer Kollektion neuer Dienste, sondern auch neue Paradigmen für die Interaktion mit Technologie, welche zunehmend in den Hintergrund unseres Lebens rückt (Weiser und Brown, 1995).

Das Potenzial des Ubiquitous Computing, existierende soziale Praktiken zu verändern und die Unkenntnis der Benutzer über diese Technologie, macht es schwierig, den Einfluss dieser Lösungen vorauszusagen (Abowd u. a., 2005). Dies betrifft das Verständnis über die wahren menschlichen Bedürfnisse und die Voraussage über die Veränderungen dieser Technologie in den Praktiken der Zielgruppen. Diese beiden Elemente sind in einer engen Beziehung miteinander verwoben. Das macht es schwierig, sie isoliert zu betrachten (Abowd und Mynatt, 2000).

Treibende Kräfte des Ubiquitous Computing sind die Mikroelektronik, Mikrosysteme und die Nano-Technologie. Durch sie ist es möglich, dank der anhaltenden Miniaturisierung, immer kleinere Systeme zu entwickeln. So gibt es zum Beispiel für die Kommunikation miniaturisierte Sender und Empfänger. Eine enorme Steigerung der Rechenleistung, auch auf kleinen Systemen, treibt diese Technologie voran. Entscheidende Faktoren sind die fallenden Kosten für das Speichern und Verarbeiten von Daten (Lipp und Lauritz, 2004).

Die Calm Technology verfolgt den Ansatz, dass die Technik im Hintergrund bleibt ohne aufzufallen (Weiser und Brown, 1995). Sie meldet sich lediglich bei Bedarf. Zur Veranschaulichung stelle man sich die Fahrt mit einem Auto vor. Der Motor arbeitet in der Regel ruhig im Hintergrund. Der Fahrer benutzt das Radio und bedient die Lüftung während der Fahrt. Treten jedoch merkwürdige Motorgeräusche auf, so tritt der Motor in den Vordergrund. Radio und Lüftung verlieren an Bedeutung. Ein weiteres Beispiel ist ein Büro, in dem Fenster zum Flur installiert sind. Geht eine Person über den Flur, so nimmt man sie unterschwellig wahr. Die Person, die über den Flur geht, registriert ebenfalls die Person, die im Büro sitzt. Beide Personen werden durch diese Wahrnehmung nicht sonderlich von ihrer Tätigkeit abgelenkt.

## 2.2.2 Wearable Computing

Das Wearable Computing zeichnet sich durch die Verwendung von Computern aus, die am Körper getragen werden, möglichst ohne den Benutzer dabei in seiner eigentlichen Tätigkeit zu behindern. Idealerweise erfolgt eine Integration der Hardware in die Kleidung. Im Bereich des Wearable Computing gibt es eine Verschiebung einiger Paradigmen der herkömmlichen Verwendung von Desktop-Computern. Dies betrifft besonders die Interaktion zwischen Mensch und Computer. Die herkömmliche Interaktion mit Maus, Tastatur und Bildschirm (WIMP)<sup>5</sup> ist im Wearable Computing nicht sinnvoll anwendbar und wird daher durch neue Interaktionsformen ergänzt oder ersetzt (Rhodes, 1998). In vielen Bereichen ist das

---

<sup>5</sup>Windows, Icons, Menus and Pointers

Ziel eine einhändige oder sogar freihändige Bedienung des Computers. Die Hände müssen frei sein, damit der Benutzer sie für andere Tätigkeiten verwenden kann (Fickas u. a., 1997). Ein freihändiges Arbeiten ist in bestimmten Bereichen sicherheitsrelevant. Um den Interaktionsaufwand für den Benutzer gering zu halten, ist die Erkennung des Arbeitskontextes nötig. Auf diese Weise können sich die Systeme proaktiv verhalten, indem sie eigenständig Situationen erkennen und daraufhin dem Benutzer Entscheidungen abnehmen.

Ein weiteres Merkmal des Wearable Computing ist die ständige Verfügbarkeit des Systems. Diese Eigenschaft wird auch als „Always On“ bezeichnet. Die ständige Verfügbarkeit stellt einen permanenten Energiekonsum dar und stellt besondere Anforderungen an Energieversorgung und Ausfallsicherheit.

Die Akzeptanz der Systeme steigt mit zunehmender Miniaturisierung, da sie unauffälliger und angenehmer zu tragen sind. Durch die Verringerung des Stromverbrauchs werden längere Laufzeiten im mobilen Einsatz erreicht. Ein Beispiel für einen Wearable ist der „QBIC“ Computer<sup>6</sup>, dargestellt in Abbildung 2.8, der in einen Gürtel integriert ist.



Abbildung 2.8: QBIC (Amft u. a., 2004)

Zusammengefasst sind dies die wichtigsten Merkmale des Wearable Computing (Amft u. a., 2004):

- *Integration*: Integration von Geräten, so dass sie den Benutzer bei physischen Aktivitäten nicht behindern und dass der Benutzer in die Lage versetzt wird, unter allen Bedingungen mit dem Gerät zu arbeiten
- *Interaktion*: Neue Interaktionskonzepte erlauben dem Benutzer auf das System zuzugreifen, ohne seine Fähigkeit mit der Umgebung zu interagieren zu beeinflussen.
- *Situationsabhängigkeit*: Das System hat die Fähigkeit, Benutzeraktivitäten und Umgebungsbedingungen zu erkennen und modellieren.

Die Gewichtung der Merkmale für die Entwicklung eines Wearables hängt dabei von dem spezifischen Anwendungszweck des Systems ab (Starner, 2001a,b).

---

<sup>6</sup>Q-Belt-Integrated-Computer

### 2.2.2.1 Mensch-Computer Interaktion

Die Interaktion zwischen Mensch und Wearable Computer wird in Eingabe- und Ausgabe-modalitäten unterschieden. Eine Kombination von verschiedenen Ein- und Ausgabemöglichkeiten wird als multimodale Interaktion bezeichnet. In diesem Fall werden verschiedene Sinnesmodalitäten angesprochen. Hierbei handelt es sich um auditive, visuelle und taktile Modalitäten (Siehe Abbildung 2.9). Für taktile Modalitäten werden greifbare Ein- und Ausgabegeräte verwendet. Die einzelnen Modalitäten können dabei unabhängig voneinander oder auch gleichzeitig genutzt werden. Die Verwendung einzelner Modalitäten weist in bestimmten Fällen Schwächen auf. Die Mischung der aufgezeigten Modalitäten führt unter Umständen zu einer wechselseitigen Ergänzung und trägt zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit der Interaktion bei.

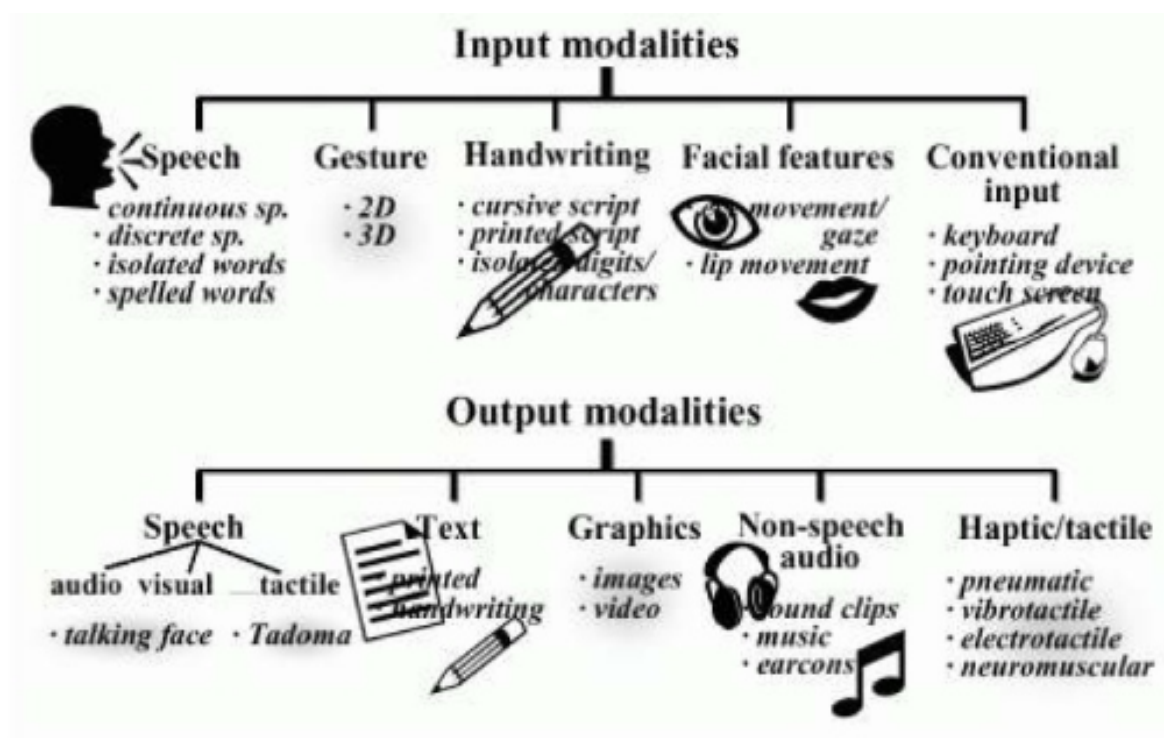


Abbildung 2.9: Mensch-Computer Interaktion (Furui, 2000)

#### Eingabe

Zur Eingabe gibt es zahlreiche Interaktionsmethoden, welche für das Wearable Computing geeignet sind. Abbildung 2.10 zeigt den bereits verbreiteten *Twiddler2* von HandyKey (2007). Das Gerät ist eine Einhandtastatur und Maus in einem Gerät. Das Gerät erfordert einen hohen Lernaufwand für das Schreiben. Der Benutzer hat bei der Verwendung dieses Gerätes

nicht beide Hände frei und es eignet sich daher nicht für Anwendungen, bei denen beide Hände für andere Tätigkeiten benötigt werden.



Abbildung 2.10: Twiddler2 ([HandyKey, 2007](#))

Der Einsatz einer Spracheingabe stellt eine attraktive Eingabemethode dar, da die Hände frei bleiben. Die Verwendbarkeit einer Spracherkennung hängt vom Einsatzgebiet ab. Der Einsatz der Spracheingabe ist sinnvoll, wenn der Benutzer mobil ist und dabei die Hände für andere Tätigkeiten benötigt oder die Augen abgelenkt sind. Sie eignet sich bei Sehbehinderungen oder physischen Einschränkungen. Für die Spracheingabe wird ein Domänenwissen vorausgesetzt, denn es gibt keine menü-ähnlichen Prompts. Die Spracheingabe erfolgt öffentlich, d. h. dass jeder im Umfeld die gesprochenen Befehle mithören kann. Aus diesem Grund ist die Spracheingabe in Bereichen, in denen ein Schutz der Privatsphäre nötig ist, nicht denkbar. Probleme bereitet die Spracherkennung in lauten Umgebungen, da die Sprache von den Umgebungsgeräuschen schwer zu trennen ist. Die Spracherkennung ist für das Wearable Computing von besonderem Interesse, da die Hände bei der Verwendung frei bleiben und für andere Tätigkeiten zur Verfügung stehen.

Für die Eingabe von Gestik zur Gestensteuerung gibt es Datenhandschuhe (Abbildung 2.11) oder Armbänder, die mit Beschleunigungssensoren und Neigungssensoren ausgestattet sind. Die Studienarbeit von [Senkbeil \(2005\)](#) befasst sich mit der Konzeption eines Systems zur PC-Bedienung mittels Gestenerkennung. Die Masterarbeit von [Hinck \(2008\)](#) befasst sich mit der prototypischen Entwicklung eines 3D-Eingabegerätes für stationäre und mobile Anwendungen auf Basis des Positionierungssystems IMAPS ([Gregor, 2006](#)).





Abbildung 2.11: Handschuh zur Gestensteuerung

### Ausgabe

Bei der Ausgabe wird zwischen akustischer, visueller und taktiler Ausgabe unterschieden. Die akustische Ausgabe erfolgt verbal über Sprachausgabe oder nonverbal durch akustische Signale. Sie erfolgt öffentlich über Lautsprecher oder nicht öffentlich über Kopfhörer.

Die visuelle Ausgabe erfolgt über Displays bzw. Projektoren. Es gibt eine Vielzahl von Displaytypen. Ein Head-Mounted Display (HMD) ist ähnlich einer Brille, wie Abbildung 2.12 zeigt. Es wird zwischen Optical See-Through und Video See-Through HMD unterschieden. Bei Verwendung eines Optical See-Through HMD ist die Realität für den Benutzer direkt durch eine Optik sichtbar. Die Projektion des Bildes erfolgt auf einen halbtransparenten Spiegel, der die Durchsicht ermöglicht. Auf diese Weise sieht der Benutzer das generierte Bild des Computers und die Realität simultan. Das Video See-Through HMD ist eine geschlossene Brille, welche die Realität mit Hilfe einer Kamera auf dem Display darstellt. Im Fall eines Head-Up Displays wird das Bild in die Windschutzscheibe eines Autos oder in das Visier eines Helmes projiziert.

Eine weitere Form der Ausgabe erfolgt durch projizierende Displays. Bei einem Retinal Display erfolgt die Projektion auf die Retina des Auges des Benutzers. Diese Methode hat diverse Vorteile. Es wird ein breiteres Gesichtsfeld als bei einem Head-Mounted Display ermöglicht. Die Helligkeit und der Kontrast sind ebenfalls stärker. Die Projektion findet mit einem schwachen Laserstrahl statt, daher ist der Energieverbrauch gering (Azuma u. a., 2001).

Eine Ausgabe auf taktiler<sup>7</sup> Basis erfolgt z. B. über Vibratoren und Force Feedback<sup>8</sup> Geräte.

---

<sup>7</sup>greifbar

<sup>8</sup>wörtlich: *Kraft-Rückmeldung*



Abbildung 2.12: Head-Mounted Display ([Microoptical, 2006](#))

#### 2.2.2.2 Akzeptanz

Wie bereits in [2.1](#) genannt, ist ein besonders wichtiger Faktor für den Erfolg von Wearables das Erreichen einer hohen Akzeptanz. Dazu ist ein gutes Verständnis der Bedürfnisse sowie eine ausgeprägte Kommunikation zwischen verschiedenen Disziplinen in der Entwicklung notwendig. Veränderungen durch die Einführung eines Wearables sollten nicht als negativ, sondern als Bereicherung empfunden werden. In der Benutzung sollte kein Frust wie z. B. durch Wartezeiten entstehen.

Im Projekt [wearIT@work](#) gibt es ein interessantes Beispiel für ein System, welches technisch funktioniert, dessen Akzeptanz jedoch kritisch ist. Im Anwendungsfeld *The Clinical Pathway* ([wearIT@work, 2007f](#)) des Projektes wird an einer Gestensteuerung geforscht, die es dem Arzt ermöglicht, am Patientenbett mit einem Computer zu interagieren. Zur Navigation durch Menüpunkte sind Auf- und Abwärtsbewegungen sowie seitliche Bewegungen des Unterarms notwendig. Je nach Empfindlichkeit des Systems müssen die Gesten mehr oder weniger ausgeprägt ausgeführt werden. Die Armbewegungen können auf einen Außenstehenden sonderbar wirken. Durch geeignete Vorbereitung der Patienten lässt sich die soziale Akzeptanz verbessern. Dieses Beispiel zeigt, dass Systeme technisch realisierbar sind, aber die soziale Akzeptanz ein Problem darstellt.

## 3 Analyse

Wie bereits in [1.2](#) beschrieben, besteht das Ziel dieser Arbeit in der Entwicklung einer prototypischen Indoor-Navigationsunterstützung für Feuerwehreinsätze in Form eines Wearables. Der Wearable soll in Such- und Rettungsmissionen helfen, die Orientierung zu bewahren. Dies gilt insbesondere unter eingeschränkten Sichtverhältnissen. Zur Positionsbestimmung wird das in [2.1.2.1](#) vorgestellte LifeNet eingesetzt. Basierend auf relativer Positionierung lassen sich Pfade verfolgen, die zuvor ausgelegt wurden.

Die Methoden des User-Centered Design und eine Kombination von Prototypingmethoden dienen als Hilfsmittel für die Entwicklung. Die Methoden des User-Centered Design basieren auf dem projektübergreifenden Ansatz des Projektes wearIT@work und den Anforderungen, die sich aus dem Teilprojekt Emergency Response ergeben. Es wird ein dreigeteilter Designprozess angewendet, der in dieser speziellen Form eine Entwicklung des Fraunhofer-Institutes für Angewandte Informationstechnik FIT des Teilprojektes Emergency Response ist ([Klann, 2008](#)). Der dreigeteilte Prozess besteht aus papierbasiertem Prototyping, Virtual Experience Prototyping und physikalischem Prototyping. Im Projekt ist der Ansatz des papierbasierten Prototyping bereits in Form eines Brettspiels als Werkzeug umgesetzt worden. Für das Virtual Experience Prototyping und das physikalische Prototyping gibt es Ansätze, die in dieser Arbeit umgesetzt werden.

Als Werkzeug für das Prototyping von Wearables wird eine Virtual Reality Simulationsplattform entwickelt. Die Plattform dient der Umsetzung des Virtual Experience Prototyping. Sie kann jedoch Komponenten des physikalischen Prototyping einbinden. Die Plattform wird für die Bedürfnisse der Entwicklung der prototypischen Indoor-Navigationsunterstützung dimensioniert und lässt sich für weitere Zwecke vielseitig erweitern.

Die Prototypen der Wearables für die Umsetzung der Indoor-Navigationsunterstützung sollen sowohl mit dem Virtual Experience Prototyping als auch dem physikalischen Prototyping getestet werden. Die Prototypen lassen sich mit Hilfe der Plattform simulieren und in der Realität mit anderen physikalischen Komponenten testen, wie z. B. der Realisierung des LifeNets.

### 3.1 Vorgehensweise im Projekt

Die Einführung neuer Technologien in ein Umfeld, wie das der Feuerwehr, ist schwierig. Ein Schlüsselpotenzial für die Technologie des Wearable Computing ist die enge Integration mit den zu unterstützenden Aktivitäten. Dies erfordert ein tiefes Verständnis der Arbeitspraxis und der resultierenden Veränderungen dieser Praktiken durch die Einführung neuer Technologien. Der natürliche Widerstand von Organisationen gegen Veränderungen erfordert Prozesse, welche die menschlichen und organisatorischen Faktoren berücksichtigen. Aus diesem Grund wird der in 2.1.1 beschriebene projektübergreifende Ansatz des User-Centered Design verfolgt, der beide Faktoren berücksichtigt.

Für die erfolgreiche Entwicklung sind mehrere Faktoren ausschlaggebend. Die Zusammenarbeit mit den Benutzern dient der Ermittlung der Bedürfnisse und der Herstellung von Vertrauen zu den Entwicklern. Die enge Zusammenarbeit ist ebenfalls für die Herstellung von Vertrauen und Akzeptanz zu der neuen Technik von Bedeutung. Die Entwicklung muss mit einem angemessenen Kosten- und Zeitaufwand durchgeführt werden. Aufgrund des umfangreichen Systems bietet sich eine Betrachtung von Entwicklungsprozessen an, die für ähnliche Systeme aus dem Bereich des Wearable Computing und des Ubiquitous Computing verwendet werden.

Zur Erkundung der Arbeitspraxis müssen Arbeitsabläufe identifiziert und bis ins Detail verstanden werden. Bestimmte Kenntnisse können durch Befragung der Feuerwehrmitarbeiter ermittelt werden. Es gibt aber auch Kenntnisse und Fähigkeiten, die insbesondere bei der Feuerwehr erlernt und antrainiert werden. Durch ausgiebiges Training entwickeln sich einige Arbeitsabläufe zu einem Automatismus. Das Wissen über diese Arbeitsabläufe ist implizit vorhanden (Polanyi, 1967), lässt sich jedoch für Außenstehende schwer ermitteln. Die Benutzer von bestimmten Systemen oder Werkzeugen können deren Eigenschaften und Anforderungen nicht konkret beschreiben. Zur Ermittlung dieser Informationen eignen sich Szenario Workshops, Prototypen und Demonstrationen (Alexander, 2002). Diese Techniken haben sich im Bereich des partizipativen und User-Centered Design bereits vor Jahren etabliert (Norman und Draper, 1986; Schuler und Namioka, 1993).

Die neuen Paradigmen der Interaktion und die Komplexität von Eigenschaften, die Technologien aus dem Ubiquitous Computing bieten, repräsentieren einen fundamentalen Wandel in der Beziehung zwischen Benutzern und Computern (Abowd u. a., 2005). Dieser Wandel erfordert eine Reaktion in den Methoden, die traditionell für das Design und das Testen von interaktiven Anwendungen verwendet werden. Designmethoden, welche gut für traditionelle Desktop-orientierte Systeme funktionieren, bieten nicht den gleichen Grad an Informationen für die Entwicklung von ubiquitären Anwendungen. Durch die permanente Präsenz des Computers und die komplexen Nutzererlebnisse, welche in der Interaktion zwischen dem

Benutzer und der ubiquitären Computerumgebung entstehen, müssen bei Designentscheidungen komplexe Faktoren wie kontextabhängiges Verhalten, verteilte Sensoreingaben und multimodale Interfaces berücksichtigt werden. Diese Komplexität stellt eine Herausforderung für Werkzeuge des Prototyping dar.

### 3.1.1 Prototyping

In vielen Software-Designmethoden sind Prototypen ein Kernelement des Ansatzes des User-Centered Design, da sie ein leistungsstarkes Werkzeug zur Verfügung stellen, um einen Prozess des Co-Designs zwischen Benutzer und Designer zu etablieren. Der Prozess erlaubt das Entdecken und Kommunizieren von Designideen und dessen Kontext.

Ein Prototyp ist ein System, welches die elementaren Eigenschaften eines zukünftigen Systems darstellt. Ein prototypisches System, welches von Natur aus nicht vollständig ist, dient der Modifikation, Ergänzung und Ersetzung von Designs (Naumann und Jenkins, 1982). Prototypen sind Repräsentationen von Designs, die erstellt werden, bevor finale Artefakte geschaffen werden. Ihre Aufgabe ist es, Designentscheidungen und Designprozesse zu unterstützen und zu informieren (Buchenau und Suri, 2000). Die Auswahl der Technologie für das Prototyping hängt hauptsächlich von dem adressierten Designproblem ab und beeinflusst offensichtlich die Designentscheidungen. Des Weiteren ist eine flexible Kollektion von Elementen für die Erstellung relevanter Prototypen ein Schlüsselement für einen erfolgreichen Designprozess. Es gibt diverse Modelle zur Klassifizierung von Prototypen in der Literatur (Davis, 1995; Maner, 1997).

Ubiquitous Computing bedeutet eine komplette Änderung von Paradigmen der Interaktion mit Technologie. Design und Test von Konzepten mit Hilfe von Prototypen sind schwierig, da das implizierte Nutzererlebnis bei der Verwendung derartiger Systeme schwierig zu erklären und zu simulieren ist. Es ist notwendig, Werkzeuge zu finden, um Ubiquitous Computing Ideen zu vermitteln.

Speziell im Bereich des Wearable Computing beeinflusst das multidisziplinäre Design aus dem Elektro-Ingenieurwesen, Industriedesign bis hin zum Modedesign und vielen Weiteren die Entwicklung. Die vielseitigen Disziplinen erschweren es, zu erfolgreichen Ergebnissen zu kommen. In international verteilten Projekten beeinflussen unterschiedliche Sprachen und Kulturen den Entwicklungsprozess. Zeitunterschiede durch Partner in unterschiedlichen Zeitzonen beeinträchtigen die zeitgleiche Zusammenarbeit (Kerttula und Tokkonen, 2001).

In diversen Projekten wurden verschiedene Ansätze für das Prototyping von Ubiquitous Computing Systemen verwendet, die implizit oder explizit das Konzept des Experience Prototyping verwenden (Abowd und Mynatt, 2000; Reilly u. a., 2005; Bardram u. a., 2002). Die

situationsabhängigen Erfahrungen wurden simuliert, durch die Verwendung von Repräsentationen aus einem Bereich von Wizard of Oz<sup>1</sup> (Reilly u. a., 2005) bis zu komplexen, voll funktionsfähigen Prototypen (Repo u. a., 2005). In all diesen Projekten bleibt das Verständnis der Rolle und des Einflusses von neuen Technologien im realen Kontext der Benutzung ein gemeinsamer Faktor.

In dem Artikel von Kerttula und Tokkonen (2001) wird die Entwicklung einer Simulationsplattform für Virtual Reality Prototyping für das Produktdesign beschrieben. Hier wird Virtual Reality benutzt, um Prototypen und ihre möglichen Anwendungen zu testen. Basierend auf der Simulationsplattform werden in einer Fallstudie (Repo u. a., 2005) die Anwendungsmöglichkeiten eines RFID-Lesegerätes in Kombination mit einem Mobiltelefon untersucht. In der Fallstudie werden die Geräte selbst nicht getestet, sondern die prototypische Software.

Der im Teilprojekt Emergency Response verwendete dreigeteilte Ansatz für den Designprozess (siehe Abbildung 3.1) weist in den jeweiligen Designstufen unterschiedliche Stärken und Schwächen auf. Sie unterscheiden sich in der Form der zu erwartenden Untersuchungsergebnisse und in dem Aufwand für die Anwendung der jeweiligen Methode.

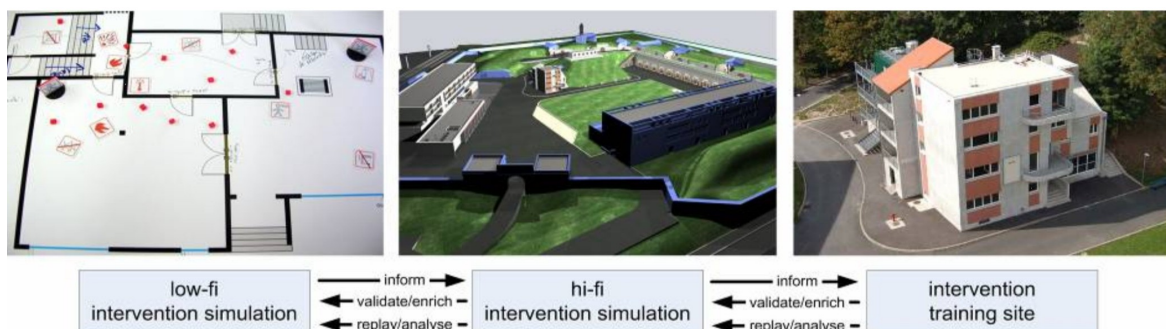


Abbildung 3.1: Dreigeteilter Designprozess (Klann, 2007b)

Die Phasen der Entwicklung von Prototypen werden in einem evolutionären Prozess iterativ durchgeführt. Sie werden durch Workshops begleitet, in denen die Benutzer und Designer der Indoor-Navigationsunterstützung aus dem Projekt wearIT@work und dem kooperierenden RELATE-Projekt beteiligt sind. Dies hilft allen Beteiligten, die Beziehungen zwischen den zu entwickelnden Komponenten zu verstehen. Jeder Workshop validiert den vorherigen Entwicklungszyklus und erzeugt Ergebnisse für die nächste Iteration der Entwicklung.

### 3.1.1.1 Papierbasiertes Prototyping

Um ein Grundverständnis für die Arbeitsweise der Feuerwehrleute zu entwickeln, wurde ein Brettspiel basierend auf dem Ansatz des papierbasierten Prototyping entwickelt. Das Brett-

<sup>1</sup>Simulation von Systemverhalten durch Eingaben eines Menschen

spiel ermöglicht die Kommunikation und das Durchspielen von Szenarios in gemeinsamen Workshops mit Entwicklern und Benutzern. Das papierbasierte Prototyping eignet sich dazu, mit wenig Aufwand zu schnellen Ergebnissen zu kommen (Buchenau und Suri, 2000). Die Einbindung von neuen Technologien in das Brettspiel ermöglicht die Veranschaulichung von Designideen und die Identifikation von Problemen in der Benutzbarkeit (Virzi u. a., 1996). Probleme können identifiziert werden, bevor mit der Entwicklung von Systemen begonnen wird (Rettig, 1994). Änderungen und Verfeinerungen lassen sich in kurzer Zeit umsetzen und erneut testen. Der Material- und Entwicklungsaufwand dieser Methode ist minimal.

Das Prinzip der Navigationsunterstützung basierend auf dem LifeNet-Konzept kann mit Hilfe von Spielfiguren und Würfeln diskutiert und in Szenarien durchgespielt werden. Das papierbasierte Prototyping hat Defizite in der Simulation von interaktivem Verhalten und eignet sich nicht zur Erforschung der Geräteergonomie. Durch die Einfachheit der Methode können nicht alle Feinheiten abgedeckt werden.

### 3.1.1.2 Virtual Experience Prototyping

Bei der Entwicklung von Wearables ist es schwer zu ermitteln, wie die Systeme in bestimmten Situationen empfunden werden. Es ist unklar, wie leicht ein Wearable zu benutzen ist und ob er als vertrauenswürdig empfunden wird. Die ästhetische und soziale Akzeptanz ist schwer messbar. Dies ist der Grund für die gezielte Erzeugung eines Nutzererlebnisses bei der Benutzung des Wearables. Um diesen Effekt des Nutzererlebnisses früh im Designprozess zu erzeugen, eignet sich der Ansatz des Experience Prototyping. Die Aufgabe besteht in der Reproduktion einer Benutzungssituation auf einer Ebene der Authentizität, die für das Design entscheidend ist. Das Konzept des Experience Prototyping besteht aus einer Kollektion von Technologien und Methoden zur Unterstützung der Simulation von relevanten, subjektiven Erlebnissen zur Unterstützung des Designprozesses (Buchenau und Suri, 2000). Der Ansatz unterstreicht, dass der experimentelle Aspekt von beliebigen Repräsentation benötigt wird, um erfolgreich ein Erlebnis mit einem Produkt, Raum oder System zu vermitteln. Im Experience Prototyping wurde ein ganzheitlicher Ansatz für das Prototyping erkundet. Er fokussiert sich auf das Verständnis und die Kommunikation des Kerns des Nutzererlebnisses.

Die Möglichkeit, Nutzererlebnisse von neuen technologischen Konzepten mit Prototypen zu erzeugen, stellt einen entscheidenden Schritt zur Erkundung und Entscheidung zwischen verschiedenen Designrichtungen dar. Zur Umsetzung des Experience Prototyping soll die bereits in 1.2 genannte Virtual Reality Simulationsplattform entwickelt werden. Durch die Kombination von Virtual Reality und Experience Prototyping wurde im Projekt der Begriff Virtual Experience Prototyping geprägt.

Die Plattform bietet eine höhere Interaktivität als beim papierbasierten Prototyping. Sie dient zur Simulation von Feuerwehreinsätzen und zum Testen von virtuellen Wearable Prototypen. Eine verteilte Simulation über ein Netzwerk ermöglicht Einsätze im Team mit sozialer Interaktion zu simulieren.

Das Virtual Experience Prototyping ist angelehnt an virtuelle Trainingsumgebungen wie z. B. Fire Department 2 (Monte Christo Games, 2007). In ersten Untersuchungen bei der Pariser Feuerwehr (BSPP) wurde schnell klar, dass das Spielen von Computerspielen wie Fire Department, Counterstrike und anderen eine beliebte Freizeitbeschäftigung in den Feuerwachen ist. Durch Gespräche und weitere Faktoren ist die Intention gewachsen, eine spielartige Technik für verschiedene Zwecke zu verwenden (Klann u. a., 2006).

Das Virtual Experience Prototyping dient sowohl für sequentielle als auch für parallele Designprozesse. Prototypen können vor der Realisierung physikalischer Prototypen mit dem virtuellen Prototyping getestet werden, um erste Eindrücke zu gewinnen. Die ersten Resultate lassen sich in Benutzerevaluationen ermitteln, um Designentscheidungen zu treffen, ohne Zeit und Geld in die Realisierung von Hardware zu investieren. Das Virtual Experience Prototyping lässt sich nach der Erstellung eines physikalischen Prototyps parallel weiterführen. Ergebnisse aus der Erprobung des physikalischen Prototyps fließen anschließend wieder in die Entwicklung des virtuellen Prototyps ein. Veränderungen lassen sich mit dem virtuellen Prototyp mit geringem Aufwand umsetzen und testen.

Durch das Virtual Experience Prototyping lassen sich Prototypen in definierten Szenarien beliebig häufig testen. Teilkomponenten des Gesamtsystems lassen sich durch Simulatoren ersetzen, falls sie aufgrund ihres Entwicklungsgrades noch nicht reif für einen realen Test sind.

Der Aufwand für die Planung von Benutzertests und Material ist gering. Veränderungen in der Entwicklung lassen sich in die Simulationsplattform übertragen und dort prüfen. Eine Stärke des Virtual Experience Prototyping ist die Möglichkeit, unbeaufsichtigte Simulationen durchzuführen. Dazu wird den Benutzern die Umgebung zur freien Verfügung gestellt, damit sie jederzeit Zugriff auf das System haben.

Die Qualität des situativen Effektes entspricht nicht der Qualität eines realen Einsatzes. Faktoren welche dies beeinflussen sind z.B. Hitze, Erschöpfung und das reale Risiko eines Einsatzes. Diese Faktoren können in einer virtuellen Umgebung nicht reproduziert werden, auch wenn es sich um eine gute Simulation handelt (Klann, 2007a).

Durch Virtual Experience Prototyping lassen sich nicht alle Aspekte eines Prototyps überprüfen. Beispielsweise werden nicht alle Sinne befriedigt. Es können keine Gerüche und nur in eingeschränktem Umfang haptische Eindrücke vermittelt werden, wie es in der Realität möglich ist.



Die Ergonomie von Geräten lässt sich nicht erproben, sofern die Geräte in der Virtual Reality Simulationsplattform simuliert werden. Sie lässt sich testen, indem physikalische Prototypen an die Plattform angeschlossen werden. Natürlich sind die Geräte nicht immer real verfügbar, da dies gerade eine typische Eigenschaft des virtuellen Prototyping ist. Geräte können simuliert werden, ohne dass sie als Hardware realisiert sein müssen.

Durch den bewussten Einsatz des Virtual Experience Prototyping und die Berücksichtigung der Stärken und Schwächen eignet sich diese Methode, um Erkenntnisse aus Benutzertests in die Entwicklung einfließen zu lassen. Durch die Kenntnis der Eigenschaften lassen sich die Ergebnisse gezielt nutzen.

### 3.1.1.3 Physikalisches Prototyping

Das physikalische Prototyping dient zur Überprüfung der vorherigen Designstufen und der Aspekte, die durch die Schwächen des papierbasierten Prototyping und des Virtual Experience Prototyping nicht abgedeckt werden. Ein realer Prototyp wird in der Zielumgebung in einer realitätsnahen Simulation eines Einsatzes getestet. Die simulierten Einsätze finden unter realitätsnahen Bedingungen statt und können dadurch zuvor getroffene Annahmen und Designentscheidungen validieren. Die Ergonomie von Geräten sowie situative Effekte können im physikalischen Prototyping getestet werden. Das physikalische Prototyping eignet sich zur Überprüfung der Geräteergonomie, da die Geräte in einem realitätsnahen simulierten Einsatz am Körper getragen und benutzt werden. Das Nutzererlebnis hat hier den größten Bezug zur Realität, was die Qualität des situativen Effektes stark verbessert. Die simulierten Einsätze können die situativen Effekte eines realen Einsatzes jedoch nicht komplett abbilden, da der Stress durch Hitze, Erschöpfung und Risiko in realen Einsätzen höher ist. Die Ergonomie von Geräten ist von großer Wichtigkeit für die Benutzbarkeit eines Wearables (Klann, 2007a). Ein Ansatz für das Prototyping von Technologien des Wearable Computing in Bezug auf die Geräteergonomie ist ein an der Carnegie Mellon University (CMU) entwickelter Prozess des User-Centered Design (Smailagic und Siewiorek, 1999). Er beschreibt die konkurrierend interdisziplinäre Entwicklung von physikalischen Prototypen, um unter anderem die Bedienelemente eines Wearables in Benutzertests auf ihre Handhabbarkeit zu testen.

Wie bereits in 2.1.2.2 erwähnt, steht für den Test von realen Prototypen mit der Feuerwehr Paris, ein Trainingshaus zur Verfügung. Dort lassen sich simulierte Einsätze mit den physikalischen Prototypen durchführen. Durch die Definition und Durchführung bestimmter Szenarien lassen sich zuvor identifizierte Untersuchungsfragen gezielt beantworten.

## 3.2 Indoor-Navigationsunterstützung

Für die Entwicklung der Simulationsplattform für das Beispiel der Indoor-Navigationsunterstützung ist es für die Entwicklung initialer Prototypen nötig, sich mit der Domäne der Endbenutzer der Feuerwehr und mit dem Navigationsverhalten von Fußgängern zu befassen. Um sicherzustellen, dass die Navigationsunterstützung erfolgreich angenommen wird, ist es notwendig, die Informationsanforderungen und die daraus folgenden Designimplikationen zu verstehen. Es ist insbesondere wichtig, welche Informationen auf welche Weise verwendet werden. Der Schlüssel für ein erfolgreiches Design von Fußgängernavigation mit Hilfe von mobilen Geräten ist das Verständnis der Natur der Navigationsaufgabe und des Informationsbedarfes des Fußgängers. Aus diesem Grund werden verwandte Arbeiten und das bisherige Verhalten bei der Navigation mit der Lifeline betrachtet.

### 3.2.1 Verwandte Arbeiten

Ein Großteil der theoriegetriebenen Forschung, im Gegensatz zur gerätezentrierten Forschung, über Navigation fokussiert sich darauf, wie Menschen über geographische Informationen denken und sie verarbeiten. Menschen treffen Wegfindungsentscheidungen aufgrund des zuvor gewonnenen räumlichen Verständnisses ihrer Umgebung. Diese räumliche Repräsentation der Umgebung wird als „kognitive Karte“ bezeichnet. Um ein besseres Verständnis für das Interaktionsverhalten mit der Umgebung zu bekommen, wurden kognitive Theorien aus den Bereichen Geographie und Psychologie vereint ([Kitchin und Blades, 2001](#)).

Die verwendete Technologie zur Lokalisierung, die technische Umsetzung dieser Technologie sowie die Art der Darstellung der Informationen für den Benutzer müssen bei der Entwicklung als gesamtheitliches System betrachtet werden ([Liu u. a., 2006](#)). Die Wahl des Lokalisierungsverfahrens wirkt sich auf die technische Umsetzung und auf die Art der verfügbaren Informationen aus. Das Spektrum der verfügbaren Informationen bestimmt die Darstellungsmöglichkeiten in der Navigationsanwendung.

Zur Analyse der Anforderungen an die initialen Prototypen der Indoor-Navigationsunterstützung werden Grundlagen aus Fußgängernavigation und Indoor-Navigation erläutert. Außerdem wird das natürliche Navigationsverhalten von Fußgängern im Freien und innerhalb von Gebäuden betrachtet. Für die Entwicklung der Prototypen werden unterschiedliche Designansätze identifiziert. Dadurch wird eine Vergleichbarkeit geschaffen, um Designentscheidungen für zukünftige Designrichtungen zu treffen.

### 3.2.1.1 Fußgängernavigation

Die Fußgängernavigation ist im Vergleich zur Fahrzeugnavigation in der Vielfalt der möglichen Situationen umfangreicher. Bei der Fahrzeugnavigation beziehen sich die Routen auf Straßennetzwerke. Jede gegebene Anweisung bezieht sich auf das darunter liegende Netzwerk. Eine Reise zu einem entfernten Ziel findet auf verschiedenen Typen von Straßennetzwerken statt. Dieses System hat viele Einschränkungen und Regeln, welche gemeinsam mit dem Straßennetzwerk ein tolerantes System gegenüber Ungenauigkeiten der Benutzer und der Daten ergeben. Sofern Routenanweisungen nicht zu spät gegeben werden, führen Ungenauigkeiten nicht dazu, dass der Benutzer von seiner gewählten Route abkommt. In einem Straßennetzwerk stellen Verzweigungen wie z. B. Kreuzungen Entscheidungspunkte dar.

Fußgängernavigation ist nicht auf ein Netzwerk von Straßen bezogen, sondern beinhaltet alle passierbaren Bereiche, wie zum Beispiel Gehwege, Plätze und offene Bereiche, innerhalb und außerhalb von Gebäuden. Entscheidungspunkte liegen nicht typisch an Verzweigungen, sondern sie sind eine Eigenschaft der aktuellen Position des Fußgängers. Fußgänger haben die Freiheit ihren eigenen Pfad zu wählen, sich auf Straßennetzwerke zu begeben und sie wieder zu verlassen. Sie können, mit der Ausnahme von Hindernissen wie Brücken und Wänden, wo und wann immer sie wollen Abkürzungen nutzen oder Plätze überqueren.

Daher wird für Fußgänger die Definition eines Pfades, bestehend aus Wegpunkten, benötigt. Wegpunkte unterscheiden sich von traditionellen Entscheidungspunkten, wie Verzweigungen z. B. an Kreuzungen, insofern dass sie nicht Teil eines Straßennetzwerkes sind, aber Punkte beschreiben die der Benutzer passiert, unabhängig von der darunter liegenden Struktur. Abbildung 3.2 zeigt die Beschreibung eines Pfades durch Wegpunkte für eine gegebene Route (Wuersch und Caduff, 2005). Der Pfad beschreibt eine Tour, zwischen dem Start (A) und dem Ziel (B) entlang von verschiedenartigen Plätzen. Der Pfad besteht aus Wegpunkten, die nicht zwingend mit dem darunter liegenden Routennetzwerk verbunden sind.

In der Navigation kann zwischen routenbasierten und lokationsbasierten Mechanismen unterschieden werden. Routenbasierte Mechanismen beinhalten die Überwachung der Bewegungsrichtung und der relativen Distanzen während der verschiedenen Abschnitte einer Fortbewegung. Lokationsbasierte Mechanismen beinhalten die Überprüfung von Positionen und Richtungen in Relationen zu entfernten wahrnehmbaren Landmarken.

Die Navigationsstrategien unterscheiden sich in dem Gehalt des vermittelten Routen- und Umgebungswissens. Der Inhalt und die Art und Weise der Präsentation von Informationen sollte nicht nur zu den temporären Bedürfnissen des Benutzers passen, sondern die Effekte der präsentierten Informationen berücksichtigen, die über einen längeren Zeitraum in der Benutzung entstehen. Die Informationen sollten während einer Navigationsaufgabe nicht nur helfen die nächsten Navigationsentscheidungen zu treffen um einer Route zu folgen. Sie sollten die Menge des erzeugten Umgebungswissens fördern, da es benötigt wird um sich

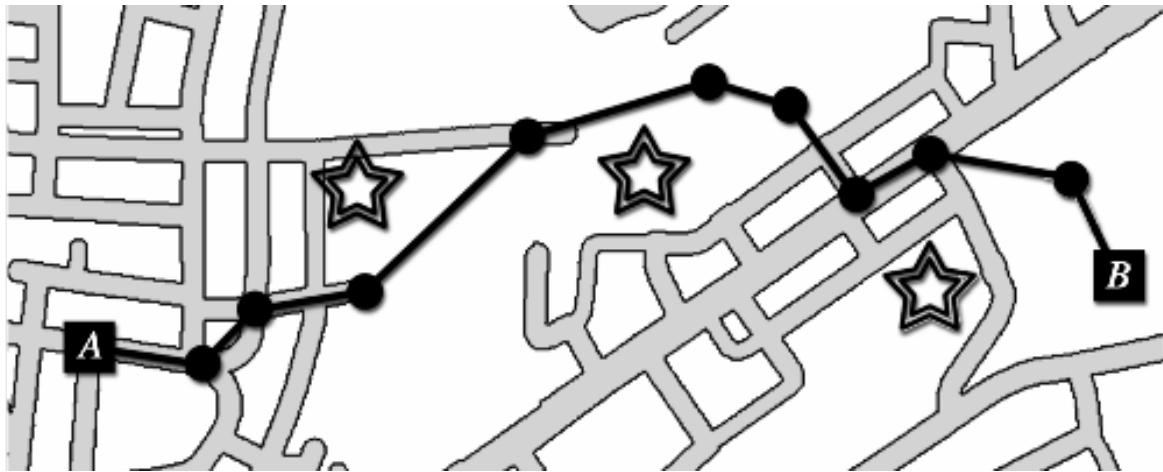


Abbildung 3.2: Beschreibung einer Route durch Wegpunkte, unabhängig von der darunter liegenden Struktur (Wuersch und Caduff, 2005)

zu reorientieren, Entfernungen abzuschätzen und sich an geographische Orte zu erinnern. Dieses Wissen ist besonders wichtig sobald die Infrastruktur, bestehend aus Sensoren in der Umgebung, wie zum Beispiel RFID-Tags, Infrarot-Sender oder GPS-Empfänger oder das persönliche mobile Gerät, versagt (Aslan u. a., 2006).

Im Rahmen der Untersuchungen von Aslan u. a. (2006) werden drei Studien beschrieben, deren Durchführung sich mit Effekten der Fußgängernavigation in Bezug auf die Erzeugung von Umgebungswissen beschäftigt. In der ersten Studie (Krüger u. a., 2004) werden Abhängigkeiten von den Ausgabemedien sowie auditiven und visuellen Ausgabemodalitäten auf die Erzeugung von Routen- und Umgebungswissen untersucht. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ausgabemedien und keinen bedeutenden Unterschied zwischen den Ausgabemodalitäten für die erfolgreiche Erzeugung von Routenwissen. Die Studien zeigen, dass viele Benutzer einen großen Mangel an Umgebungswissen haben. Die Probanden sind nach den Studien nicht in der Lage, Landmarken in korrekten geographischen Anordnungen zueinander zu platzieren. In der zweiten Studie (Aslan u. a., 2006) werden neue Wege entwickelt um räumliche Informationen darzustellen, um die Erzeugung von Umgebungswissen zu unterstützen. Es wird eine Audioausgabe zur Vermittlung der Navigationsinformationen verwendet. Zusätzlich werden visuelle Informationen vermittelt, welche die aktuelle Teilroute der kompletten Route darstellen. Die Hypothese ist, dass durch Bereitstellung eines Überblicks der Umgebung, das erzeugte Umgebungswissen erhöht wird. Präsentiert wird eine Darstellung einer drei Landmarken umfassenden Übersichtskarte wie in Abbildung 3.3. Die Karte beinhaltet die Darstellung der vorherigen, aktuellen und der nächsten Landmarke und den Segmenten durch die sie verbunden sind. Es ist bekannt, dass Menschen mental in der Lage sind, mehrere Teilausschnitte einer Karte zu einer einzigen Präsentation einer Gesamtkarte zusammenzufügen (Zimmer, 2004). Es ist ebenso

bekannt, dass es schwieriger ist Informationen aus einer unausgerichteten Karte zu erfassen, im Gegensatz zu einer ausgerichteten Karte. Die Hervorhebung der Routenrichtung und Orientierung des Benutzers innerhalb der Übersichtskarte fördert die leichtere Erfassung.



Abbildung 3.3: Darstellung von drei Wegpunkten und den Pfaden durch die sie verbunden sind (Aslan u. a., 2006)

In der genannten zweiten Studie führt die zusätzliche Darstellung von Umgebungsinformationen, in Form der umliegenden drei Wegpunkte, zu einer Verschlechterung der Navigationsleistung. Dies spricht gegen die Hypothese, dass diese Informationen eine Bereicherung darstellen. Die Erzeugung von Umgebungswissen scheint negativ beeinflusst zu werden.

Aufgrund der überraschenden Ergebnisse wird eine weitere Studie durchgeführt, welche überprüft, ob es generell möglich ist, die Erzeugung von Umgebungswissen in einem derartigen Umfeld zu überprüfen. Zu diesem Zweck wird eine papierbasierte Karte eingesetzt, welche die gleichen Anweisungen wie auf dem mobilen Gerät zeigt. Bevor die Probanden beginnen eine Teilroute zu begehen, wird ihnen eine Übersicht über die Route gezeigt. Die Benutzer müssen bestätigen, dass sie verstanden haben, in welche Richtung sie zu gehen haben, indem sie in die Karte einzeichnen, in welche Richtung sie an welcher Landmarke gehen müssen. Anschließend wird die Übersicht entfernt und sie müssen die Teilroute vom Anfang bis zum Ende abgehen. Am Ende der Teilstrecke wird eine neue Information für die nächste Teilstrecke vorgelegt.

Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Anstieg in der Genauigkeit des Routenwissens für die papierkartenbasierte Wegfindung, im Vergleich zur technologiebasierten Navigation. Das Erinnerungsvermögen an die Route war bereits mit der technologiebasierten Navigation gut, aber mit der papierkartenbasierten Wegfindung ist es nahezu perfekt. Die Erzeugung von Umgebungswissen wurde nicht verbessert.

Die Ergebnisse stimmen mit der Annahme (Aginsky u. a., 1997) überein, dass die bevorzugte Strategie der Menschen für räumliche Orientierung in der visuellen Wahrnehmung in Verbindung mit Landmarken und Richtungen besteht, anstatt Umgebungswissen in Form einer kognitiven Karte aufzubauen. Das gilt insbesondere in komplett unbekanntem Umgebungen. Die Annahmen die zur Förderung des erzeugten Umgebungswissens beitragen sollten, scheinen nicht effektiv genug zu sein, um Menschen zu helfen, eine kognitive Karte aufzubauen. Stattdessen scheint die Erzeugung von Umgebungswissen ungewollt beeinflusst zu werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verbindung zwischen der Präsentation von kartenähnlichen Informationen und der Erzeugung von Umgebungswissen nicht so einfach ist, wie ursprünglich gedacht. Das Hinzufügen von Informationen, in abstrahierter Form sowie in Form von kompletten Karten, muss sorgfältig überlegt und getestet werden. Der Zusammenhang zwischen papierbasierter und technologiebasierter Präsentation bedarf weiterer Untersuchungen. Möglicherweise ist es für den Benutzer absolut notwendig, eine bestimmte Menge der zur Verfügung stehenden Informationen aktiv auszuarbeiten. Anstatt zu versuchen, wann immer möglich, den Anteil der kognitiven Belastung zu reduzieren, scheint es notwendig, die sorgfältige mentale Ausarbeitung von spezifischen Informationen in einer attraktiven Weise in Abhängigkeit von der Situation zu fördern.

Es kann unterschieden werden, ob Informationen direkt an Wegpunkten oder zwischen den Wegpunkten, auf den so genannten Pfaden, gegeben werden. Ein Wegpunkt ist ein Entscheidungspunkt, an dem verschiedene Richtungen eingeschlagen werden können und an dem die Unsicherheit des Benutzers hoch ist. Auf den Pfaden besteht weniger Navigationsunsicherheit und daher weniger Informationsbedarf.

Ein einfaches Navigationsmodell (Burnett, 1998) beschreibt, wie Informationen genutzt werden. Das Modell kategorisiert Informationen, die zur *Vorschau*, *Identifikation* oder *Bestätigung* dienen und ermöglicht eine direkte Zuordnung zwischen der zeitlichen Natur der Navigation entlang von Routen. Weiterhin wird der Informationsbedarf basierend auf der Navigationsaufgabe berücksichtigt. Vorschauinformationen werden benutzt, um dem Fußgänger vorzeitige Ankündigungen zu geben, wenn Navigationsentscheidungen bevorstehen. Informationen zur Identifikation werden verwendet, um einen exakten Punkt auf einer Route zu beschreiben. Zur Bestätigung dienen Informationen, die dem Benutzer mitteilen, dass er eine Aktion erfolgreich ausgeführt hat.

Die Informationen lassen sich nach ihrer Wichtigkeit einstufen. Es wird zwischen primären und sekundären Informationen unterschieden. Primäre Informationen sind für den Fußgänger zwingend erforderlich damit er erfolgreich navigieren oder einen Teil der Route identifizieren kann. Werden primäre Informationen aus den Navigationsanweisungen entfernt, macht es einen erfolgreichen Abschluss einer Navigationsaufgabe unmöglich oder führt zu einer substantiellen Unsicherheit. Sekundäre Informationen sind für den Fußgänger nicht zwingend erforderlich, um zu navigieren, jedoch unterstützen sie die Navigationsaufgabe. Diese

Informationen sind teilweise redundant und helfen dem Fußgänger möglicherweise in Momenten der Unsicherheit. Bei Entfernen dieser Informationen kann die Navigationsaufgabe weiterhin ausgeführt werden (May u. a., 2003).

#### *Verfeinerung durch Abstufungen der Distanz oder Genauigkeit*

Aufgrund der vielseitigen Möglichkeiten der Fußgängernavigation ist es wichtig, Routenanweisungen an jedem Punkt entlang des Weges anzubieten. Diese Routenanweisungen sollten bevorzugt zum richtigen Zeitpunkt gegeben werden, also nicht zu spät und nicht zu früh. Im Fall, dass Anweisungen zu früh gegeben werden, kann es passieren, dass der Benutzer den falschen Pfad auswählt, während späte Anweisungen dazu führen, dass der Benutzer zu spät handelt. In beiden Fällen werden zusätzliche Anweisungen und Korrekturen benötigt. Das Ziel der Untersuchungen von Wuersch und Caduff (2005) ist es, präzisere Routenanweisungen unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten der Position des Benutzers und des Wegpunktes anzubieten. Eine qualitative Messung, wie nah sich der Benutzer an dem aktuellen Wegpunkt befindet, dient der Verfeinerung der Anweisungen zur Verfolgung der Route. Dadurch wird die Navigation genauer und intuitiver.

Um einer Sequenz von Wegpunkten mit Hilfe von verfeinerten Anweisungen zu folgen, ist es notwendig, die Distanz des Anwenders zum aktuellen Wegpunkt einer vordefinierten Route bestimmen zu können. Abbildung 3.4 zeigt die Darstellung der Anweisungen an einen Benutzer, der sich einem Wegpunkt nähert. In weiter Entfernung vom Wegpunkt führt die visuelle Anweisung den Benutzer zum aktuellen Wegpunkt (Abb. 3.4 a), während eine Ankündigung gegeben wird, wo er anschließend hinzugehen hat, sobald der aktuelle Wegpunkt erreicht ist (Abb. 3.4 b). Hat sich der Benutzer dem Wegpunkt auf eine dichte Distanz genähert, wird eine nicht verfeinerte visuelle Anweisung gegeben, welche einfach in die Richtung des neuen aktuellen Wegpunktes zeigt (Abb. 3.4 c). Für eine größere Vielfalt an Unterscheidungsmöglichkeiten müssen verschiedene Abstufungen der Distanz zu einem Wegpunkt unterschieden werden. Auf Basis dieser Abstufungen lassen sich verfeinerte Informationen gezielt anbieten.

Die in Abbildung 3.4 dargestellten Kreise um die Wegpunkte herum, repräsentieren die Genauigkeit der Position des Wegpunktes. Alternativ können die Kreise die Region bestimmen, in der das System einfache Anweisungen an den Benutzer geben soll, ohne das Risiko einzugehen, den Benutzer falsch zu führen. Die Anweisungen werden durch Pfeile dargestellt. Gerade Pfeile werden als nicht verfeinerte Anweisungen und gebogene Pfeile als verfeinerte Anweisungen benutzt. Eine Richtungsänderung leitet sich für jeden Wegpunkt aus der vordefinierten Route ab. Die zugehörige Anzeige der Richtung durch den Pfeil zeigt dies an. Ein gebogener Pfeil wird verwendet, wenn sich der Benutzer einem Wegpunkt nähert. In diesem Fall zeigt die Spitze des Pfeils zum nächsten Wegpunkt, während das Ende des Pfeils weiterhin auf den herannahenden Wegpunkt zeigt (Abbildung 3.4 b). Diese visuelle Anweisung repräsentiert die Situation in der Realität genauer, als eine nicht verfeinerte Anweisung. Die

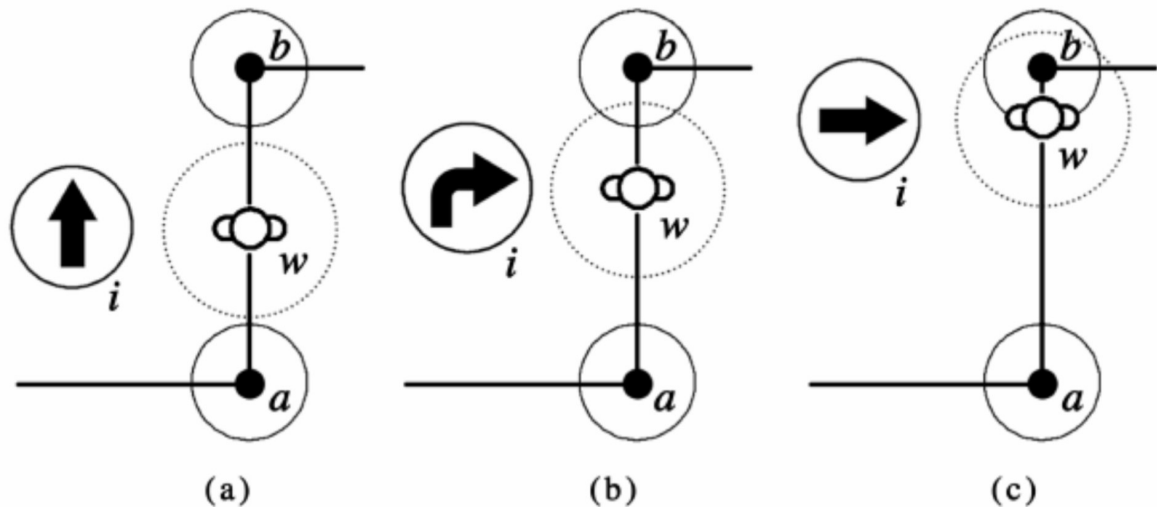


Abbildung 3.4: Verfeinerte Navigationsanweisungen (Wuersch und Caduff, 2005)

verfeinerte Anweisung entspricht der verbalen Beschreibung „Gehe geradeaus und dann biege rechts ab“. Je nach Verfeinerung der Abstufung der Distanz zwischen Benutzer und Wegpunkt lässt sich bestimmen, wie exakt der Benutzer der Route folgen muss oder ob ihm mehr Freiheit gelassen wird, der Route zu folgen.

#### *Regionsabhängige Verfeinerung*

Ein erweiterter theoretischer Ansatz sieht anstelle von typischen Wegpunkt-Pfad-Wegpunkt Ansätzen die Erzeugung von Routenanweisungen auf der regionsbasierten Definition von Routen vor. Die Definition einer Route als eine Sequenz von Regionen befreit den Anwender von der Verfolgung eines exakten Pfades. Der Ansatz sieht die Verbindung zweier Wegpunkte durch eine mit einem Puffer erweiterte Kante vor. Wie in [Abbildung 3.5](#) dargestellt, wird der Benutzer bei Verlassen der Pufferzone zurück in die Region der Pufferzone geführt, bis er sich dicht an oder innerhalb der Region befindet. Innerhalb der Region befindet sich der Benutzer auf der richtigen Route und die Anweisungen beziehen sich auf die Verfolgung der Route. Informationen zur Korrektur werden gegeben sobald sich der Benutzer aus der Region entfernt.

#### **3.2.1.2 Indoor-Navigation**

Bei der Indoor-Navigation handelt es sich um ein Teilgebiet der Fussgängernavigation. Sie hat Besonderheiten, da die Navigation innerhalb von Gebäuden erfolgt. Diese Masterarbeit



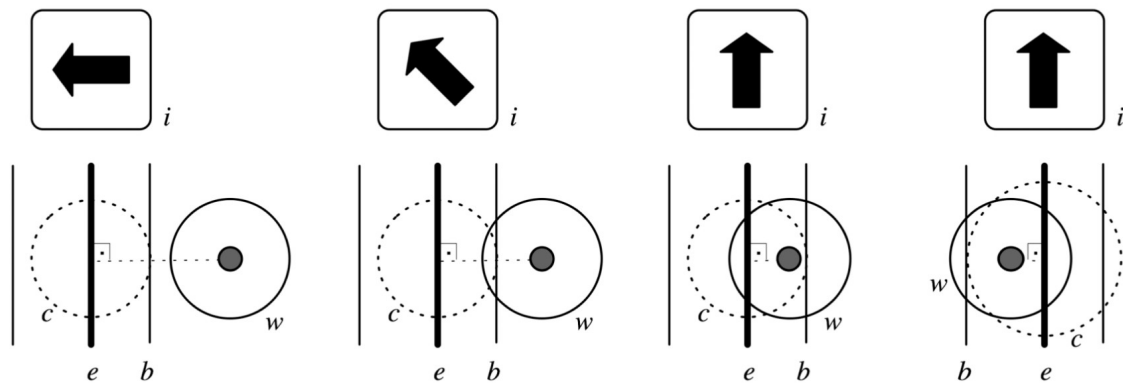


Abbildung 3.5: Regionsabhängige Navigationsanweisungen (Wuersch und Caduff, 2006)

befasst sich mit der prototypischen Umsetzung der Indoor-Navigationsunterstützung. In seiner Bachelorarbeit beschäftigt sich Pfaff (2007) detailliert mit der „Entwicklung eines PDA-basierten Indoor-Navigationssystems“.

Damit der Benutzer bei der Indoor-Navigation mit angemessenen Informationen versorgt wird, sollte der Informationsgehalt dynamisch angepasst werden. Das Auftreten von Ungenauigkeiten und Unsicherheit von Positions- und Orientierungsinformationen muss in der Informationspräsentation berücksichtigt werden, damit der Benutzer nicht fehlgeleitet wird. Der Artikel von Butz u. a. (2001) beschäftigt sich mit einem hybriden Indoor-Navigationssystem. Das System bietet eine adaptive Anpassung der Informationsdarstellung.

Eine erfolgreiche Wegbeschreibung muss den Benutzer optimal unterstützen, um an Entscheidungspunkten die richtige Wahl zu treffen. Basierend auf dem Wissen über die exakte Position und Orientierung hilft die Beschreibung bei der Reorientierung in die neue Richtung, um dem richtigen Weg zu folgen. Im Fall von statischen Wegbeschreibungen anhand von gemalten Karten muss der Benutzer seine Position und Orientierung an jedem Entscheidungspunkt selbst bestimmen.

Ein Fußgängernavigationssystem und der Benutzer bilden eine Einheit im Sinne des Wissens über die Position und die Orientierung des Benutzers, die im System präsentiert werden muss. Hat das System Kenntnis über die exakte Position und Orientierung des Benutzers, kann es Informationen für die Reorientierung, z. B. durch einen Pfeil einfach bereitstellen. Ist im Gegensatz dazu die Position und Orientierung des Benutzers vage oder nicht vorhanden, muss das System Informationen bereitstellen, damit sich der Benutzer selbst lokalisieren oder die eigene Orientierung im Raum prüfen kann.

Um eine angemessene grafische Präsentation der Interaktionsschemata zu erzeugen, um eine Navigationsaufgabe zu beschreiben, wird eine Metrik benötigt um die Qualität der Information über Position und Orientierung zu beschreiben.

Die Auflösung der Orientierung lässt sich in Grad messen. Zum Beispiel impliziert eine Auflösung von  $\pm 45$  Grad, dass das System an einem Entscheidungspunkt in einem Winkel der kleiner ist als 90 Grad, nicht zwischen zwei Alternativen unterscheiden kann. Die Genauigkeit der Orientierungsbestimmung hängt von der technischen Umsetzung und von Störfaktoren ab.

Die Auflösung der Position wird in Metern gemessen und beschreibt die maximale Abweichung von der angenommenen Position. Insbesondere innerhalb von Gebäuden können geringe Abweichungen falsche Annahmen hervorrufen, z. B. darüber, ob sich jemand vor oder hinter einer Wand befindet. Dieses Problem kann durch die Überprüfung der Sichtbarkeit z. B. mit optischen Medien umgangen werden.

Ein weiterer Faktor im Zusammenhang mit der Qualität von Messungen, ist die Informationsabdeckung. Sind in einigen Bereichen keine Informationen verfügbar, ist dies nicht kritisch, sofern an den Entscheidungspunkten eine ausreichende Abdeckung vorhanden ist. Größere Bereiche, die keine Informationen bereitstellen, können durch eine geeignete grafische Präsentation kompensiert werden.

Für die Wegfindung ist eine hohe Auflösung der Orientierungs- und Positionsinformationen nicht immer notwendig. Unter der Annahme, dass sich ein Benutzer auf einem Segment von einem Entscheidungspunkt zum Nächsten bewegt, ohne die Richtung zu ändern, ist eine Unterscheidung zwischen diesen beiden Entscheidungspunkten leicht möglich. Das gleiche gilt für die Auflösung der Orientierung. Es kann leicht ermittelt werden, ob das System zwischen allen Möglichkeiten an einem Entscheidungspunkt unterscheiden kann. Zum Beispiel ist an einer T-Verzweigung eine Genauigkeit von  $\pm 45$  Grad gut genug, um den Benutzer in die neue Richtung zu reorientieren.

Karten stellen die wichtigste Präsentationsform dar, um räumliche Informationen zu vermitteln. Selbst wenn Karten dramatisch von der erwarteten Struktur der räumlichen Umgebung abweichen, können Sie helfen dem Benutzer einen guten Überblick über die Umgebung zu liefern. Die Präzision scheint keine besonders wichtige Rolle im Navigationsprozess zu spielen, solange wichtige topologische Informationen extrahiert werden können. Eine Karte gibt dem Benutzer Informationen darüber wo er sich gerade befindet und ein Gefühl von Unabhängigkeit.

Innerhalb von Gebäuden bieten Geschosspläne in einer kartenähnlichen Darstellung eine effektive Möglichkeit, umfangreiche Innenraumstrukturen darzustellen. Sie haben ähnliche Eigenschaften wie eine Karte und lassen sich daher genauso gut lesen. Da die Indoor-Navigation ein relativ neuer Sektor ist, gibt es noch keine vereinheitlichten Regularien für das Design von Geschossplänen für Navigationszwecke.

Da es innerhalb von Gebäuden leichter zu einem Orientierungsverlust kommen kann, als außerhalb und Richtungsänderungen häufiger vorkommen, ist es möglich, dass der Benutzer

eine höhere Dichte an Landmarken benötigt als außerhalb. Im Allgemeinen gibt es in Gebäuden eine geringere Auswahl an Landmarkenkategorien. Potenzielle Kandidaten für Indoor-Landmarken sind Fahrstühle, Rolltreppen, Treppen, Pflanzen, Informationstafeln, Schilder, Feuerlöscher, etc. Auch wenn sie unauffällig erscheinen, können Sie eine wichtige Hilfe für Wegbeschreibungen sein.

Trotz der Hilfsmittel benötigt der Benutzer eines Navigationssystems zusätzliche Hilfe, um sicherzustellen, dass er sich auf dem richtigen Weg befindet. Ein neuer Ansatz für dieses Problem ist die Verwendung von aktiven Landmarken (Brunner-Friedrich und Radoczky, 2005). Ungleich zu konventionellen Landmarken bauen sie, in dem Moment, in dem das mobile Gerät in ihre Reichweite kommt, automatisch spontane Funkverbindungen auf und identifizieren den Benutzer, ohne dass es eines Eingriffs bedarf. Die Identifikation arbeitet über eine eindeutige Kennung oder mit Hilfe von Koordinaten. Mit aktiven Landmarken können die Systeme unabhängige Zusatzinformationen über die Umgebung bereitstellen. Speziell für Umgebungen innerhalb von Gebäuden können aktive Landmarken eine brauchbare Methode sein, um Navigationssysteme mit Positions- und Landmarkeninformationen zu versorgen (Radoczky, 2007).

### 3.2.2 Navigation mit der Lifeline

Die Lifeline dient als Hilfsmittel zur Orientierung und Wegfindung. Sie stellt ein überlebenswichtiges Element in Such- und Rettungsmissionen innerhalb von Gebäuden dar. Zu Beginn einer Erkundungsmission wird die Leine an einem fest stehenden Gegenstand wie z. B. einem Geländer befestigt. Dadurch wird eine mechanische Verbindung der Leine zu einem Bezugspunkt hergestellt. Bei der Pariser Feuerwehr (BSPP) werden in der Regel Teams von jeweils zwei Personen zu Such- und Rettungsmissionen entsendet. Beide Feuerwehrleute verbinden sich am anderen Ende, z. B. mit Hilfe eines Karabinerhakens, mechanisch mit der Lifeline. Das Erkundungsteam zieht nach und nach die Leine hinter sich her. Eine Einsatzkraft bleibt am Ausgangspunkt, um die Leine nachzuführen. Durch die Leine haben die Einsatzkräfte eine mechanische Verbindung zur Außenwelt und die Möglichkeit, entlang der Lifeline den Weg aus der unbekanntem Umgebung heraus zu finden.

Durch die häufig eingeschränkte Sicht und die unbekanntem Umgebung werden Gebäude im „Entengang“ erkundet, indem Wände und Gegenstände mit den Händen ertastet werden und der Fußboden mit voraus gestreckten Füßen erkundet wird, um Abgründe wie Löcher im Boden oder Treppen zu erkennen. Durch die Erkundung der Umgebung mit Hilfe des Tastsinns, baut sich im Gehirn der Feuerwehrleute eine kognitive Karte der Umgebung auf.

Die Feuerwehrleute beenden eine Teilmission, wenn eine bestimmte Einsatzdauer erreicht ist oder der körperliche Zustand es verlangt. Am Ende einer Teilmission teilen Sie ihrem Vorgesetzten den Verlauf der Erkundungsmission mit. Im Einsatzgebiet der BSPP sind in der

Regel keine Gebäudepläne vorhanden. Daher zeichnen die Feuerwehrleute, wie Abbildung 3.6 zeigt, die topologischen Strukturen der erkundeten Umgebung in Form einer Karte auf. Die Karte spiegelt die kognitive Karte im Gehirn wieder. Sie dient der Besprechung der Situation und als Basis für das räumliche Verständnis für ein eventuell folgendes Team, dass die Erkundung der Umgebung fortsetzt.

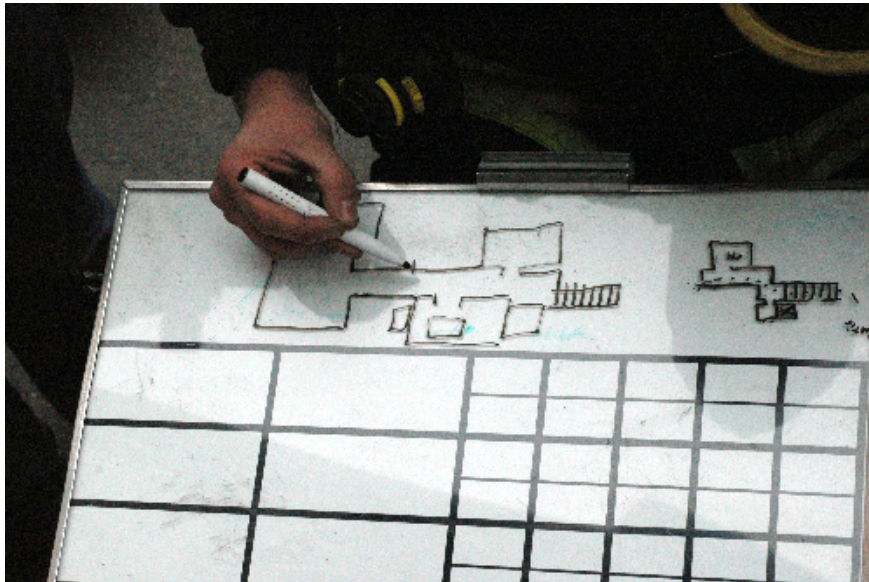


Abbildung 3.6: Zeichnen der kognitiven Karte

Wie bereits in 1.1 beschrieben, führen Probleme mit der Lifeline zu Unfällen, die unter Umständen zum Tod führen. Die Leine hat eine beschränkte Robustheit und kann durch Feuer oder mechanische Einwirkung durchtrennt werden. In diesem Fall ist die Leine nicht mehr als Orientierungshilfe nutzbar und die Einsatzkräfte sind auf sich allein gestellt und müssen sich auf ihre Sinne verlassen. Die kognitive Karte im Gehirn stellt ein elementares Wissen über die Umgebung dar, um sich zurecht zu finden. Daher ist es wichtig, dieses Wissen gezielt aufzubauen.

Ein weiteres Problem im praktischen Einsatz ist, dass sich die Leine an bestimmten Stellen verfängt. Wie Abbildung 3.7 zeigt, passiert dies z.B. an Einrichtungsgegenständen wie Stühlen und Treppengeländern. Da die Leine immer der aktuellen Bewegungsrichtung der Einsatzkräfte folgt, bildet die Leine nicht den tatsächlich zurückgelegten Pfad ab. Die Leine beschreibt in der Regel den kürzesten Weg, da sie auf Spannung gehalten wird. Dadurch entstehen Abkürzungen durch Bereiche, die für die Einsatzkräfte unbekannt sind. Eine Abkürzung kann unter Umständen zu einem Unfall führen, wenn es sich um einen noch unerkundeten Weg handelt.



Abbildung 3.7: Lifeline verfangen am Bürostuhl

### 3.2.3 Konkrete Anforderungen

Wie in 3.2.1 erwähnt, wirkt sich die Auswahl des Lokalisierungsverfahrens und dessen Umsetzung auf die verfügbaren Navigationsinformationen aus. Die Indoor-Navigationsunterstützung soll auf einem Wearable basieren, der mit Hilfe des LifeNets Navigationsinformationen bereitstellen kann. Das LifeNet soll die Orientierung unter eingeschränkter Sicht unterstützen. Visuelle Hilfsmittel in der Umgebung sind hierfür ungeeignet. Daher müssen andere Hilfsmittel der Orientierung dienen. Da in der Regel keine Gebäudepläne existieren und es keine vorinstallierten Orientierungssysteme gibt, wird ein System benötigt, welches spontan zur Einsatzzeit, ähnlich der Lifeline ausgelegt wird. Diese Anforderung erfüllt das LifeNet-Konzept.

Bei der zu verfolgenden Route handelt es sich nicht um eine zuvor geplante Route, sondern um die Route die während der Erkundung durch die Feuerwehrleute ausgelegt wird. Die Feuerwehrleute erkunden neue Abschnitte eines Gebäudes in gewohnter Weise wie mit

der Lifeline. Die Navigationsunterstützung bietet die Möglichkeit, bereits beschrittene Pfade wieder zu verwenden und so den Ausgang oder ein bestimmtes Ziel auf einem Pfad zu finden.

Dem Benutzer sollen Informationen über optionale Möglichkeiten gegeben, jedoch keine Entscheidungen abgenommen werden. Situationen in einem Einsatz können durch die Technik nicht umfassend analysiert werden. Zudem können sich Situationen schlagartig ändern. Daher sollten Entscheidungen nicht durch die Navigationsunterstützung getroffen werden, sondern durch den Benutzer.

### 3.2.3.1 Wearable Computing System

Der Wearable Prototyp für die Indoor-Navigationsunterstützung soll mit der Simulationsplattform nach der Methode des Virtual Experience Prototyping getestet werden. Die Navigationsanwendung muss so konzipiert sein, dass sie sowohl in der Virtual Reality Simulationsplattform, als auch auf dem realen Wearable Prototyp ausgeführt werden kann. Die Software der Indoor-Navigationsunterstützung muss ohne Anpassungen von der Simulation des virtuellen Wearable Prototyps auf den realen Wearable Prototyp portierbar sein. Die Software muss eine einheitliche Schnittstelle besitzen, damit der reale Prototyp als externe Komponente an die Simulationsplattform oder an das realisierte LifeNet angeschlossen werden kann.

Für den Betrieb des virtuellen und realen Prototyps, zusammen mit der Virtual Reality Simulationsplattform, müssen Informationen in der Plattform oder von speziellen Simulationsprogrammen generiert werden, um die Prototypen mit Informationen zu versorgen. Die Eigenschaften und die Funktionalität des LifeNets müssen im Betrieb mit der Virtual Reality Simulationsplattform simuliert werden. Im Betrieb der realen Prototypen mit dem realen LifeNet werden die Informationen durch das ausgelegte LifeNet ermittelt und bereitgestellt.

Wie bereits in 2.1 und 3.2.1.2 erläutert, soll der Wearable so ausgelegt sein, dass die kognitive Belastung des Benutzers durch die Navigationsunterstützung den Umständen angepasst ist. Wird der Feuerwehrmann zu sehr von seiner eigentlichen Arbeit abgelenkt, werden Gefahren in der Umgebung vermindert wahrgenommen. Ist die Informationsvermittlung zu unaufdringlich, werden Informationen eventuell nicht oder zu spät wahrgenommen. Es muss ausreichend viel Routen- und Umgebungswissen aufgebaut werden, damit im Fall eines Versagens des Systems, der Feuerwehrmann das nötige Wissen hat, um eigenständig navigieren zu können. Die Informationen müssen, entsprechend des in 2.2.1 beschriebenen Ansatzes der Calm Technology, möglichst leicht aufzunehmen sein. Durch die permanente Gefährdung der Einsatzkräfte in Such- und Rettungsmissionen, muss das System immer verfügbar sein und verzögerungsfrei reagieren, um dem Benutzer ein Gefühl von Aktivität zu vermitteln.

Aufgrund der zuvor in [3.2.1.1](#) erläuterten Ansätze von routenbasierter und kartenbasierter Navigation und deren Unterschiede in Bezug auf die Erzeugung von Umgebungs- und Routenwissen beim Benutzer, ist eine Untersuchung der beiden Ansätze nötig. Es sollen zwei Designideen umgesetzt werden, welche die theoretischen Grundlagen der zwei Ansätze für die Umsetzung der Indoor-Navigationsunterstützung repräsentieren. Die Umsetzung von Prototypen wird benötigt, um die Eignung der Ansätze für die Indoor-Navigationsunterstützung zu prüfen und Designrichtungen zu identifizieren. In den in [3.2.1.1](#) genannten Untersuchungen haben sich Trends in Bezug auf die Erzeugung von Routen- und Umgebungswissen gezeigt. Es soll überprüft werden, ob die Trends in diesem Anwendungsfall bestätigt werden.

Prototyp 1 repräsentiert die routenbasierte Navigation und der zweite Prototyp die kartenbasierte Navigation.

#### *Prototyp 1*

Durch die Wegpunktnavigation mit einfachen Routenanweisungen, repräsentiert durch einen Pfeil, soll Prototyp 1 realisiert werden. Hierfür muss das LifeNet den jeweils aktuellen LifeNet-Beacon liefern, der angesteuert werden muss, um das aktuelle Ziel zu erreichen. Mit der Kenntnis des darauf folgenden LifeNet-Beacons ist eine Verfeinerung der Informationen möglich, wie es in [3.2.1.1](#) beschrieben wird, um Richtungsänderungen anzukündigen.

#### *Prototyp 2*

Die kartenbasierte Navigation soll in einer abstrahierten Form realisiert werden. Dem Benutzer werden die umliegenden LifeNet-Beacons in einer kartenähnlichen Darstellung präsentiert. Der Benutzer befindet sich im Zentrum dieser Karte. Der aktuelle, nächste und vorherige LifeNet-Beacon sollen dabei hervorgehoben werden. Dies entspricht der bereits in [3.2.1.1](#) vorgestellten Navigation mit drei Wegpunkten.

### **3.2.3.2 LifeNet**

Für das Auslegen der LifeNet-Beacons ist der in [2.1.2.1](#) beschriebene Auswurfmechanismus, der Beacon-Dispenser vorgesehen. In der Simulationsplattform lässt sich das Verhalten durch die Simulation nachbilden. Für den Test des physikalischen Prototyps wird eine reale Umsetzung des Beacon-Dispensers benötigt.

Das LifeNet muss mindestens die Informationen bereitstellen, welche für die zuvor in [3.2.3.1](#) beschriebenen Prototypen benötigt werden. Der Informationsbedarf von Prototyp 1 und Prototyp 2 deckt sich größtenteils, jedoch benötigt Prototyp 2 mehr Informationen über die umliegenden LifeNet-Beacons, um die kartenbasierte Navigation zu realisieren. Daher richten sich die Anforderungen an das LifeNet nach dem Informationsbedarf von Prototyp 2.

Die benötigten Informationen für die Indoor-Navigationsunterstützung, die das LifeNet zur Verfügung stellen muss, lassen sich als unmittelbare Informationen für die Navigation und Meta-Informationen für Informationen über die Routen unterscheiden.

Für die unmittelbaren Informationen zur Navigationsunterstützung umfasst das LifeNet-Konzept die Bestimmung von relativen Positionen zwischen Benutzer und umliegenden LifeNet-Beacons. Hierfür wird die Bestimmung der relativen Distanzen und Winkel zu den LifeNet-Beacons in der Umgebung des Benutzers benötigt. Alle LifeNet-Beacons der Umgebung sollen ermittelt werden können. Für die Navigation entlang einer virtuellen Lifeline muss der aktuell anzusteuernde LifeNet-Beacon ermittelt werden können. Zudem sollten der darauf folgende und der vorherige LifeNet-Beacon bestimmt werden. Wie in [3.2.1.1](#) erläutert, soll bei Unterschreiten einer gewissen Distanz zum folgenden oder vorherigen LifeNet-Beacon auf den jeweiligen LifeNet-Beacon umgeschaltet werden, so dass er die Rolle des aktuellen LifeNet-Beacons übernimmt.

Die Meta-Informationen sollen über die Routen informieren und dem Benutzer eine Beurteilungsgrundlage über die Länge und die Qualität von Routen geben. Dies soll dem Feuerwehrmann ermöglichen, Routen nach Kriterien wie z. B. Länge, Temperatur und Bekanntheitsgrad auszuwählen.

Die Umsetzung des realen LifeNets und der LifeNet-Simulation wird, wie bereits in [2.1.2.3](#) beschrieben, durch das Projekt RELATE durchgeführt. Die Schnittstelle zwischen dem Wearable Prototyp der Indoor-Navigationsunterstützung und dem realen und simulierten LifeNet wird gemeinsam mit den Entwicklern aus RELATE erarbeitet.

### 3.3 Virtual Reality Simulationsplattform

Ziel dieser Arbeit, wie bereits in [1.2](#) erwähnt, ist die prototypische Entwicklung und Erprobung einer Indoor-Navigationsunterstützung zur Unterstützung von Such- und Rettungsmissionen. Die Entwicklung der Navigationsunterstützung soll mit Hilfe des Ansatzes des Virtual Experience Prototyping unterstützt werden. Zur Umsetzung des Ansatzes wird ein Werkzeug in Form einer Virtual Reality Simulationsplattform benötigt. Ihre Entwicklung ist notwendig, um die Prototypen der Navigationsunterstützung in der Simulation zu testen. Die Simulationsplattform dient dazu, den Kern des Nutzererlebnisses während der Benutzung der Indoor-Navigationsunterstützung zu erfassen. Die Plattform soll die Benutzung der Indoor-Navigationsunterstützung in simulierten Such- und Rettungsmissionen zu einem Gesamterlebnis zusammenfügen.



### 3.3.1 Allgemeine Anforderungen

Die Erzeugung von Virtual Reality beinhaltet die Verwendung von fortgeschrittener Technologie, inklusive Computern und verschiedener Multimedia-Geräte. Sie dienen dazu, eine simulierte Umgebung zu erzeugen, welche die Benutzer als vergleichbar mit Objekten und Ereignissen aus der realen Welt empfinden. Mit Hilfe geeigneter Eingabegeräte können die Benutzer mit angezeigten Bildern interagieren, virtuelle Objekte bewegen und manipulieren und andere Aktionen durchführen, die das Gefühl von aktueller Präsenz (Immersion) in der simulierten Umgebung vermitteln (Weiss und Jessel, 1998; Suchman, 1987). Benutzer werden in einer kontrollierten Umgebung gezielt in Situationen versetzt und deren Verhalten beobachtet. Designer können diese Umgebung an Ihre Bedürfnisse anpassen und mit ihren Eigenschaften und dem Verhalten experimentieren. Eine Virtual Reality Umgebung eignet sich dazu, einen Kontext einer hoch situativen Aktivität, in Form von räumlicher und zeitlicher Kontextualisierung einer Aufgabe für den Benutzer zu erzeugen. Dies kann durch Simulation des Zustandes des Benutzers durch physiologische Modelle und die Bereitstellung von Interaktionsmechanismen unterstützt werden. Für das Prototyping von Ubiquitous Computing Systemen können Virtual Reality Umgebungen dem Benutzer einen Basiskontext an Interaktion bereitstellen. Sie simulieren die Umgebung, physikalische Zustände und Interaktionsmechanismen mit der Umgebung und mit anderen Benutzern.

Eine der offensichtlichen Anwendungen von Virtual Reality ist der Einsatz in Computerspielen. Die Spieleindustrie ist heutzutage einer der größten Benutzer von Werkzeugen für die Erzeugung von Virtual Reality Umgebungen. In den letzten Jahren hat sich die Spieleindustrie zu einem Markt mit schnellem Wachstum entwickelt. Infolgedessen haben sich die 3D-Spiele-Engines dramatisch verbessert und bieten dadurch umfangreiche Technologien an. Eine weitere Folge ist ein Sinken der Preise für Hardware und Software. Die breite Verfügbarkeit der benötigten Hardware sowie das Wachstum von Eigenschaften machen 3D-Spiele-Engines zu geeigneten Plattformen für die Erstellung von Virtual Reality Umgebungen.

Spielartige Umsetzungen mit 3D-Engines werden überwiegend für den Unterhaltungsbereich verwendet, jedoch werden sie auch benutzt, um Nutzererlebnisse in Domänen wie Notfall-Einsatztraining (VSTEP, 2007; HEAT, 2007) zu erzeugen.

Einige Faktoren werden durch 3D-Spiele-Engines nicht abgedeckt, da sie für den Spielbereich nicht von Interesse sind. Die Erstellung einer Plattform zur Nutzung und Erweiterung von Technologien und Architekturen aus dem Bereich von 3D-Spiele-Engines stellt ein nützliches Werkzeug dar. Die Plattform sollte sich flexibel an die Testbedürfnisse von Prototypen des Wearable- und Ubiquitous Computing anpassen lassen. Dies ermöglicht die Simulation von Prototypen in der virtuellen Zielumgebung, um die Rolle bei der täglichen Benutzung zu verstehen.

Die Plattform benötigt Schnittstellen, um Wearable- und Ubiquitous Computing Systeme anzubinden. Dies erfordert ein Softwaredesign, welches flexibel genug ist, um eine Interaktion mit ubiquitärer Software und Hardware zu ermöglichen. Virtuelle und reale Prototypen müssen sowohl direkt in der Plattform simuliert sowie als externe Komponenten in die Simulation eingebunden werden können. Die Plattform UbiREAL verfolgt bereits diesen Ansatz für den systematischen Test von Ubiquitous Computing Anwendungen (Nishikawa u. a., 2006).

### 3.3.2 Konkrete Anforderungen

Das Virtual Experience Prototyping stellt konkrete Anforderungen an die Entwicklung der Virtual Reality Simulationsplattform. Zur Herstellung eines authentischen Nutzererlebnisses ist eine nahtlose Interaktion mit Objekten der Virtual Reality Umgebung und den simulierten Wearable Prototypen notwendig. Dem Benutzer muss ein Gefühl für das Gesamtsystem vermittelt werden. In heterogenen, hybriden Konfigurationen sollen sich simulierte und reale Prototypen zeitgleich in einem Gesamtsystem repräsentieren lassen. Die Entwicklung der Simulationsplattform erfordert ein Basiswissen über 3D-Engines und Spieledesign, um Elemente zu identifizieren, die für das Design von Bedeutung sind. Hierbei gilt es insbesondere die Komponenten zu identifizieren, welche für das Virtual Experience Prototyping essentiell sind.

Die Plattform muss authentische Simulationen ermöglichen und die Sinne des Benutzers sollten so weit wie möglich befriedigt werden, um eine nahtlose Interaktion anzubieten. Eine Befriedigung der visuellen Sinne muss in dem Umfang erfolgen, dass Objekte und Situationen aus der Realität wiedererkannt werden. Durch eine auditive Ausgabe von Geräuschen sollte ein realistisches Verhalten unterstützt werden. Für ein authentisches Verhalten von Objekten und die Repräsentation physikalischer Zustände sollte eine physikalische Simulation eingesetzt werden. Das Verhalten von technischen Systemen, wie dem LifeNet, lässt sich durch externe Simulationsprogramme unterstützen. Das Verhalten des LifeNet muss in der Simulation abgebildet werden, da es essentiell für das gemeinsame Verständnis des LifeNet-Konzeptes ist.

Zur Erfassung des Nutzererlebnisses werden Aufzeichnungen des Simulationsverlaufs und der Reaktionen auf bestimmte Situationen benötigt. Die Aufzeichnungen werden für Auswertungen und Nachbesprechungen verwendet. Die Konfigurationen von Zuständen der Objekte müssen gespeichert und wiederhergestellt werden, um Szenarien wiederholt und kontrolliert durchspielen zu können.

Um verteilte Simulationen an mehreren Computern durchführen zu können, wird ein Netzwerk benötigt. Es wird benötigt, um die Teilnehmer im gleichen Kontext zusammenzufassen und eine Interaktion zwischen Benutzern und Objekten konsistent zu gestalten. Die Teilnehmer der Simulation, insbesondere in der Simulation mit mehreren Teilnehmern, sollten

visualisiert werden, um die Interaktion zwischen den Benutzern zu ermöglichen. Dies bedeutet für die Simulation der Such- und Rettungsmissionen, dass Feuerwehrleute und eventuelle Opfer modelliert werden müssen.

Zur Abbildung von Umgebungen und Objekten der Realität, müssen digitale Modelle erstellt und importiert werden können. Es wird ein Gebäudemodell benötigt, da die simulierten Such- und Rettungsmissionen in einem Gebäude stattfinden sollen. Es werden Modelle der Wearable Prototypen und des LifeNets benötigt, damit sie sich mit der Simulationsplattform testen lassen. Der Funktionsumfang der Plattform richtet sich nach den Anforderungen der Prototypen der Indoor-Navigationsunterstützung.

In vorherigen Arbeiten ([Shahid, 2005](#)) des Projektes und im Rahmen eines Seminars ([Fraunhofer FIT, 2006](#)) wurden bereits 3D-Spiele-Engines zur Umsetzung des Virtual Experience Prototyping erprobt oder deren Verwendbarkeit überprüft. Aus verschiedenen Gründen wie z. B. der begrenzten Erweiterbarkeit und Konfigurierbarkeit sind diese Werkzeuge an Grenzen gestoßen. Für einige 3D-Spiele-Engines müssen zur Nutzung teure Lizenzen erworben werden. Aus diesen Gründen soll in dieser Arbeit die Open-Source 3D-Rendering-Engine OGRE<sup>2</sup> ([OGRE3D, 2007](#)) eingesetzt werden. Sie ermöglicht eine flexible und modulare objektorientierte Architektur und die Anbindung weiterer Open-Source Softwarekomponenten in einer „Components Off-The-Shelf“ Architektur (COTS-Architektur). Die Komponenten lassen sich entsprechend der Bedürfnisse der Simulation auswählen und durch die Verfügbarkeit des Quellcodes beliebig anpassen und erweitern.

### 3.4 Fazit

Wie bereits in der Einleitung in [1](#) erwähnt, soll die Wearable-basierte Indoor-Navigationsunterstützung im Rahmen des Teilprojektes Emergency Response erforscht und entwickelt werden. Sie soll zur Unterstützung der Einsatzkräfte in Rettungsszenarien dienen. Die Entwicklung von Systemen für die Domäne der Feuerwehr wird durch mehrere Faktoren beeinflusst. An der Entwicklung der Indoor-Navigationsunterstützung arbeiten Entwickler aus verschiedenen Disziplinen und die Endbenutzer der Feuerwehr gemeinsam. Die Entwickler besitzen in der Regel keinen Hintergrund über die Domäne der Feuerwehr.

Für die Entwicklung ist es wichtig, bei den Entwicklern und Benutzern ein gemeinsames Verständnis aufzubauen. Die Entwickler müssen die Bedürfnisse und Vorgehensweisen der Feuerwehrleute und die Feuerwehrleute müssen die Designideen der Entwickler verstehen. Dieses gemeinsame Verständnis wird benötigt, um eine zielgerichtete und bedarfsgerechte Entwicklung zur erreichen.

---

<sup>2</sup>Object-Oriented Graphics Rendering Engine

In der Rolle der Entwickler der Indoor-Navigationsunterstützung befinden sich hauptsächlich die Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT und des RELATE-Projektes. Die Entwickler des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT betreiben eine anwendungsorientierte Entwicklung. Die Forschungsinteressen liegen in der Ermittlung der Bedürfnisse für die Anwendung von Assistenzsystemen, um eine hohe Akzeptanz zu schaffen. Im Fall der Indoor-Navigationsunterstützung werden die bisherigen Arbeitspraktiken im Einsatz der Lifeline betrachtet und versucht den Einfluss neuer Technologien auf die Arbeitspraxis zu ermitteln. Die Idee des LifeNet-Konzeptes, welche in der Vision in [2.1.2.1](#) beschrieben wird, dient als anwendungsorientierter Ansatz.

Die Entwickler des RELATE-Projektes kommen aus einem technologiegetriebenen Kontext. Bei der Entwicklung steht die technische Realisierung zur Bestimmung von relativen Positionen im Vordergrund. Zur Vermittlung der Bedürfnisse der Feuerwehr an ein Positionierungssystem und der Idee des LifeNet-Konzeptes ist auch hier ein gemeinsames Verständnis für das zu entwickelnde Gesamtsystem erforderlich.

Die Endbenutzer der Feuerwehr Paris sind Experten in der Domäne von Rettungsszenarien. Eine Einführung von neuen Technologien ist schwierig, da es einen natürlichen Widerstand gegen neue Technologien gibt. Von der Technologie hängt in der Regel das Leben der Einsatzkräfte ab. Daher muss das Verständnis über neue Systeme gefördert und der Nutzen dieser Systeme herausgestellt werden.

Die gemeinsame Entwicklung an verteilten Standorten erschwert den gemeinsamen Austausch von Designideen. Gemeinsame Treffen der Entwickler und Benutzer ermöglichen einen Austausch, jedoch erzeugen sie einen hohen Aufwand. Der Test von Prototypen im realen Umfeld erfordert viel Planung, ist zeitaufwendig und kostenintensiv. Zudem ist die Erzeugung von Untersuchungsergebnissen schwierig. Das Verhalten von Systemen und Benutzern muss ausgewertet werden können, um in die Entwicklung einzufließen.

Zur Förderung des gemeinsamen Verständnisses und Verringerung des Aufwands, soll die Entwicklung der Simulationsplattform dienen. Sie ermöglicht den Test von Designideen der Prototypen in der Simulation. Die Simulation lässt sich an verschiedenen Standorten beliebig durchführen. Dadurch verringert sich der Zeitaufwand für Planungen von gemeinsamen Zusammentreffen. Simulationen können unabhängig von anderen Projektpartnern durchgeführt werden. Auf diese Weise wird eine Verkürzung der Entwicklungszyklen erreicht. Die Plattform dient als Werkzeug zur Kommunikation von Designideen zwischen allen Beteiligten. In simulierten Einsätzen können den Endbenutzern der Feuerwehr Ideen der Designansätze für die Indoor-Navigationsunterstützung vermittelt werden, ohne dass sie real umgesetzt werden oder in realen Trainingseinsätzen getestet werden müssen.

Die Simulationsplattform wird für das Anwendungsbeispiel der Wearable-basierten Indoor-Navigationsunterstützung für Such- und Rettungsmissionen entwickelt. Für die Entwicklung dieses Werkzeugs ist ein Verständnis der Domänen der Entwickler und Endbenutzer der

Indoor-Navigationsunterstützung notwendig. Um die Indoor-Navigationsunterstützung in der Simulation umzusetzen, muss das LifeNet-Konzept verstanden und in die Simulation eingebunden werden. Für die Inszenierung von Feuerwehreinsätzen müssen die Bedürfnisse der Feuerwehrleute in der Simulation berücksichtigt werden.

## 4 Design

Für die Entwicklung des Gesamtsystems wird der bereits in 2.1.1 erläuterte Ansatz des User-Centered Design verwendet. Der Ansatz sieht ein iteratives und inkrementelles Vorgehen vor. Wie Abb. 4.1 zeigt, besteht eine Iteration aus dem Design, gefolgt von der Realisierung und einer abschließenden Evaluation. Aufbauend auf den Ergebnissen der Evaluation erfolgt ein Redesign oder der Entwurf neuer Designideen.

Zur Vereinfachung wird das resultierende Design zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit dargestellt. Die ausgewählte Architektur wird mit Hilfe von UML-Diagrammen und zusätzlichen Zeichnungen dargestellt.

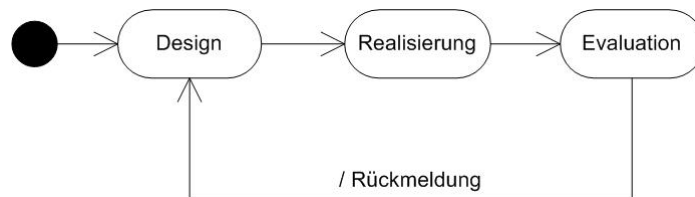


Abbildung 4.1: Iterativer Designprozess

Das in Abbildung 4.2 gezeigte Gesamtsystem gliedert sich in drei Komponenten. Eine Komponente ist der Wearable Prototyp mit der Navigationsanwendung für die Indoor-Navigationsunterstützung. Die Navigationsanwendung kann wahlweise mit der Simulationsplattform, der so genannten Virtual Experience Platform, inklusive der LifeNet-Simulation oder mit dem realen LifeNet betrieben werden können. Die Simulationsplattform und die Navigationsanwendung für den Wearable Prototyp zur Indoor-Navigationsunterstützung werden zur Umsetzung der Designidee des LifeNet-Konzeptes mit Unterstützung des Wearable Computing entwickelt. Eine gemeinsame Schnittstelle wird von der Navigationsanwendung verwendet, um auf die LifeNet-Simulation der Virtual Experience Platform und das reale LifeNet zugreifen zu können.

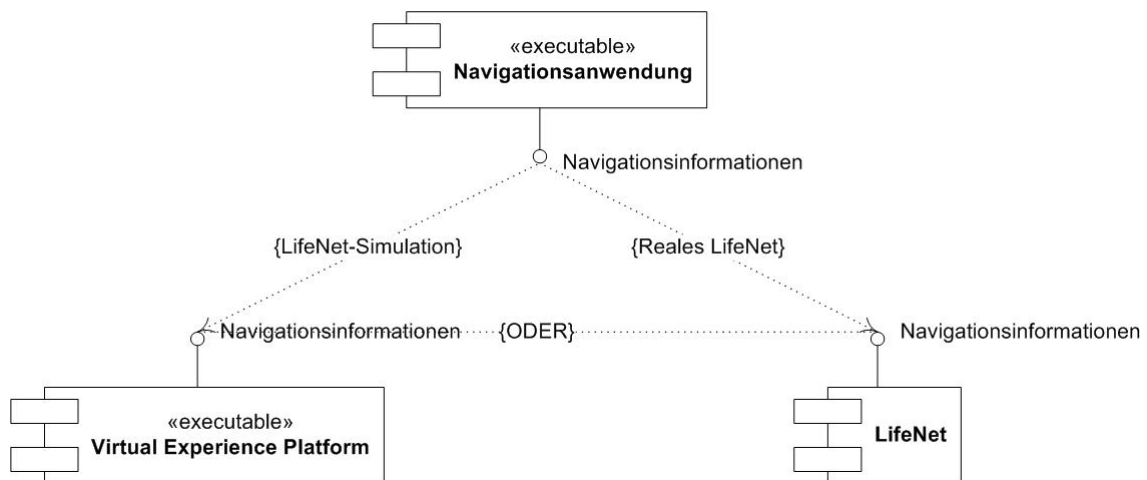


Abbildung 4.2: Die Komponenten Virtual Experience Platform, LifeNet und Navigationsanwendung

## 4.1 Virtual Experience Platform

Die Simulationsplattform trägt den Arbeitstitel Virtual Experience Platform und repräsentiert die Umsetzung des Virtual Experience Prototyping. Die Virtual Experience Platform dient als Simulationswerkzeug für die Entwicklung und das Prototyping der Wearable Prototypen für die Indoor-Navigationsunterstützung.

Die Virtual Experience Platform soll mit Hilfe der 3D-Rendering-Engine Ogre umgesetzt werden. Für die in 3.3.2 geforderte Flexibilität und Erweiterbarkeit eignet sich die Verwendung einer Components Off-The-Shelf-Architektur (COTS). Zur Umsetzung der COTS-Architektur werden fertige Softwarekomponenten verwendet, um ein System bestehend aus mehreren Systemen zu entwickeln. Die so genannte Modifiable Off-The-Shelf-Architektur (MOTS) ist ein Spezialfall der COTS-Architektur und beschreibt die Möglichkeit, die verwendeten Komponenten durch Veränderung des Quellcodes zu modifizieren und den eigenen Bedürfnissen anzupassen. Auf diese Weise lassen sich Komponenten nach Bedarf in die Architektur einfügen, entfernen und für die eigenen Bedürfnisse anpassen. Einige Komponenten erfüllen ähnliche Aufgaben, jedoch in unterschiedlichem Umfang und mit unterschiedlichem Implementierungsaufwand. Für die Verwendung mit Ogre gibt es eine Vielzahl von Komponenten. Die Verfügbarkeit zahlreicher Open-Source Komponenten ermöglicht ihre Anpassung an die Bedürfnisse der Simulation.

Die Abbildung 4.3 zeigt das Schema der benötigten Komponenten. Im Zentrum der Architektur befindet sich die *Simulationsanwendung*. Sie wird umgeben von Komponenten für die Ausgabe der Grafik auf dem Bildschirm mit Hilfe der *3D-Rendering-Engine* und der *Audio-Ausgabe* für auditive Ausgaben. Die Komponente *Benutzerinteraktion* dient für den

Anschluss von Interaktionsgeräten. Die Komponente für die *LifeNet-Simulation* wird für die Implementation des Grundverhaltens des LifeNets benötigt. Die Komponente für die *Physik* ermöglicht die Simulation von physikalischem Verhalten. Der *Modellimport* ermöglicht es, Modelle von Gebäuden und anderen Objekten in die Virtual Experience Platform zu importieren. Die Komponente *Netzwerk* dient zur Kommunikation mit externen Komponenten, wie den realen Wearable Prototypen für die Indoor-Navigationsunterstützung, Sensornetzwerksimulatoren oder dem in 2.1.2.1 genannten Mobile Command Post System. Zur Aufzeichnung der Nutzererlebnisse wird die Komponente für das *Logging* eingesetzt. Zur Speicherung und Wiederherstellung von Szenarien, dient die Komponente *Konfiguration*. Die Komponente für das *Szenario* beschreibt die Hilfsmittel, welche zur Simulation von Such- und Rettungsmissionen der Feuerwehr benötigt werden.

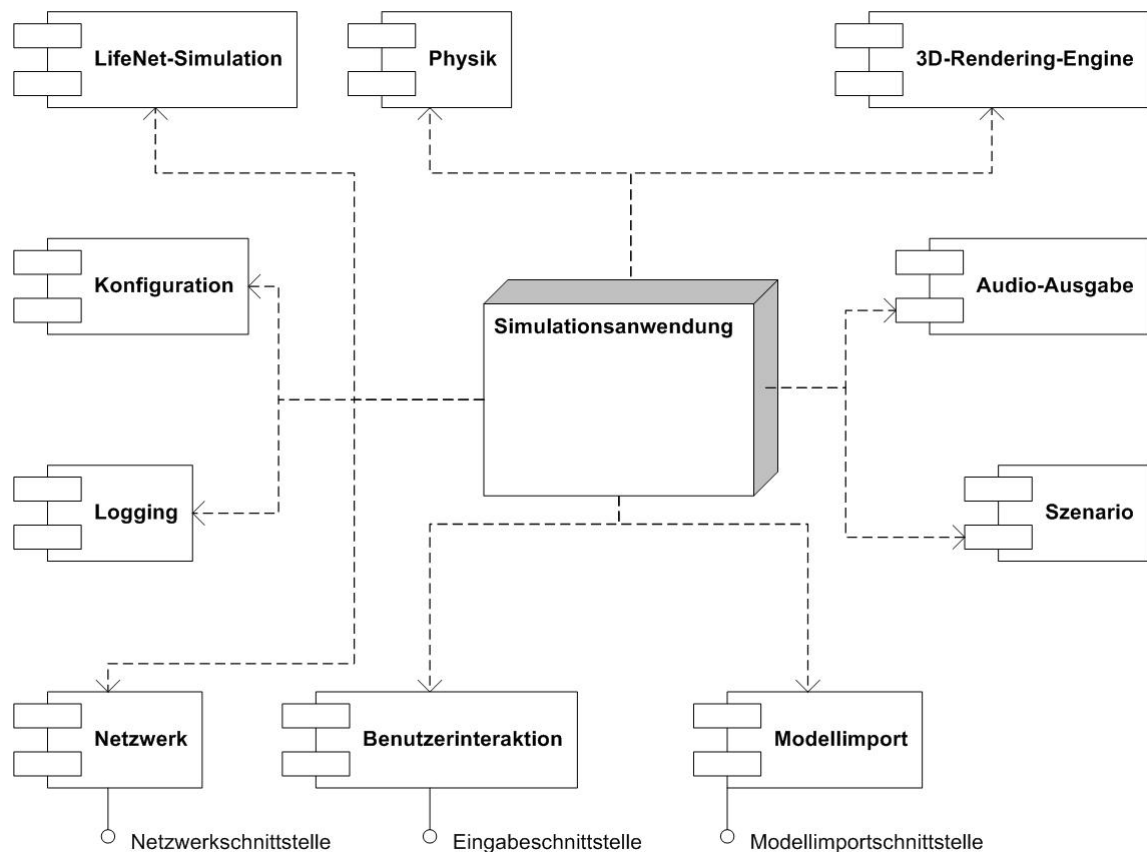


Abbildung 4.3: Komponenten der Virtual Experience Platform



### 4.1.1 3D-Rendering-Engine

Bei Ogre ([OGRE3D, 2007](#)) handelt es sich um eine in der Programmiersprache C++ geschriebene objektorientierte Open-Source 3D-Rendering-Engine, die unter der GNU LGPL<sup>1</sup> lizenziert ist. Ogre ist auf verschiedenen Plattformen wie Windows, Linux und Mac OSX lauffähig. Es handelt sich um eine reine 3D-Rendering-Engine zur Darstellung von Grafik, ohne die Festlegung auf ein spezielles Anwendungsgebiet, wie das einer Spiele-Engine. Dadurch ist sie flexibel für beliebige Anwendungen einsetzbar, wie z. B. Spiele, Simulationen und Geschäftsanwendungen. Zur Verwendung von Audio, Physik, Netzwerk, etc. müssen, wie zuvor genannt, zusätzliche Komponenten integriert werden. Die Entwickler von Ogre verfolgen eine komponentenbasierte Architektur, um eine saubere Trennung und dadurch ein sauberes Design zu erreichen. Viele Spiele-Engines bieten sämtliche Funktionalitäten in einem Paket an und Komponenten lassen sich schwer oder gar nicht austauschen. Da die Anforderungen an Spiele und Simulationen je nach Anwendung sehr unterschiedlich sind, stellen fertige Spiele-Engines Einschränkungen dar ([Plummer, 2004](#)). Dies betrifft die Funktionalität sowie die Leistungsfähigkeit durch ungeeignete Abstimmung der Bibliotheken für andere Anwendungsgebiete. Ogre bietet eine integrationsfreundliche Programmierschnittstelle und überlässt dem Entwickler die Auswahl anderer Bibliotheken.

Die Entwicklung von Ogre ist designgetrieben anstatt eigenschaftengetrieben. Die Objektorientierung und Verwendung von Design-Patterns ermöglicht ein sauberes Softwaredesign und dadurch eine Beherrschung zahlreicher Objekte in umfangreichen Simulationen. Das Entwicklerteam legt Wert auf gute Qualität und eine vollständige Dokumentation der Software. Zudem existiert eine lebendige Benutzer- und Entwicklerszene, die sich im Internetforum von Ogre austauscht. Diese Lebendigkeit der Szene sorgt für eine gute Unterstützung bei Problemen, was besonders bei Open-Source Komponenten wichtig ist.

Die Klassenbibliothek von Ogre abstrahiert Details der darunter liegenden Systeme wie Direct3D und OpenGL und bietet eine Schnittstelle, basierend auf Weltobjekten und anderen intuitiven Klassen. Dies spiegelt sich in einer szenenorientierten Architektur wider und macht die Entwicklung von hardwarebeschleunigten 3D-Anwendungen intuitiver. Es können Szenen definiert werden, welche eine Vielzahl von Objekten enthalten, dessen Verwaltung ein so genannter SceneManager übernimmt. Die Objekte einer Szene können beispielsweise von der Klasse MovableObject abgeleitete bewegliche Objekte sein, wie vom Typ Camera, Light und Entity (siehe [Abb. 4.4](#)). Objekte vom Typ Camera und Light sind nicht sichtbar. Das Camera-Objekt fängt die Szene aus der Sicht ihrer aktuellen Position und Orientierung ein. Das Light-Objekt beleuchtet die Szene komplett oder teilweise. Abhängig von der Konfiguration lassen sich verschiedene Arten von Lichtquellen definieren. Das Entity-Objekt verkörpert visuelle Objekte aus der realen Welt, wie z.B. Wände und Personen.

---

<sup>1</sup>Lesser General Public License

Die Objekte lassen sich an bestimmten Positionen der Szene erzeugen und an einen Szeneknoten, einen so genannten SceneNode hängen. Durch die hierarchische Anordnung von Szeneknoten lassen sich komplexe baumartige Konstrukte erzeugen. Wird ein Szeneknoten bewegt, werden alle darunter hängenden Kindknoten mitbewegt.

Zur Darstellung von Trainingshaus, Feuerwehrleuten und den LifeNet-Beacons für die Simulation von Such- und Rettungsmissionen werden Entity-Objekte erzeugt.

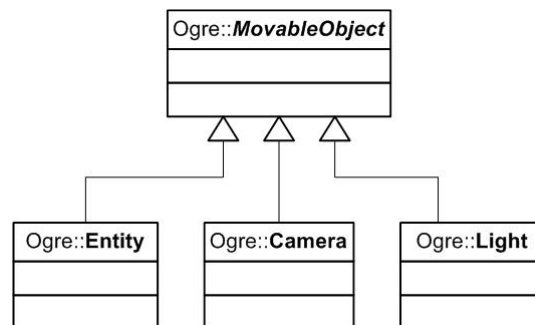


Abbildung 4.4: MovableObjects in Ogre

#### 4.1.1.1 Portierung der Navigationsanwendung

Die Ausgabe der Simulation auf dem Bildschirm wird durch das RenderWindow-Objekt repräsentiert. Wie [Abbildung 4.5](#) zeigt, stellt das RenderWindow-Objekt die gesamte Fläche des Ausgabebildschirms dar. Dem RenderWindow können so genannte Viewports hinzugefügt werden, welche zur Anzeige von verschiedenen Sichten auf eine oder mehrere Szenen dienen. Viewports symbolisieren Fenster in veränderlicher Größe, welche in unterschiedlicher Reihenfolge übereinander gelegt werden können. Ein Viewport kann die Größe des gesamten Bildschirms, also des gesamten RenderWindow-Objektes einnehmen oder nur einen Teil der Fläche belegen.

Diese Eigenschaft wird genutzt, um mit einem Viewport auf dem gesamten Bildschirm die Szene der Simulation, aus der Sicht des Feuerwehrmannes darzustellen. In einem weiteren Viewport, dessen Größe nur ein Teil des RenderWindow-Objektes einnimmt, lässt sich im Blickfeld des Benutzers die Darstellung von Informationen auf einem Head-Mounted Display simulieren. Mit Hilfe der Overlay-Klasse lassen sich Überlagerungsobjekte innerhalb eines Viewports erstellen, mit denen textuelle sowie grafische Elemente dargestellt werden können. Mit Hilfe eines Overlays kann so im Viewport der Szene z. B. die Innenansicht einer Atemschutzmaske in das Sichtfeld eingeblendet werden.

Wie [Abbildung 4.5 a](#) zeigt, wird die in der Virtual Experience Platform laufende Navigationsanwendung des Wearable Prototyps für die Indoor-Navigationsunterstützung in die Simula-

tion einbettet oder auf dem Wearable System ausgeführt. Durch die Verwendung von Ogre für die Virtual Experience Platform und Navigationsanwendung ist der Quellcode auf beiden Systemen beliebig ausführbar. Die Navigationsanwendung verwendet einen eigenen Viewport, welcher in der Virtual Experience Platform in einem Teilausschnitt (Abbildung 4.5 a) und auf dem Wearable Prototyp über das gesamte RenderWindow (Abbildung 4.5 b) dargestellt wird.

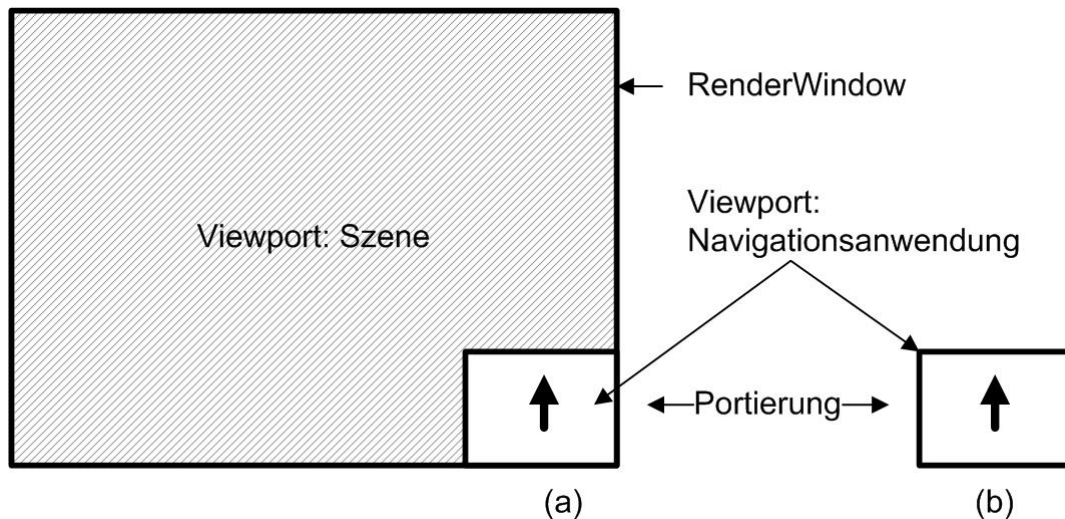


Abbildung 4.5: Portierung der Navigationsanwendung zwischen Virtual Experience Platform (a) und Wearable Prototyp (b)

### 4.1.2 Physik

Die zuvor in 4.1.1 beschriebene Erzeugung von Entity-Objekten wird zur Darstellung von Objekten der realen Welt verwendet. Entity-Objekte bilden jedoch kein physikalisches Verhalten ab. Wie in den Anforderungen in 3.3.2 beschrieben, wird eine physikalische Simulation dazu benötigt, eine Interaktion mit Objekten in der virtuellen Umgebung zu ermöglichen, wie z. B. eine Kollisionserkennung. Sie ermöglicht die Kollision von Objekten untereinander und die Kollision des Benutzers mit Objekten der simulierten Umgebung, wie z. B. mit den Wänden in einem Gebäude. Dies ist wichtig, da der Benutzer sonst durch Wände hindurch gehen kann, was den Realismus der Simulation beeinträchtigen würde.

Durch eine Projektentscheidung kommt zur Erzeugung von physikalischem Verhalten die Komponente NxOgre (NxOgre, 2007) zum Einsatz. Bei NxOgre handelt es sich um einen so genannten Adapter, welcher die Simulation von physikalischem Verhalten mit Ogre ermöglicht. NxOgre greift auf die so genannte PhysX-Engine (PhysX, 2007) der Firma AGEIA zu. Die PhysX-Engine bietet umfangreiche physikalische Simulationsmöglichkeiten. Es kann die

Verformung von Materialien, die Bewegung von Textilien und das Verhalten von Flüssigkeiten simuliert werden. Der große Vorteil besteht darin, dass eine Physik-Beschleunigerkarte, ähnlich einer Grafikkarte, angeboten wird. Umfangreiche physikalische Berechnungen lassen sich auf dieser speziellen Hardware ausführen. Die Beschleunigerkarte ist für physikalische Berechnungen entwickelt und optimiert worden. Für die zukünftige Simulation umfangreicher Szenarien mit Rauch ist diese Komponente laut Hersteller in der Lage. Vermutlich ist sie auch für die Berechnung zur Simulation von Temperaturentbreitung sowie der Verteilung von Löschwasser geeignet.

Wie Abbildung 4.6 zeigt, lässt sich die PhysX-Engine in einer Emulation betreiben, welche keine spezielle Hardware benötigt. Für Simulationen mit geringen Leistungsanforderungen lässt sich die PhysX-Engine ohne die PhysX-Karte nutzen.

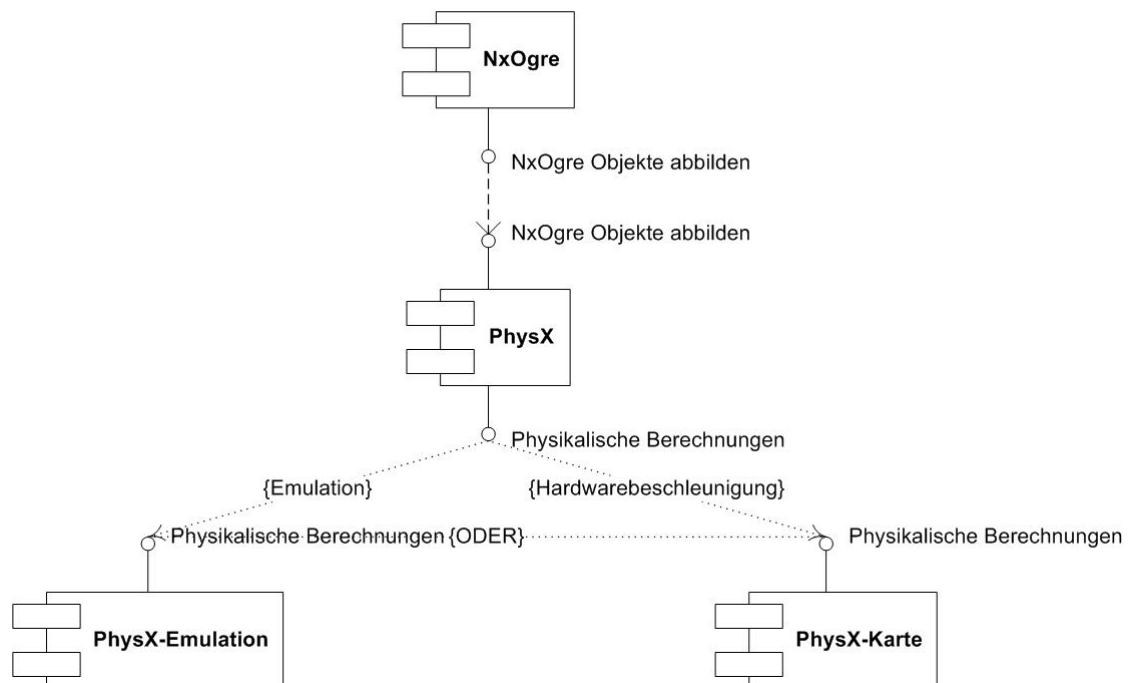


Abbildung 4.6: Komponenten für die Physiksimulation

Die Erzeugung einer Szene mit NxOgre unterscheidet sich von der Erzeugung einer Szene in Ogre. Die Architektur von NxOgre ist wie in Ogre an die reale Welt angelehnt. Für die Verwendung von NxOgre muss zuerst eine Welt in Form eines World-Objektes definiert werden. Innerhalb der Welt können Scene-Objekte definiert werden, welche jeweils eine Szene darstellen. In einer Szene lässt sich eine Gravitation und ein Boden wie in der realen Welt erzeugen. Wird kein Boden definiert, fallen die Objekte in die Unendlichkeit, in Richtung der wirkenden Gravitation.

Für die Erzeugung eines visuellen Objektes wird anstelle eines Ogre Entity-Objektes ein

so genanntes NxOgre Body-Objekt erzeugt. Das Body-Objekt repräsentiert einen physikalischen Körper, welcher mit anderen NxOgre-Objekten kollidieren kann. Es wird zwischen statischen und dynamischen Body-Objekten unterschieden. Statische Body-Objekte werden für statische Objekte, wie Wände und Böden verwendet. Sie werden durch Kollisionen nicht verformt oder bewegt. Dynamische Body-Objekte werden durch Kraftausübung bewegt. Diese Kräfte können durch den Programmcode oder durch die Kollision mit anderen Objekte ausgeübt werden. Zudem lässt sich eine Reibung und ein Abprallverhalten definieren, welche in der Simulation der Objekte berücksichtigt werden.

Für die Darstellung von Charakteren, wie den Feuerwehrleuten und deren Verhalten, dient die so genannte NxOgre Character-Klasse. Auf Character-Objekte werden keine Kräfte ausgeübt, sondern Gehbefehle gegeben. In Verbindung mit Animationen werden die Gehbewegungen visualisiert.

Für die Simulation von Such- und Rettungsmissionen ist die Interaktion der simulierten Feuerwehrleute mit Türen und weiteren Gegenständen möglich. In Such- und Rettungsmissionen stellen Türen bedeutende Hindernisse für die Feuerwehrleute dar. In der Simulation des LifeNets können LifeNet-Beacons durch das Öffnen oder Schließen von Türen verschoben oder durch die Feuerwehrleute versehentlich mit dem Fuß weggetreten werden.

### 4.1.3 Modellimport

Für die Erzeugung von Inhalten, die in Ogre dargestellt werden können, bedarf es einer Modellierungssoftware, welche einen Export von so genannten Ogre-Meshes ermöglicht, um sie in Ogre einzulesen. Für die Konstruktion von Gebäuden eignet sich die Software Architectural Desktop (Autodesk, 2007a). Aus einer Bibliothek lassen sich Objekte wie Türen und Fenster verwenden, ohne sie selbst zeichnen zu müssen. Wie Abbildung 4.7 a zeigt, können Dateien aus Architectural Desktop exportiert und in die Software 3D Studio Max (Autodesk, 2007b) eingelesen werden. In 3D Studio Max ist es möglich, benutzerdefinierte Objekte, wie z. B. die LifeNet-Beacons für die Simulation, zu erstellen. Für 3D Studio Max wird das Plugin „oFusion for Max“ (ACE Studios, 2007) angeboten. Es ermöglicht die Betrachtung und Bearbeitung von Inhalten für Ogre. Es bietet die direkte Bearbeitung von Materialien und Effekten sowie die Erzeugung von einzelnen Meshes und ganzen Weltgeometrien. Mit Hilfe des so genannten „Content Exporter“ Systems lassen sich Dateien exportieren und mit dem „Scene Loader“ in Ogre zur Laufzeit importieren. Auf diese Weise wird eine Szene mit einer Weltgeometrie zur Simulation importiert. Aus der importierten Szene können Ogre-Objekte vom Typ Entity, Camera und Light erzeugt werden (Abb. 4.7 a). Statische Objekte werden als so genannte „static geometry“ erzeugt. Hierfür werden alle einzelnen statischen Objekte zu einer großen statische Geometrie zusammengefügt. Dieses Verfahren erhöht die

Leistung des Rendering-Verfahrens, wenn weniger Einzelelemente berechnet werden müssen. Wie in 4.1.2 erwähnt, bilden die Ogre Entity-Objekte kein physikalisches Verhalten ab. Daher werden die importierten Objekte mit Hilfe von NxOgre mit physikalischem Verhalten versehen. Dies geschieht durch die Modifikation des oFusion Scene Loaders. Der vorliegende Quellcode ermöglicht die Modifikation des Imports, so dass anstelle von Entity-Objekten physikalische Objekte, die NxOgre Body-Objekte, erzeugt werden. Der veränderte Scene Loader, der NxOgre oFusion Scene Loader ist in Abbildung 4.7 b dargestellt.

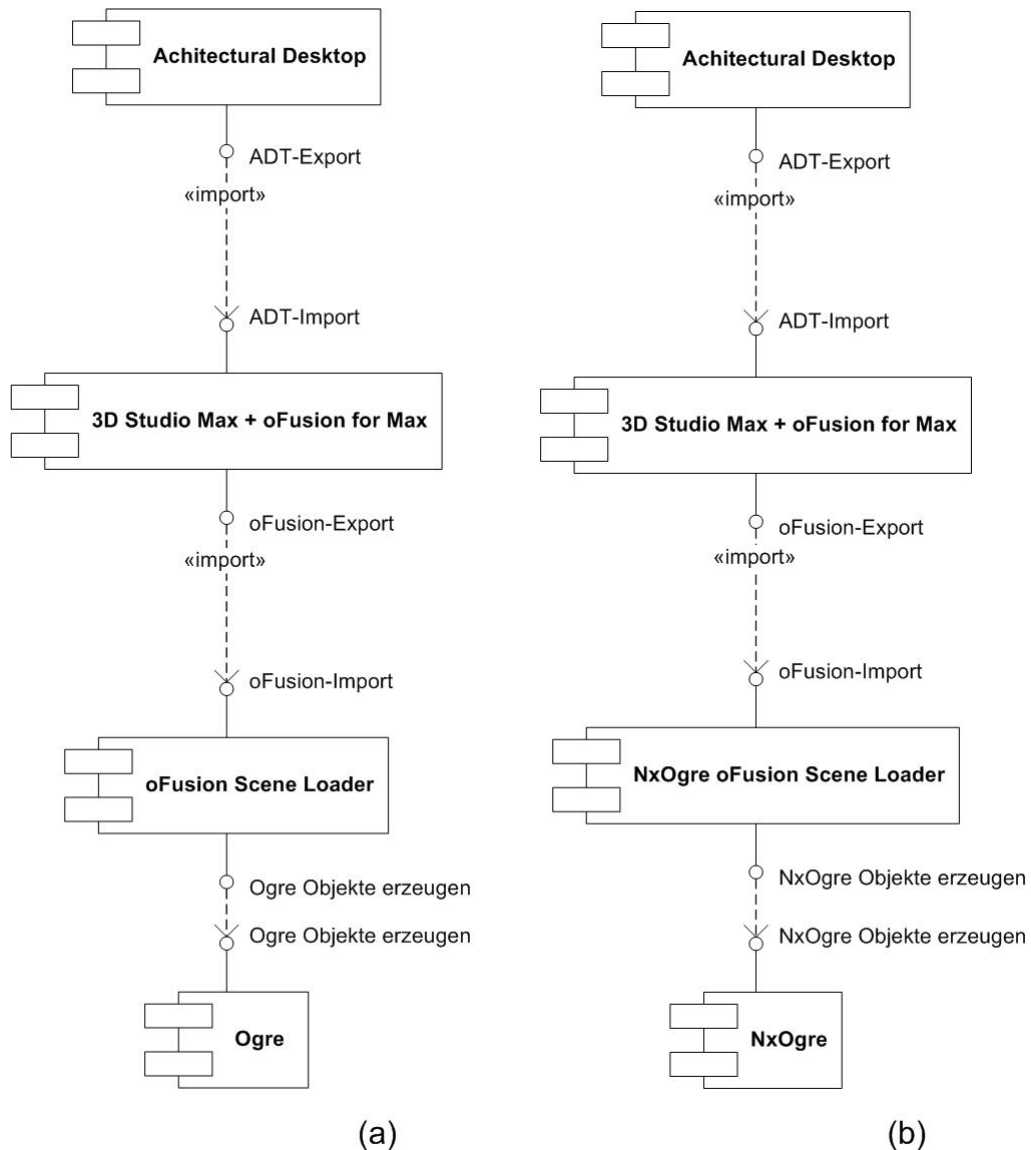


Abbildung 4.7: Modellimport

#### 4.1.4 Benutzerinteraktion

Zur Verarbeitung von Benutzereingaben für die Interaktion mit der Virtual Experience Plattform, wird das „Object Oriented Input System“ (OIS) (Castaneda, 2007) eingesetzt. OIS ermöglicht eine objektorientierte Repräsentation von Interaktionsgeräten, wie Maus, Tastatur und Joystick. Durch die offene Schnittstelle lassen sich bisher nicht unterstützte oder selbstentwickelte Prototypen von Interaktionsgeräten anschließen. Ebenso lassen sich Geräte mit taktiler Ausgabe durch Vibrationen oder Force Feedback verwenden.

Für die Darstellung einer graphischen Benutzeroberfläche zur Anzeige von Menüs und Anweisungen sowie für die Eingabe von Erfahrungsberichten, dient das CEGUI-System (CEGUI, 2007). CEGUI empfängt Eingaben von Maus und Tastatur mit Hilfe von OIS.

#### 4.1.5 Audio-Ausgabe

Für die Ausgabe von auditiven Informationen, wie Geräuschen zur Verbesserung der Authentizität, wird die Bibliothek OGREAL (2007) ausgewählt. OGREAL ist ein Adapter für den Zugriff auf die Bibliothek OpenAL (2007) (siehe Abbildung 4.8). OGREAL ermöglicht das Hinzufügen von 3D-Geräuschen und Musik in OGRE-Anwendungen.

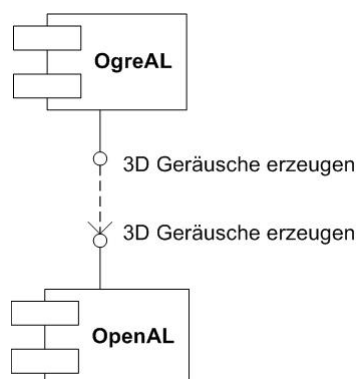


Abbildung 4.8: Zugriff von OGREAL auf OpenAL

Die Architektur von OGREAL entspricht dem Architekturgedanken von Ogre. Geräuschquellen können an Objekte gebunden werden. Bei Bewegung der Objekte wird das entsprechende Geräusch mitbewegt. Wird der Zuhörer bewegt, verändern sich aus seiner Perspektive die Positionen der Geräuschquellen.

Für die eingebettete Simulation der Navigationsanwendung des Wearable Prototyps ermöglicht diese Komponente den Zugriff der Navigationsanwendung auf die Audio-Ausgabe der Virtual Experience Plattform, um auditive Navigationsanweisungen auszugeben.

### 4.1.6 Logging

Die Durchführung und der Verlauf einer Simulation sollen aufgezeichnet werden, um das Nutzererlebnis zu erfassen und festzuhalten. Mit Hilfe der Aufzeichnungen lassen sich Reaktionen des Benutzers in bestimmten Situationen auswerten. Zur Aufzeichnung dient eine Log-Datei, in dem relevante Informationen über Objekte der Simulation aufgezeichnet werden. Es werden z. B. Positionen, Bewegungen und Zustände festgehalten. Ogre beinhaltet einen integrierten LogManager, welcher für die Aufzeichnungen verwendet wird. Es können mehrere unterschiedliche Log-Dateien generiert werden, welche unterschiedliche Aspekte aufzeichnen. Dies sind z. B. die Nutzererlebnisse und Fehlerprotokolle.

### 4.1.7 Konfiguration

Zur Speicherung und Wiederherstellung von Konfigurationen, wie z. B. Türkonfigurationen und zuvor ausgelegte LifeNet-Beacons, wird eine Komponente benötigt, mit der sich Konfigurationsdateien erstellen und auslesen lassen. Hierfür eignet sich das XML-Format. Mit dem XML-Parser TinyXML ([Thomason, 2007](#)) lassen sich Objekte und ihre Zustände speichern und wiederherstellen.

Außerdem dient die Konfiguration zur Reproduktion von definierten Szenarien, zur Speicherung von Systemeinstellungen und zum Festhalten von Szenarien, um eine Simulation später fortzusetzen.

### 4.1.8 Netzwerk

Für die Netzwerkkommunikation dienen die in Abbildung 4.9 dargestellten Teilkomponenten für den Anschluss unterschiedlicher Systeme. Die Kommunikation mit dem bereits in der Vision in 2.1.2.1 genannten Mobile Command Post System ([Habelski, 2007](#)) dient eine XML RPC-Schnittstelle. Mit Hilfe von definierten Nachrichten werden Positionen der Feuerwehrleute und Nachrichten über erstellte georeferenzierte Photos an das Mobile Command Post System übertragen. Dies simuliert die Übertragung von Informationen über das LifeNet von den Feuerwehrleuten an den mobilen Einsatzleitstand.

Für die Umsetzung einer verteilten Simulation, an mehreren Computern, ist ebenfalls eine Kommunikation über das Netzwerk notwendig. Wird eine gemeinsame Simulation mit mehreren Teilnehmern an mehreren Computern durchgeführt, müssen Informationen über Ereignisse und Zustände der Objekte propagiert und synchronisiert werden. Zu diesem Zweck wird die Bibliothek RakNet ([RakNet, 2008](#)) eingesetzt. Sie ist nach den Bedürfnissen der



Kommunikation von Spiele-Engines entwickelt worden und lässt sich an die eigenen Bedürfnisse anpassen. Die Verwendung von benutzerdefinierten Nachrichten ermöglicht die verteilte Simulation von Such- und Rettungsmissionen und des LifeNets über ein UDP/IP-fähiges Netzwerk.

Für die Kommunikation mit weiteren Komponenten, wie z. B. einen Sensornetzwerksimulator, wird eine Socket-Schnittstelle verwendet. Sie ermöglicht die Kommunikation per UDP/IP und TCP/IP.

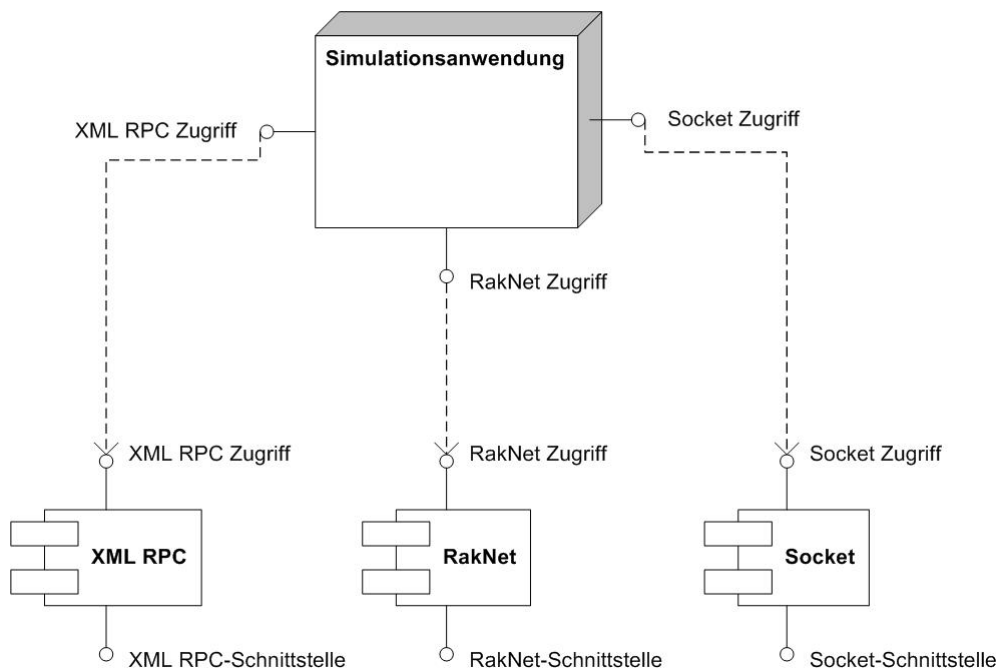


Abbildung 4.9: Unterschiedliche Teilkomponenten für die Netzwerkkommunikation

#### 4.1.9 LifeNet-Simulation

Die LifeNet-Simulation soll die Funktionalität des realen LifeNets nachbilden. Aspekte, welche real noch nicht implementiert sind oder zuvor ausprobiert werden sollen, können simuliert werden. Die Simulation des LifeNets wird in einer Komponente gekapselt. Sie repräsentiert das Verhalten des LifeNets innerhalb der Simulation. Dies beinhaltet die Verwaltung und den Zugriff auf die einzelnen LifeNet-Beacons und die Verwaltung von Meta-Informationen. Um in der Simulation den Quellcode der realen LifeNet-Beacons einzubinden und zu testen, ist eine Anbindung des MiXiM Frameworks ([MiXiM project, 2007](#)) vorgesehen. Es dient der Simulation von drahtlosen und mobilen Netzwerken. In [Abbildung 4.10](#) ist den Zugriff

der LifeNet-Simulation, über die Socket-Schnittstelle (Abb. 4.9), auf den externen Simulator MiXiM dargestellt.

Wird in der Simulation ein LifeNet-Beacon ausgelegt, wird in dem LifeNet-Simulator ein LifeNet-Beacon-Objekt als Repräsentant erzeugt. Alle ausgelegten LifeNet-Beacons werden in einer Liste verwaltet. Durch Iteration der Liste können Operationen auf die LifeNet-Beacon-Objekte angewendet werden. Die Propagation von Informationen, wie die Simulation einer unterbrochenen virtuellen Lifeline, kann durch iteratives Ausschalten von LifeNet-Beacons erfolgen. Zudem kann die Iteration der Liste dazu verwendet werden, LifeNet-Beacons in einer Konfigurationsdatei zu speichern, damit sie in weiteren Sitzungen wieder geladen werden können. Einige Meta-Informationen, wie die Anzahl der intakten virtuellen Lifelines, Anzahl der möglichen Ausgänge und die Distanzen zu den Ausgängen, werden verwaltet.

Die erzeugten LifeNet-Beacon-Objekte verwalten Informationen über die Zugehörigkeit zu einer virtuellen Lifeline, eine eindeutige Nummer innerhalb der Lifeline und über LifeNet-Beacons in der Umgebung. Die Objekte werden im Takt der Aktualisierungsrate<sup>2</sup> des Bildschirms aktualisiert. Die Taktung für die Aktualisierung der Umgebungsinformationen wird durch einen Zähler und eine entsprechende Abfrage reduziert. Die Erfassung von Informationen über die Umgebung führt unter Umständen zur Entdeckung von LifeNet-Beacons, welche eine Abkürzung der Route ermöglichen. Der simple Algorithmus nutzt als Metrik die aufsummierten Distanzen zwischen den LifeNet-Beacons, um die Entfernung zum Ausgang zu bestimmen. Entdeckt ein LifeNet-Beacon einen Nachbarn, welcher eine kürze Entfernung zum Ausgang aufweist, als die anderen Nachbarn, liegt eine Abkürzung vor. Die ausgelegten LifeNet-Beacons bilden in der Regel Pfade ab, welche tatsächlich zurückgelegt wurden. Abkürzungen können, wie in 3.2.2 genannt, zu Unfällen führen, jedoch auch eine erhebliche Erleichterung für das Zurücklegen einer Route bedeuten. Die Auswirkungen von Abkürzungen können in der Simulation erprobt werden.

Zur Nachbildung der LifeNet-Beacons, welche durch RELATE-Bricks realisiert werden, muss der Sichtkontakt zwischen LifeNet-Beacons gemessen werden, da die realen LifeNet-Beacons Ultraschallmessungen durchführen. Die Messungen liefern nur bei bestehendem Sichtkontakt Ergebnisse.

Für jedes LifeNet-Beacon-Objekt wird in MiXiM ein simulierter LifeNet-Beacon erzeugt, auf dem der identische Quellcode wie auf dem physikalischen LifeNet-Beacon ausgeführt wird. Informationen, welche in der Realität durch Sensoren aufgenommen werden, wie Distanz, Orientierung und bestehender Sichtkontakt, können in der Virtual Experience Platform ermittelt werden und in den MiXiM-Simulator eingespeist werden. Die Implementation und Anpassung von MiXiM wird durch das RELATE-Projekt übernommen und daher nicht weiter vertieft.

---

<sup>2</sup>Framerate

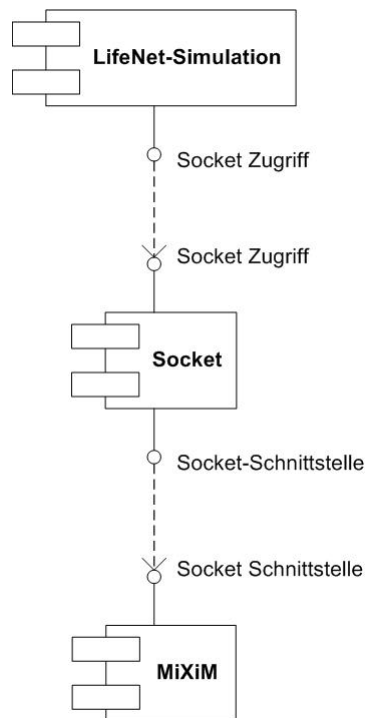


Abbildung 4.10: LifeNet-Simulation und Zugriff auf MiXiM-Simulator

In der verteilten Simulation müssen Informationen über ausgelegte LifeNet-Beacons an die anderen Teilnehmer propagiert werden, um die Simulation konsistent zu halten. Den Benutzern soll es möglich sein, mit LifeNet-Beacons zu interagieren, welche durch andere Teilnehmer ausgelegt wurden. Die Erzeugung, Positionsveränderung und der Ausfall von LifeNet-Beacons soll über das RakNet übertragen werden.

#### 4.1.10 Szenario

Für die konkrete Umsetzung der Szenarios der Simulation von Such- und Rettungsmissionen der Feuerwehr werden einige statische Elemente als Hilfsmittel benötigt. Die Hilfsmittel dienen zur Umsetzung von Szenarien, wie in realen Übungen und Einsätzen. Für eine simulierte Übung werden Feuerwehrleute und Hilfsmittel benötigt. Für herkömmliche Einsätze wird eine Atemschutzausrüstung (SCBA)<sup>3</sup> und eine Taschenlampe verwendet, welche durch entsprechende Objekte in der Simulation repräsentiert werden. In der Simulation sollen beispielsweise ein einfaches Feuer, Rauch und Türen des Gebäudes dargestellt werden. Für die Erzeugung der eingeschränkten Sichtverhältnisse in Such- und Rettungsmissionen bei

<sup>3</sup>Self Contained Breathing Apparatus

Feuer wird in der Simulation Rauch bzw. Nebel erzeugt. Für die Erprobung von Designideen aus dem LifeNet-Konzept werden eine digitale Photokamera, der Sensor Dispenser und LifeNet-Beacons modelliert.

## 4.2 Indoor-Navigationsunterstützung

Die Indoor-Navigationsunterstützung umfasst den Wearable Prototyp mit der Navigationsanwendung, welche in die Virtual Experience Platform eingebettet werden kann oder auf dem realen Prototypen des Wearables läuft. Die Indoor-Navigationsunterstützung basiert auf dem realen LifeNet bzw. der LifeNet-Simulation. Bei Verwendung der Virtual Experience Platform greift die Navigationsanwendung auf die in 4.1.9 beschriebene simulierte LifeNet-Simulation zu. Dies gilt für die in die Virtual Experience Platform eingebettete Navigationsanwendung sowie für die Simulation mit dem physikalischen Prototypen des Wearables in Verbindung mit der Virtual Experience Platform. Für das rein physikalische Prototyping kommt der physikalische Prototyp des Wearables und das reale LifeNet zum Einsatz.

### 4.2.1 Navigationsanwendung

Wie in den Anforderungen in 3.2.3.1 ermittelt, soll der Prototyp der Navigationsanwendung für die Indoor-Navigationsunterstützung ohne Veränderungen am Quellcode portierbar sein. Sie soll in der Simulationsplattform und auf dem realen Wearable Prototyp lauffähig sein. Zur Vereinfachung wird die Navigationsanwendung mit der 3D-Rendering-Engine Ogre umgesetzt, welche auch für die Virtual Experience Platform verwendet wird. Dadurch ist der Quellcode auf beiden Systemen lauffähig.

In Abbildung 4.11 sind die Komponenten der Navigationsanwendung dargestellt. Die Komponente zur *Kommunikation* dient der flexiblen Anbindung an die Simulationsplattform sowie an das reale LifeNet. Die *Navigations-Engine* beinhaltet die Funktionalität der Navigationsunterstützung. Die *3D-Rendering-Engine* dient der visuellen Darstellung der Navigationsinformationen und die *Audio-Ausgabe* für die akustische Ausgabe von Navigationsanweisungen. Die *Benutzerinteraktion* ermöglicht die Interaktion mit der Navigationsanwendung. Das *Logging* wird für Aufzeichnungen des Simulationsverlaufs aus der Perspektive des Benutzers bei der Benutzung der Navigationsanwendung verwendet.

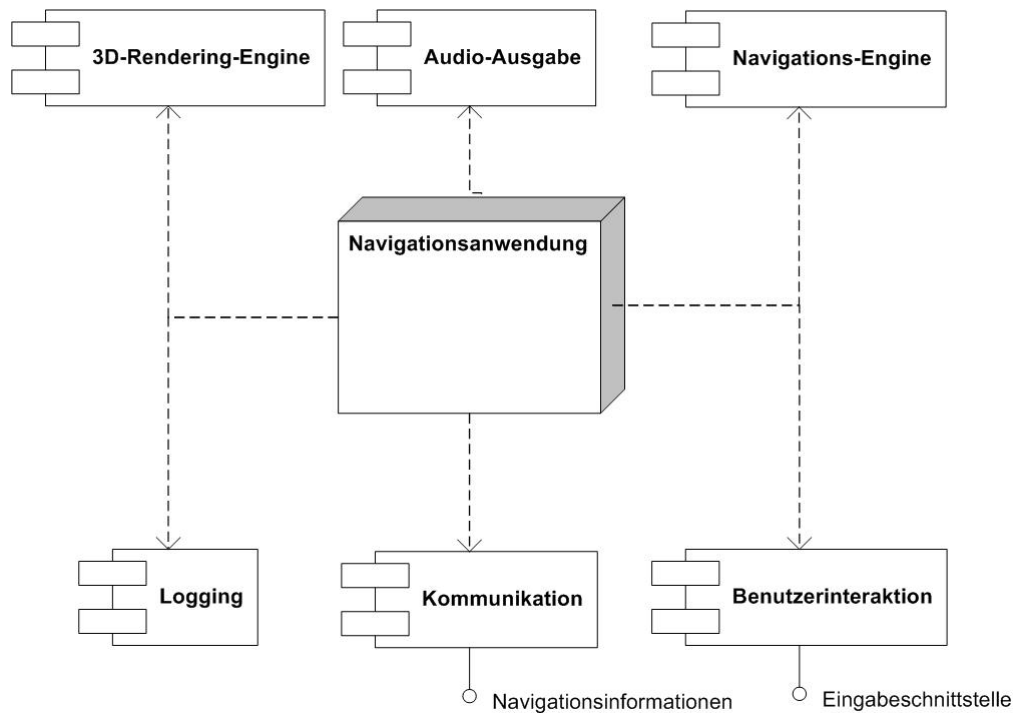


Abbildung 4.11: Komponenten der Indoor-Navigationsunterstützung

#### 4.2.1.1 3D-Rendering-Engine

Für die grafische Darstellung der Navigationsinformationen in der Navigationsanwendung wird die 3D-Rendering-Engine Ogre ([OGRE3D, 2007](#)) verwendet. Für die prototypische Umsetzung ist dadurch eine Kompatibilität zur Virtual Experience Platform gegeben, so dass die Navigationsanwendung ohne Veränderungen des Quellcodes in der Simulation und auf dem realen Wearable Prototyp verwendet werden kann. Weitere Gründe für die Verwendung von Ogre sind die vielfältigen grafischen Darstellungsmöglichkeiten für zukünftige Erweiterungen des Systems.

Die Darstellung von Text- und Grafikinformatoren mit Ogre Overlay-Objekten ermöglicht die flexible Darstellung von Navigationsinformationen. Die Größe, Position und Orientierung der Elemente lassen sich dynamisch verändern, wodurch die relativen Positionen bzw. die Distanzen und Richtungen von LifeNet-Beacons und Feuerwehrleuten dargestellt werden können, um die beiden Prototypen aus der Analyse in [3.2.3.1](#) umzusetzen.

#### 4.2.1.2 Benutzerinteraktion

Für den Wearable Prototyp der Indoor-Navigationsunterstützung ist eine minimale Benutzerinteraktion vorgesehen, damit die Feuerwehrleute nicht unnötig von ihrer eigentlichen Aufgabe abgelenkt werden. Für die Verwendung von einfachen Eingabegeräten, wie Schaltern und Knöpfen, wird hier ebenfalls das „Object Oriented Input System“ (OIS) ([Castaneda, 2007](#)) eingesetzt. Für den Prototyp des Wearables lassen sich durch eine offene Schnittstelle auf einfache Weise Eingabegeräte für die spezifischen Bedürfnissen integrieren. Taktile Geräte zur Ausgabe von Navigationsinformationen, Warnungen oder Ankündigungen können so mit dem Wearable Prototyp integriert werden.

#### 4.2.1.3 Audio-Ausgabe

Zur optionalen Ausgabe von auditiven Informationen für Navigationsanweisungen, wird hier wie bereits für die Virtual Experience Platform die Bibliothek [OgreAL \(2007\)](#), basierend auf [OpenAL \(2007\)](#), verwendet. Durch die Darstellung von 3D-Geräuschen ist es möglich, Richtungsinformationen auf auditive Weise zu vermitteln. Mit Hilfe von Sprachanweisungen kann eine routenbasierte Navigation erfolgen.

#### 4.2.1.4 Logging

Um während der Durchführung einer Simulation den Verlauf aus der Perspektive des Benutzers bei der Benutzung der Navigationsanwendung und somit das Nutzererlebnis festzuhalten, benötigt die Navigationsanwendung eine Komponente für das Logging von Informationen. Mit Hilfe der Aufzeichnungen lassen sich die Reaktionen des Benutzers auf bestimmte Situationen bei Verwendung des Wearable Prototyps aufzeichnen. Zur Aufzeichnung dient eine Log-Datei, in der relevante Informationen über Objekte der Simulation aufgezeichnet werden. Wie für die Virtual Experience Platform wird hier der Ogre LogManager verwendet.

#### 4.2.1.5 Kommunikation

Wie in den Anforderungen in [3.2.3.1](#) gefordert, muss der Wearable Prototyp in der Lage sein, über eine einheitliche Schnittstelle mit der Virtual Experience Platform und dem realen Life-Net zu kommunizieren. Bei der Kommunikation mit der Virtual Experience Platform gibt es die Unterscheidung, ob der Wearable Prototyp der Indoor-Navigationsunterstützung innerhalb der Simulationsplattform eingebettet simuliert oder als externer realer Prototyp an die

Plattform angeschlossen wird. Bei Verwendung des realen LifeNets findet eine Kommunikation zwischen dem realen Wearable Prototyp und dem realen LifeNet statt. Die Eigenschaften der einheitlichen Schnittstelle richten sich nach dem Informationsbedarf der Prototypen und nach den Informationen, welche vom realen LifeNet bereitgestellt werden können, da das reale LifeNet in der Simulation nachgebildet werden soll.

Die einheitliche Schnittstelle, welche den Zugriff auf die LifeNet-Simulation und das reale LifeNet bereitstellt, wird in Zusammenarbeit mit dem RELATE-Projekt entwickelt.

#### 4.2.1.6 Navigations-Engine

Die Navigations-Engine beinhaltet die Logik, welche für die Umsetzung von Algorithmen nötig ist. In ihr werden Informationen über die umliegenden LifeNet-Beacons und deren Zustände verwaltet. Die möglichen Routen, die aktuelle virtuelle Lifeline, der aktuelle LifeNet-Beacon und die aktuelle Richtung werden verwaltet. Bei der Richtung wird unterschieden, ob der Feuerwehrmann einer virtuellen Lifeline hinein ins Gebäude oder heraus zum Ausgang folgen möchte. Die Navigations-Engine übernimmt die Umschaltung von einem aktuellen LifeNet-Beacon zum Nächsten. Die Auswahl der Lifeline und der Richtung erfolgen durch den Benutzer. Weiterhin wird die Information über die Lifeline, welche ungültig geworden ist, entfernt. Eine weitere Aufgabe ist die Entscheidung über den Auswurf von LifeNet-Beacons mit Hilfe des Beacon-Dispensers.

#### 4.2.1.7 Prototyp 1

Abbildung 4.12 zeigt den Entwurf der visuellen Darstellung des in den konkreten Anforderungen in 3.2.3.1 ermittelten Prototyp 1. Für die visuelle Darstellung der Richtung zum aktuellen Wegpunkt wird ein einfacher, nicht verfeinerter Pfeil verwendet. Die Entfernung zum aktuellen Wegpunkt wird durch einen Balken visualisiert. In der Abbildung sind weitere textuelle Informationen dargestellt, welche über die verbleibende Einsatzdauer, Umgebungstemperatur, Entfernung zum Ausgang etc. Auskunft geben. Sie werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

Die Darstellung der in 3.2.1.1 erläuterten verfeinerten Informationen dient zur Verbesserung der Genauigkeit der Anweisungen und zum intuitiveren Verständnis durch den Benutzer. Durch einen verfeinerten Pfeil lässt sich der Informationsgehalt erhöhen und eine Vorschau über die relative Position des nächsten LifeNet-Beacon geben.

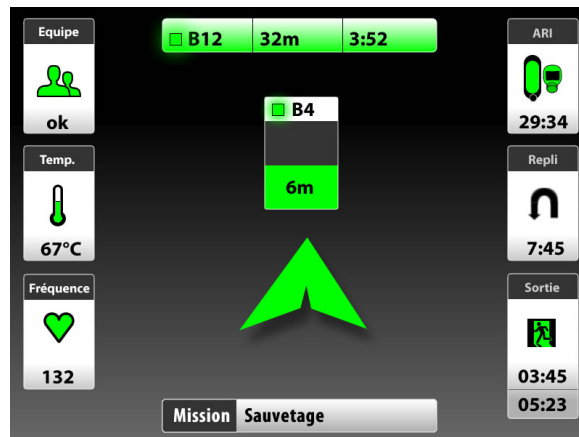


Abbildung 4.12: Prototyp 1 mit routenbasierter Darstellung

#### 4.2.1.8 Prototyp 2

Abbildung 4.13 zeigt den Entwurf von Prototyp 2, welcher in 3.2.3.1 ermittelt wurde. Der Entwurf zeigt ein kartenbasiertes System, in dem sich der Benutzer im Zentrum der Karte befindet. Um den Benutzer herum werden in einer kartenartigen Darstellung die LifeNet-Beacons visualisiert. Hierbei werden der aktuelle, nächste und vorherige LifeNet-Beacon hervorgehoben. Der Entwurf stellt die Position und Orientierung des Benutzers relativ zu den LifeNet-Beacons (B) und den anderen Feuerwehrleuten (SP)<sup>4</sup> in der Karte dar, wobei die Blickrichtung in der Karte immer nach oben ausgerichtet ist. Diese Darstellung gibt einen Überblick und ein Gefühl für Richtungen und Distanzen zu den umliegenden LifeNet-Beacons. Bewegt oder dreht sich der Feuerwehrmann, so bewegt sich das umliegende Referenzsystem, bestehend aus den umliegenden Objekten. Für diese Darstellung wird eine gute Erzeugung einer kognitiven Karte im Gehirn der Feuerwehrleute erwartet. Dies sollte nach Empfehlung der in 3.2.1.1 genannten Studie (Aslan u. a., 2006) sorgfältig geprüft werden.

#### 4.2.2 Wearable Prototyp

Der Prototyp des Wearables besteht aus einem am Körper tragbaren Computer, auf dem die Navigationsanwendung ausgeführt wird. An den Computer wird zur visuellen Darstellung das Head-Mounted Display angeschlossen, welches, wie in der Vision in 2.1.2.1 beschrieben, in eine Atemschutzmaske integriert ist. Für die Ausgabe von auditiven Navigationsinformationen wird ein Kopfhörer verwendet. Für die Simulation mit der Virtual Experience Platform wird der Wearable Prototyp über eine Netzwerkverbindung, über die einheitliche Schnittstelle, implementiert durch RakNet angeschlossen. Im Betrieb mit dem realen LifeNet wird

<sup>4</sup>Sapeur Pompier



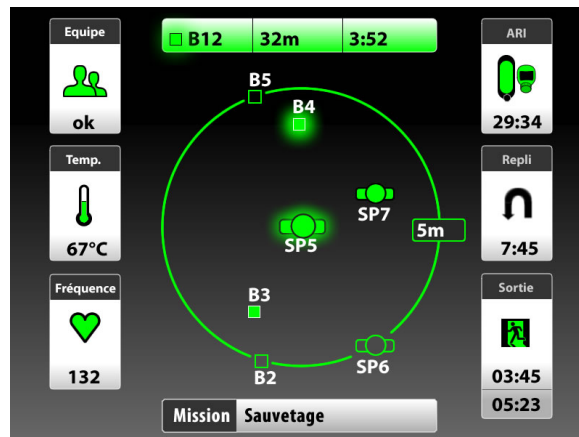


Abbildung 4.13: Prototyp 2 mit kartenbasierter Darstellung

der Prototyp durch die einheitliche Schnittstelle angebunden, welche durch das RELATE-Projekt implementiert wird. Diese Schnittstelle ermöglicht die Kommunikation mit dem realen LifeNet-Beacon am Körper, welcher ebenfalls zum Wearable Prototyp gehört. Der Beacon-Dispenser ist ein weiterer Bestandteil des Wearable Prototyps für die Umsetzung der Idee des LifeNet-Konzeptes.

In der eingebetteten Simulation wird der Wearable Prototyp durch die Navigationsanwendung dargestellt. Die simulierte Atemschutzmaske und der eingebettete Viewport zur Darstellung des Head-Mounted Displays repräsentieren die visuellen Aspekte des virtuellen Wearable Prototyps. Die auditiven Informationen werden ebenfalls über einen Kopfhörer vermittelt. Die Kommunikation erfolgt über die einheitliche Schnittstelle durch die Implementation einer Schnittstellenklasse innerhalb der Virtual Experience Platform. Der Beacon-Dispenser wird als Bestandteil des Wearable Prototyps als eigenständiges Gerät in der Simulation dargestellt, um die LifeNet-Simulation zu vervollständigen.

### 4.2.3 LifeNet

Die reale Umsetzung des physikalischen LifeNets wird in Zusammenarbeit mit dem bereits in 2.1.2.3 vorgestellten Projekt RELATE entwickelt. Für die Anbindung der Prototypen der Indoor-Navigationsunterstützung erfolgt eine Kommunikation über die einheitliche Schnittstelle der Navigationsanwendung. Das RELATE-Projekt implementiert eine Bibliothek, welche die Navigationsanwendung mit den nötigen Informationen aus dem LifeNet versorgt. Sie ermöglicht Anfragen an die in Funkreichweite liegenden LifeNet-Beacons. Über den LifeNet-Beacon am Körper können Messungen der Distanzen und Winkel relativ zum Feuerwehrmann durchgeführt werden. Die Messungen werden ausschließlich zwischen LifeNet-Beacons durchgeführt, welche sich in Sichtkontakt befinden, da die ausgesendeten Ultra-

schallsignale keine Hindernisse durchdringen. Diese Eigenschaft führt dazu, dass LifeNet-Beacons, welche sich hinter einer Wand befinden, nicht zur Navigation angesteuert werden, so lange kein Sichtkontakt besteht.

Der Auswurf von LifeNet-Beacons durch den Beacon-Dispenser kann in Abhängigkeit vom bestehenden Sichtkontakt erfolgen. Sind nur wenige oder keine LifeNet-Beacons in Sichtweite, wird ein LifeNet-Beacon ausgeworfen. Die LifeNet-Beacons der Umgebung geben Meta-Informationen über jede bestehende Lifeline, mit der navigiert werden kann. Zudem geben sie Informationen über die Anzahl der möglichen Ausgänge und die Distanzen zu den Ausgängen. Fällt eine Route aus, wird sie in den Knoten gelöscht oder geändert.

# 5 Realisierung

An dieser Stelle wird die Realisierung des Gesamtsystems vorgestellt, welches aus dem Design von Kapitel 4 resultiert. Da sich das System in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess befindet, wird der Entwicklungsstand bei Fertigstellung der vorliegenden Arbeit beschrieben.

## 5.1 FireSim

Die konkrete Umsetzung der Virtual Experience Platform für die Simulation von Wearables in Feuerwehreinsätzen im Rahmen der Pariser Feuerwehr trägt den Namen „FireSim“. Zur Realisierung von FireSim werden die Komponenten verwendet, welche im Design in 4.1 aufgeführt werden. Einige Komponenten sind in FireSim integriert, werden jedoch derzeit nicht in vollem Umfang genutzt. Einige Bestandteile sind noch nicht umgesetzt und integriert. Daher werden sie in der Simulation vereinfacht nachgebildet.

Die Simulation zeigt zu Beginn ein animiertes Intro-Video, welches einen Überflug über Paris darstellt. Das Video unterstreicht das Szenario und fördert die Identifikation der Benutzer von der Pariser Feuerwehr mit dem Szenario und bietet den Einstieg für die folgenden Simulationen auf dem virtuellen Trainingsgelände.

### 5.1.1 GUI

In Abbildung 5.1 ist die Realisierung der GUI durch Grimm (2007) mit Hilfe von CEGUI zu sehen. Die Integration der GUI in FireSim ermöglicht die Auswahl von Szenarien und das Betrachten von Berichten von zuvor durchgeführten Simulationen. Zudem können die Benutzer Beschreibungen der Ausrüstung für die Simulation der Wearable Prototypen und des LifeNets ansehen. Die GUI nimmt mit Hilfe von OIS Eingaben über Maus und Tastatur entgegen.

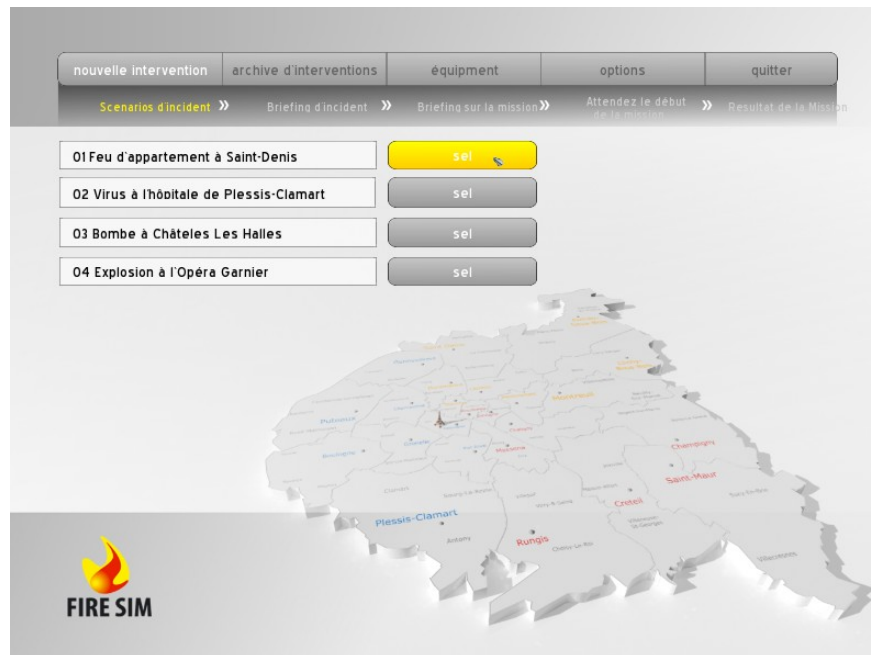


Abbildung 5.1: Mit CEGUI realisiertes Menü

### 5.1.2 Szenario

Die konkrete Simulation des Szenarios mit dem Trainingshaus der Pariser Feuerwehr im Stadtteil Saint Denis wird in der Klasse SaintDenisGame zusammengefasst. Sie beinhaltet die Szene des Trainingsgeländes, alle Hilfsmittel für die konkrete Simulation von Feuerwehreinsätzen und die Konfiguration von Einstellungen. Sie beinhaltet einen animierten Himmel und eine Beleuchtung der Umgebung.

Durch den in 4.1.3 beschriebenen Modellimport mit Hilfe von NxOgreOFusion werden Trainingsgelände, Trainingshaus sowie die Fenster und Türen als statische NxOgre Body-Objekte erzeugt und zu einer static geometry zusammengefasst. Einige Türen, welche sich öffnen und schließen lassen sollen, werden per Namenskonvention unterschieden und als bewegliche Türen erzeugt.

Bei einer verteilten Simulation wird zu Beginn die Konfiguration der Netzwerkeinstellungen geladen. Die Umsetzung der verteilten Simulation ist vorerst auf eine statische Anzahl von vier Teilnehmern beschränkt. Eine dynamische Anzahl von Teilnehmern erfordert eine umfangreiche Synchronisation und Replikation der Objekte und deren Zustände des aktuellen Szenarios, wenn ein Teilnehmer einer Simulation beitrifft.

Die Umsetzung von FireSim und das konkrete Szenario bestehen aus mehreren Klassen, von denen zur Laufzeit Objekte erzeugt werden. Diese Objekte werden zentral durch den in

Abbildung 5.2 dargestellten ObjectManager verwaltet, welcher nach den Singleton-Pattern implementiert ist, da es nur eine Instanz geben soll. Der ObjectManager führt Listen oder Verweise über die erzeugten Objekte, so dass über ihn auf alle Objekte zugegriffen werden kann. Durch Iteration der Listen lassen sich Operationen auf den Objekten durchführen.

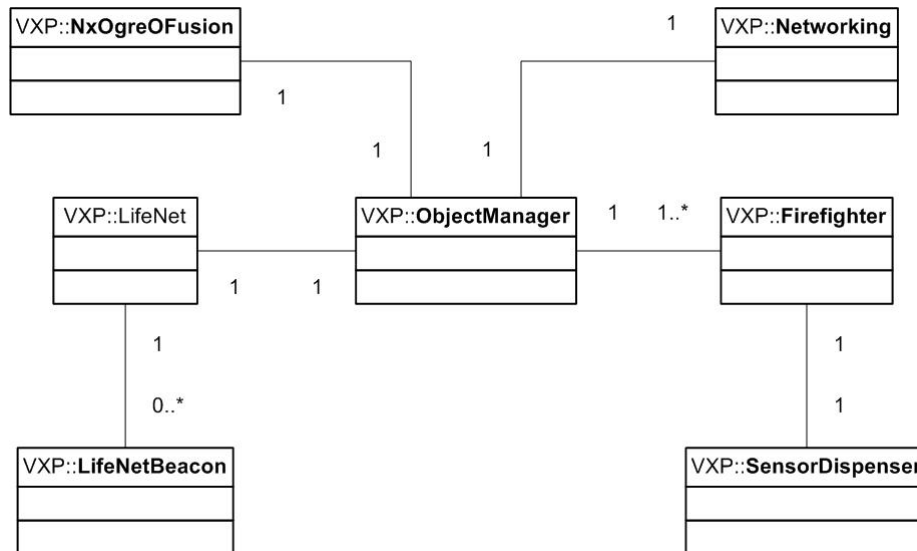


Abbildung 5.2: ObjectManager zur Verwaltung von Instanzen der Klassen

Abbildung 5.3 zeigt die importierte Szene in Form des Trainingsgeländes und Trainingshauses der Pariser Feuerwehr und die Feuerwehrleute als Teilnehmer der Simulation. Die Feuerwehrleute und weitere Hilfsmittel zur Realisierung des Szenarios werden innerhalb der Klasse SaintDenisGame erzeugt und durch den ObjectManager verwaltet.

### 5.1.2.1 Firefighter

Die Feuerwehrleute der Simulation in FireSim werden durch die Klasse Firefighter realisiert. Die Klasse Firefighter ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Die Klasse verfügt über eine Instanz des NxOgre Character, welcher eine Ogre Entity-Objekt enthält. Die Ogre Entity visualisiert mit Hilfe eines Ogre Mesh-Objektes den Feuerwehrmann. Das physikalische Verhalten wird durch das NxOgre Character-Objekt realisiert. Das Ogre Camera-Objekt fängt das Bild aus Sicht des simulierten Feuerwehrmannes ein. Das Camera-Objekt wird an einen Szenennoten des Firefighter-Objektes gebunden, damit es fest mit ihm verbunden ist. Führt der Firefighter Bewegungen aus, bewegt sich das Camera-Objekt mit. Für die Befriedigung der auditiven Sinne aus der Perspektive des Feuerwehrmannes, wird der OgreAL SoundManager verwendet. Dieser ermöglicht die Ausgabe von Schrittgeräuschen sowie die Aufnahme von 3D-Geräuschen aus der simulierten Umgebung.



Abbildung 5.3: Realisierung von Trainingshaus, Feuerwehrleuten und Ausrüstung

Die simulierten Feuerwehrleute erhalten ihr physikalisches Verhalten durch die NxOgre Character-Klasse. Die Feuerwehrleute können über Maus- und Tastatureingaben mit Hilfe von OIS gesteuert werden. Durch die physikalische Abbildung der Feuerwehrleute und der Objekte der simulierten Umgebung, ist eine Kollision und Interaktion mit Objekten möglich. Beispielsweise können die beweglichen Türen bewegt werden, indem der Feuerwehrmann gegen sie läuft.

Mit Hilfe der Implementation von RakNet werden die Feuerwehrleute in der verteilten Simulation auf allen teilnehmenden Systemen aktualisiert. Auf jedem System sind alle teilnehmenden Firefighter dargestellt. Einer der Firefighter repräsentiert jeweils den aktuellen Benutzer, die weiteren Firefighter repräsentieren die anderen Teilnehmer der verteilten Simulation. Bei Zustandsänderung des lokalen Firefighters, werden seine Repräsentanten auf den anderen Systemen aktualisiert. Über die XML RPC-Schnittstelle der Networking-Komponente können Zustände der Firefighter an das Mobile Command Post System übertragen und dargestellt werden.

Zu Beginn einer Simulation wird durch das Logging der eingegebene Name des Benutzers, der Name des Computers und weitere Informationen zur Identifikation der simulierten Mission aufgezeichnet. Während einer Mission werden Positionen und Zustände der Feuerwehrleute und LifeNet-Beacons aufgezeichnet.

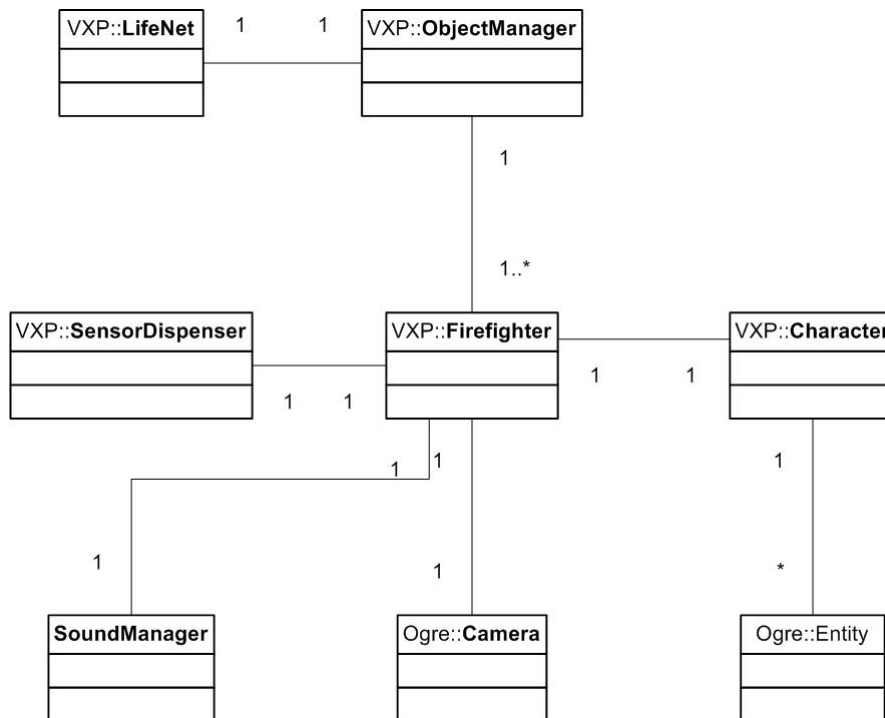


Abbildung 5.4: Firefighter

### 5.1.2.2 Hilfsmittel

Für die Simulation des Szenarios von Such- und Rettungsmissionen unter eingeschränkten Sichtverhältnissen werden einige Hilfsmittel benötigt. Zur Repräsentation eines Feuers dient die Klasse SimpleFire. Das Feuer ist sehr einfach dargestellt. Es wird durch einen Würfel, bestehend aus einem NxOgre Body, repräsentiert. Der Würfel dient dazu, den Weg entlang einer virtuellen Lifeline zu versperren und damit das Hindernis eines Feuers zu simulieren. Zur Simulation der eingeschränkten Sichtverhältnisse durch Rauch, wird die Funktionalität zur Erzeugung von Nebel von Ogre verwendet.

Einige Objekte der Simulation, wie technische Geräte, werden angelehnt an die Realität simuliert. Sie lassen sich ein- und ausschalten, haben begrenzte Ressourcen und besitzen eine bestimmte Funktionalität. Die Klasse TickableObject in Abbildung 5.5, stellt die Basis-Klasse für derartige Geräte dar. Die Klasse besitzt Methoden zum ein- und ausschalten und einen Zähler, welcher die Betriebsdauer aufaddiert. Mit Hilfe des Zählers können zeitlich begrenzte Ressourcen simuliert werden. Durch das Hinzufügen von Methoden zu den abgeleiteten Objekten, lassen sich benutzerdefinierte Eigenschaften hinzufügen.

Weitere Hilfsmittel für den Feuerwehrmann, auf Basis des TickableObjects, sind eine Taschenlampe, Atemschutzausrüstung und Photokamera (Abb. 5.5). Die Taschenlampe wird

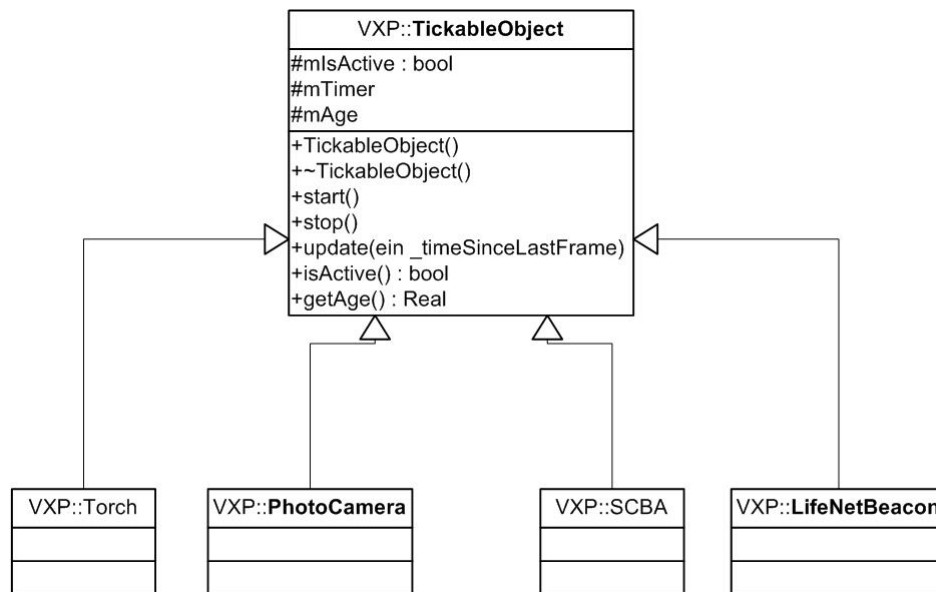


Abbildung 5.5: Die Klasse TickableObject und deren Ableitungen

in dunklen Räumen innerhalb des Gebäudes benötigt. Sie wird durch die Klasse Torch repräsentiert. Die Taschenlampe ist nicht visualisiert. Sie besteht aus einer Lichtquelle in Form eines Ogre Light-Objektes. Die Klasse Torch implementiert die Methoden, um die Taschenlampe ein- und auszuschalten. Über den Zähler lässt sich die Betriebsdauer ermitteln und eine begrenzte Batterielevensdauer simulieren.

Die Atemschutzausrüstung (SCBA) dient zur Simulation einer begrenzten Einsatzdauer durch eine begrenzte Sauerstoffversorgung. Durch die Ableitung vom TickableObject kann der SCBA ein- und ausgeschaltet werden. Ist der SCBA eingeschaltet, wird die Betriebsdauer hoch gezählt. Sie kann ausgelesen und in der Navigationsanwendung angezeigt und zusätzlich über die XML RPC-Schnittstelle an das Mobile Command Post System übertragen werden.

Die Fotokamera wird durch die Klasse PhotoCamera repräsentiert. Sie ist von der Klasse TickableObject abgeleitet und kann daher ein- und ausgeschaltet werden. Die Batterielevensdauer lässt sich ebenso wie bei der Taschenlampe simulieren. Die Klasse PhotoCamera beinhaltet ein Ogre Camera-Objekt, um die Photos einzufangen. Die Klasse besitzt eine Methode, um das Erstellen eines Photos auszulösen und einen Zähler für die eindeutige Nummerierung der Aufnahmen und für die Simulation einer begrenzten Speicherkapazität für Aufnahmen. In der Simulation lassen sich die Photos mit Geo referenzierten Informationen anreichern. Daraufhin können Dateiname sowie Position und Orientierung einer Aufnahme über die XML RPC-Schnittstelle an das Mobile Command Post System übertragen werden. Die Übertragung der Dateien wird in der Simulation durch die Speicherung in einen



im Netzwerk freigegebenen Ordner ersetzt. Die Vision aus 2.1.2.1 sieht eine Übertragung mit Hilfe des JPIP-Protokolls und eine lokale Verwendung der Photos als Sehhilfe vor.

### 5.1.2.3 LifeNet-Simulation

Wie Abb. 5.6 zeigt, wird die LifeNet-Simulation durch die Klasse LifeNet realisiert. Auf sie kann über den ObjectManager zugegriffen werden. Die Klasse LifeNet ist nach dem Singleton-Pattern realisiert, da es nur eine Instanz für die Verwaltung der LifeNet-Beacons geben soll. Die Klasse enthält eine Liste über alle ausgelegten LifeNet-Beacons und ermöglicht den Zugriff auf sie. Sie ermöglicht das im Design vorgesehene Speichern und Laden sowie das Abschalten von LifeNet-Beacons. Zudem werden Informationen über alle verwalteten LifeNet-Beacons mit Hilfe von RakNet an die anderen Teilnehmer einer verteilten Simulation übertragen.

Das Verhalten des LifeNets ist in der Realisierung der LifeNet-Simulation vorerst ohne den externen Simulator MiXiM umgesetzt worden, welcher im Design in 4.1.9 vorgesehen ist. Notwendige Anpassungen des MiXiM-Simulators und die Integration in die LifeNet-Simulation befinden sich noch in der Entwicklung. Aus diesem Grund wird die Eigenschaft der Virtual Experience Platform genutzt, Funktionalität von Komponenten stellvertretend zu übernehmen.

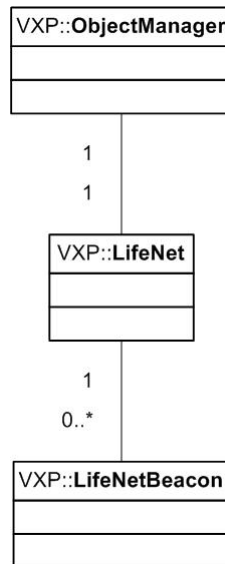


Abbildung 5.6: Klassen der LifeNet-Simulation

Für die verteilte Simulation des LifeNets werden Informationen mit Hilfe von RakNet über das Netzwerk ausgetauscht. Die Positionen und Zustände der LifeNet-Beacons werden an

die anderen Teilnehmer übertragen, um eine Simulation im gleichen Kontext zu realisieren. Verändern sich z. B. Positionen der LifeNet-Beacons oder fallen sie aus, wird diese Information über RakNet propagiert und die entsprechenden LifeNet-Beacons auf den anderen Systemen abgeschaltet. Auf Wunsch werden Konfigurationen von gespeicherten LifeNet-Beacons geladen. Bei der verteilten Simulation ist dies nur auf dem Server-System möglich, um die Simulation konsistent zu halten.

Die Abstraktion der LifeNet-Simulation ermöglicht den Test der Funktionalität des LifeNet-Konzeptes. Das Systemverhalten lässt sich weitestgehend simulieren und das Benutzererlebnis kann auf diese Weise untersucht werden. Durch die Abstraktion der Simulation lassen sich Prinzipien ohne schwer zu kontrollierende parallele Prozesse testen, wie sie beim Prototyping mit dem realen LifeNet entstehen. Dies verringert den Komplexitätsgrad und verhindert Ausfälle des darunter liegenden Systems im Test der eigentlichen Anwendung.

#### *LifeNet-Beacon*

Die LifeNet-Beacons werden durch die Klasse LifeNetBeacon repräsentiert (Abb. 5.6). Wird ein LifeNet-Beacon ausgelegt, wird ein Objekt der Klasse LifeNetBeacon erzeugt. Das LifeNetBeacon-Objekt wird vom TickableObject abgeleitet und verfügt daher auch über eine Taktung. Durch die Taktung können sich LifeNet-Beacon-Objekte regelmäßig aktualisieren und so Veränderungen in der Umgebung registrieren und die Betriebsdauer eines LifeNet-Beacons aufsummieren. Informationen über benachbarte LifeNet-Beacons werden ermittelt, indem durch Iteration aller LifeNet-Beacons der Abstand zu ihnen ermittelt wird. Befindet sich ein LifeNet-Beacon innerhalb eines bestimmten Radius, wird er als Nachbar in eine Liste aufgenommen. Dies simuliert die LifeNet-Beacons in Funkreichweite. Die Liste der Nachbarn in Funkreichweite wird anschließend auf bestehenden Sichtkontakt überprüft, um LifeNet-Beacons in Sichtweite der Ultraschallsensoren der realen LifeNet-Beacons zu simulieren. Die Überprüfung findet mit Hilfe der im Projekt entwickelten Klasse RayCastingInteraction statt, welche auf dem so genannten NxOgre RayCaster basiert.

#### *Beacon-Dispenser*

Für die Simulation des Auswurfs von LifeNet-Beacons wird der Beacon-Dispenser simuliert. Er ist in der Klasse SensorDispenser implementiert. Die Klasse hat Zugriff auf die LifeNet-Klasse, um bei Auswurf eines LifeNet-Beacons ein LifeNetBeacon-Objekt zu erzeugen. Der Auswurf eines LifeNet-Beacons wird durch die Klasse NavigatorEngine ausgelöst, um eine virtuelle Lifeline zu erweitern. Die Klasse hat einen Zähler, über den die Anzahl der LifeNet-Beacons begrenzt werden kann.

## 5.2 Indoor-Navigationsunterstützung

An dieser Stelle werden die aus dem Design realisierten Hard- und Softwarekomponenten beschrieben, welche für die Umsetzung der Indoor-Navigationsunterstützung dienen. Die Indoor-Navigationsunterstützung besteht aus der Navigationsanwendung, dem Wearable Prototyp und dem realen LifeNet.

### 5.2.1 Navigationsanwendung

Zur Erprobung der auf dem Wearable basierenden Indoor-Navigationsunterstützung werden die Prototypen 1 und 2 realisiert. Die Navigationsanwendung ist, wie im Design beschrieben, zwischen der Simulation und dem realen Prototyp portierbar. Außerdem verfügt sie über eine einheitliche Schnittstelle zur Kommunikation mit der Simulationsplattform und dem realen LifeNet. Die Navigationsanwendung ist in diesem Entwicklungsstand ohne aktive Interaktion durch Benutzereingaben implementiert. Nach dem Start wird die Anwendung ausgeführt und verhält sich entsprechend der Logik, welche in der Navigations-Engine durch einen Automaten implementiert ist.

Wie Abbildung 5.7 zeigt, besteht die Navigationsanwendung aus mehreren Klassen. Die Klasse `DataConnector` stellt eine abstrakte Schnittstelle für die Realisierung der einheitlichen Schnittstelle dar. Zur Implementierung werden die Klassen `DataConnectorVXP`, `DataConnectorRakNet` und `DataConnectorParticle` abgeleitet. Die Klasse `DataConnectorVXP` verbindet die Navigationsanwendung, bei der eingebetteten Simulation, mit der LifeNet-Simulation, innerhalb der Simulationsplattform. Die Klasse `DataConnectorRakNet` verbindet die Navigationsanwendung mit der LifeNet-Simulation, wenn sie auf dem realen Wearable Prototyp ausgeführt wird. Für die Anbindung an das reale LifeNet dient die Klasse `DataConnectorParticle`, welche über die so genannte `Libparticle` (TecO, 2008) auf die realen LifeNet-Beacons zugreift. Die Schnittstellen der Klasse `DataConnector` ermöglichen der Klasse `NavigatorEngine` den Zugriff auf das simulierte oder das reale LifeNet. Für jeden LifeNet-Beacon der Umgebung wird ein Objekt der Klasse `INU::LifeNetBeacon` erzeugt, welches Informationen über die relativen Positionen der LifeNet-Beacons beinhaltet. Die `LifeNetBeacon`-Objekte dienen für die Verarbeitung der Informationen in der `NavigatorEngine` und für die grafische und auditive Ausgabe von Navigationsinformationen mit Hilfe der Klassen `NavigatorVisualInterface` und `AudiInterface`.

Bei der eingebetteten Simulation wird mit Hilfe eines Overlays im Viewport der Szene, wie in 4.1.1.1 erläutert, die Kontur der Atemschutzmaske aus der Sicht des Benutzers dargestellt. In Kombination mit dem eingebetteten Viewport der Navigationsanwendung simuliert dies die

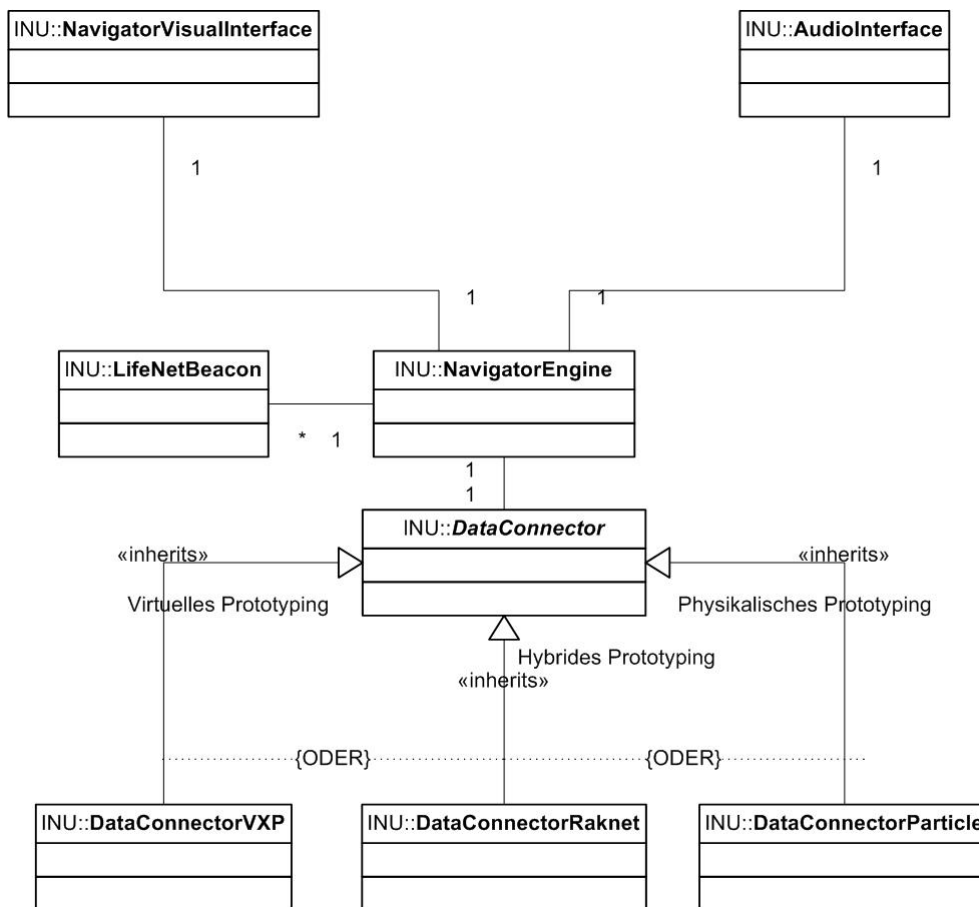


Abbildung 5.7: Klassen der Navigationsanwendung

Darstellung der Informationen auf einem Head-Mounted Display innerhalb der Atemschutzmaske und schränkt, wie Abbildung 5.8 zeigt, das Sichtfeld ein, wie es bei einer realen Atemschutzmaske der Fall ist. Die Abbildung 5.9 zeigt den Viewport der Navigationsanwendung in der Vollansicht, wie sie im Einsatz des Wearable Prototyps über das reale Head-Mounted Display angezeigt wird.

Durch die Ausgabe von aufgezeichneten Sprachanweisungen werden Navigationsanweisungen gegeben. Die Anweisungen veranlassen den Benutzer links, rechts oder geradeaus zu gehen. Mit Hilfe des Logging werden im Hintergrund Informationen über den Verlauf einer Simulation aufgezeichnet.

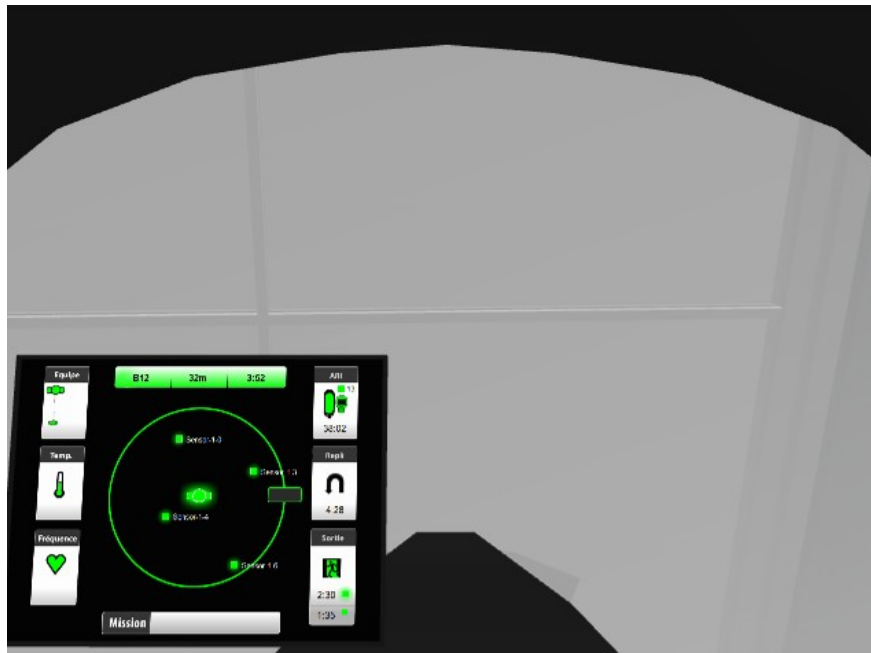


Abbildung 5.8: Indoor-Navigationsunterstützung simuliert in der Virtual Experience Platform mit Rauch

## 5.2.2 Wearable Prototyp

Der reale Wearable Prototyp besteht aus den Komponenten, welche im Design in 4.2.2 vorgesehen sind. Das System, auf welchem die Navigationsanwendung ausgeführt wird, besteht aus dem am Körper tragbaren OQO-Computer (OQO, 2007), welcher in Abbildung 5.10 zu sehen ist. Dieses Gerät verfügt über eine Gürtelbefestigung oder lässt sich bequem in einer Jackentasche unterbringen. Der OQO bietet alle üblichen Schnittstellen wie LAN, WLAN, Bluetooth, USB und einen Audioausgang. Dank der geringen Abmessungen und der vielseitigen Anschlussmöglichkeiten, stehen dadurch diverse Möglichkeiten für den Einsatz als prototypischer Wearable zur Verfügung. Der OQO wird mit Windows XP in der Tablet Edition betrieben. Daher sind normale Windowsanwendungen auf dem System lauffähig.

Zur visuellen Informationsdarstellung dient der Prototyp eines Head-Mounted Displays (Abb. 5.10) der Firma Carl Zeiss (Carl Zeiss AG Deutschland, 2007), welche Partner im Projekt wearIT@work ist. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Designoptionen für die Visualisierung flexibel testen. Bei diesem Prototypen des Head-Mounted Displays ist die Projektionsfläche außerhalb der Maske montiert. Die auditive Ausgabe der Navigationsanweisungen erfolgt über einen Kopfhörer, welcher über einen USB-Anschluß an den OQO angeschlossen wird.

Der OQO kommuniziert über ein WLAN-Netzwerk mit Hilfe der DataConnectorRakNet-

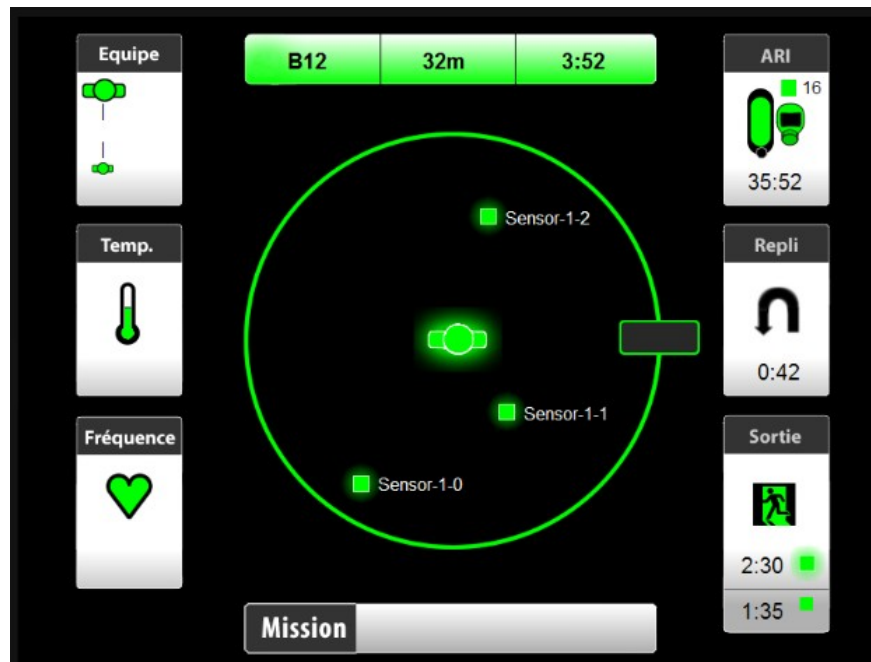


Abbildung 5.9: Indoor-Navigationsunterstützung als externe Anwendung auf dem realen Prototyp in Verbindung mit der Virtual Experience Platform

Schnittstelle mit der Simulationsplattform. Im Betrieb mit dem realen LifeNet wird über die DataConnectorParticle-Schnittstelle kommuniziert. Hierfür ist eine spezielle Hardware nötig, die so genannte USB-Bridge aus Abbildung 5.11.

Die USB-Bridge ermöglicht die Kommunikation mit den LifeNet-Beacons in der Umgebung und am Körper. Am Körper befinden sich in der Realisierung zwei LifeNet-Beacons, welche ebenso mit zu dem Wearable System gehören. In der vorliegenden Implementation wird nur einer der LifeNet-Beacons verwendet. Die beiden LifeNet-Beacons sind in Stiefel integriert, damit sie sich in der gleichen Ebene der LifeNet-Beacons am Boden befinden. Wie in 2.1.2.3 beschrieben funktionieren die realen LifeNet-Beacon in der aktuellen Implementation ausschließlich in der zweidimensionalen Ebene. Abbildung 5.12 zeigt die Stiefel mit Ultraschallsensoren, welche auf Höhe der Sohlen integriert sind. Die Gehäuse der LifeNet-Beacons, mit der Elektronik, sind mit Hilfe von Klett-Bändern prototypisch befestigt.

Ein realer Beacon-Dispenser für den Auswurf von LifeNet-Beacons, wie ihn das LifeNet-Konzept vorsieht, wurde nicht realisiert. Aus diesem Grund werden die realen LifeNet-Beacons alternativ per Hand abgelegt.

Die Realisierung des Wearable Prototyps in der eingebetteten Simulation wird durch die simulierte Atemschutzmaske und den eingebetteten Viewport zur Darstellung des Head-Mounted Displays umgesetzt. Die auditiven Informationen werden ebenfalls über



Abbildung 5.10: Wearable Prototyp bestehend aus Zeiss Head-Mounted Display, Atemschutzmaske und OQO-Computer

einen Kopfhörer vermittelt. Die Kommunikation mit der LifeNet-Simulation erfolgt über die DataConnectorVXP-Schnittstelle, innerhalb von FireSim. Der Beacon-Dispenser wird wie zuvor in [5.1.2.3](#) beschrieben in der Klasse SensorDispenser realisiert.

### 5.2.3 LifeNet

Um mit den umliegenden LifeNet-Beacons zu kommunizieren, wird eine Hardware, die zuvor genannte USB-Bridge, verwendet. Sie basiert auf der gleichen Technologie wie die LifeNet-Beacons, verfügt jedoch über keine Sensorik, um Messungen durchzuführen. Um die relative Distanz und Orientierung zwischen Feuerwehrmann und LifeNet-Beacons zu messen, werden die zuvor beschriebenen Stiefel mit integrierten LifeNet-Beacons benutzt. Mit Hilfe der USB-Bridge kann mit den LifeNet-Beacons am Körper und den LifeNet-Beacons in der Umgebung kommuniziert werden. Durch die Integration der LifeNet-Beacons in die Stiefel werden alle Messungen der relativen Positionen zu den umliegenden LifeNet-Beacons auf die Stiefel bezogen. Dies führt dazu, dass die Blickrichtung des Feuerwehrmannes bei der Anzeige von Richtungen in der Navigationsanwendung nicht berücksichtigt wird. Durch die Bestimmung der Orientierung von Kopf und Stiefel mit Hilfe von digitalen Kompassmodulen kann vermutlich die Differenz ermittelt werden und in der Berechnung von Richtungsinformationen berücksichtigt werden. Diese Korrektur wurde in der Realisierung nicht mehr umgesetzt.

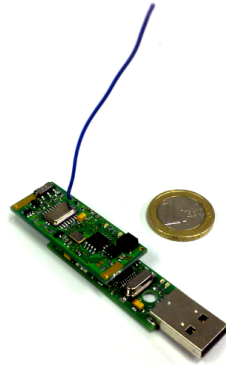


Abbildung 5.11: USB-Bridge



Abbildung 5.12: Stiefel mit integrierten LifeNet-Beacons

Der Algorithmus für die Navigation mit Hilfe des realen LifeNet wurde durch das RELATE-Projekt umgesetzt. Die Knoten besitzen jeweils eine feste Identifikationsnummer (ID). Der Algorithmus sieht einen dedizierten Startknoten vor, welcher durch eine bestimmte ID vor-eingestellt wird. Die Stiefel besitzen ebenfalls feste ID's. Die Navigationsanwendung kommuniziert über die USB-Bridge mit den Stiefeln. Wird der dedizierte Startknoten eingeschaltet, erkennt dies der Automat in der NavigatorEngine der Navigationsanwendung. Werden weitere LifeNet-Beacons ausgelegt, werden sie zu einer virtuellen Lifeline aneinander gefügt. Die Implementation führt den Benutzer auf dem kürzesten Weg zum Ausgang. Als Metrik werden die Distanzen zwischen den einzelnen LifeNet-Beacons bis zum Ausgang aufsummiert. Wird eine Abkürzung entdeckt, wird der Benutzer entlang der Abkürzung geführt.



## 6 Evaluation

Erste Designansätze der Wearable Prototypen sollen, dem Ansatz des User-Centered Design entsprechend, nach den Phasen Design und Realisierung durch Benutzerevaluationen gemeinsam mit den Entwicklern und Benutzern aus den Projekten wearIT@work und RELATE überprüft werden. Den Entwicklern sollen die Evaluationen durch Rückmeldungen und Beobachtungen der Benutzer der Pariser Feuerwehr Erkenntnisse zur Überprüfung des umgesetzten Designs liefern. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in das Redesign der bisherigen Ansätze oder in das Design neuer Ansätze ein.

Für die Überprüfung der Simulationsplattform und der Indoor-Navigationsunterstützung in der Simulation werden Virtual Experience Prototyping Workshops veranstaltet. Sie sollen die Eignung der Simulationsplattform, realisiert durch FireSim, als Werkzeug für das Prototyping überprüfen. Dazu soll die realisierte Indoor-Navigationsunterstützung getestet werden. In einer verteilten Simulation mit mehreren Teilnehmern werden Gruppen von Feuerwehrleuten der Pariser Feuerwehr eingeladen, um den Entwicklungsstand des System auszuprobieren sowie Such- und Rettungsmissionen zu simulieren.

Diese Workshops dienen dazu, das gemeinsame Verständnis zu prüfen. Die Virtual Experience Prototyping Workshops, in denen die Simulationsplattform eingesetzt wird, überprüfen die bedarfsgerechte Entwicklung der Indoor-Navigationsunterstützung. Die Feuerwehrleute bekommen eine Vorstellung von der Designidee durch die Veranschaulichung des Gesamtsystems in der Simulation. Sie können offensichtliche Aspekte kritisieren und in der Simulation Probleme identifizieren, welche nur durch die praktische Verwendung in bestimmten Situationen erkannt werden können.

Während der Durchführung von Simulationen werden Daten durch Logging aufgezeichnet. Hierzu zählen für die Untersuchung relevante Daten, wie Positionen der Einsatzkräfte und LifeNet-Beacons, die ausgeworfen wurden. Weitere Informationen über das Verhalten der Benutzer werden durch Beobachtung mit Hilfe von Videoaufzeichnungen ermittelt. [Abbildung 6.1](#) zeigt den geplanten Aufbau eines Virtual Experience Prototyping Workshops für die verteilte Simulation mit mehreren Teilnehmern. Im Nebenraum wird das Mobile Command Post System aufgestellt, um Szenarien unter Einbeziehung des mobilen Einsatzleitstandes durchführen zu können.

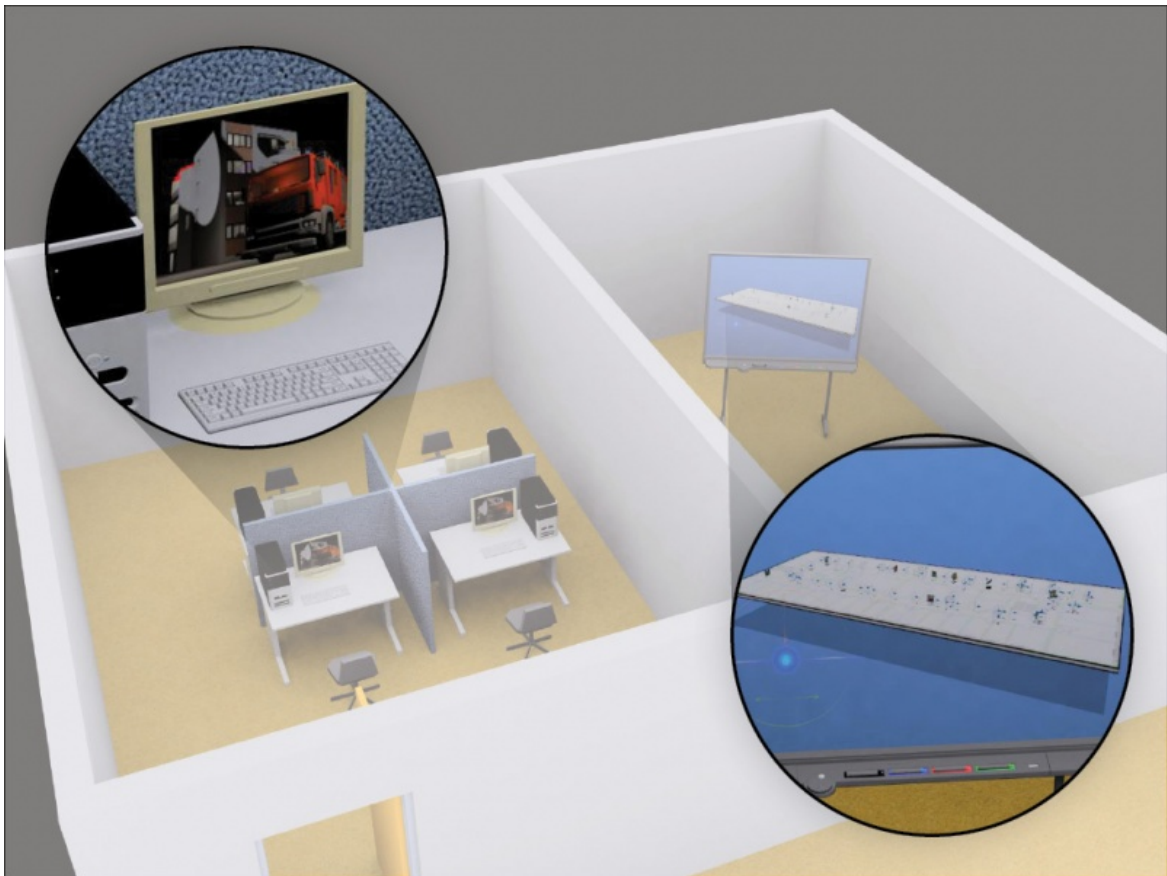


Abbildung 6.1: Virtual Experience Prototyping Workshop

Weitere Workshops, in Form von Trainingseinheiten auf dem Trainingsgelände der Pariser Feuerwehr, dienen zur Förderung des gemeinsamen Verständnisses aus der Sicht der Feuerwehrleute - insbesondere bei den Entwicklern.

## 6.1 Durchgeführte Workshops

Während der Entstehung dieser Arbeit wurden drei Workshops durchgeführt. Bei zwei Virtual Experience Prototyping Workshops wurden die Feuerwehrleute der Pariser Feuerwehr erstmalig mit der Simulation konfrontiert. Parallel wurden zum Teil Trainingseinheiten der Feuerwehrleute im realen Trainingshaus durchgeführt, um durch Beobachtung das Verständnis der Entwickler über Arbeitsabläufe und Suchstrategien zu verbessern. In einem weiteren Workshop wurde ein Atemschutztraining auf dem Trainingsgelände der Pariser Feuerwehr durchgeführt. Die durchgeführten Workshops werden in chronologischer Reihenfolge vor-

gestellt, da die Reihenfolge für die gedanklichen Prozesse der Entwickler von Bedeutung ist.

### 6.1.1 Workshop 1: Einzelbenutzer-System

Der erste Virtual Experience Prototyping Workshop im Rahmen dieser Arbeit wurde im Trainingzentrum der Pariser Feuerwehr durchgeführt. In der Offiziersmesse wurde ein Einzelbenutzer-System mit installierter FireSim Software aufgestellt. Dort wurde den Feuerwehrleuten die Möglichkeit gegeben, wie Abbildung 6.2 zeigt, die Simulation der Indoor-Navigationsunterstützung auszuprobieren. Die Teilnehmer der Trainingseinheiten, welche am gleichen Tag stattgefunden haben, wurden anschließend eingeladen FireSim und die Indoor-Navigationsunterstützung auszuprobieren. Während der Benutzung und durch anschließende Gespräche wurden erste Eindrücke gesammelt.

In dieser Evaluation wurde ausschließlich Prototyp 1 der Indoor-Navigationsunterstützung getestet. Um ein Gefühl für die Indoor-Navigationsunterstützung zu entwickeln, wurde ein Szenario inszeniert, in dem die Feuerwehrleute im virtuellen Trainingshaus unter schlechter Sicht durch Rauch hindurch ein Opfer finden sollen. Um den Nutzen des LifeNets für den Fall eines abgeschnittenen Rückweges zu demonstrieren, wurde die gespeicherte Konfiguration einer zuvor ausgelegten Lifeline aufgerufen. Auf diese Weise ließ sich dieses definierte Szenario wiederholt testen. Ein weiterer Grund war, dass die Simulation zu dem Zeitpunkt nur als Einzelbenutzer-System implementiert war und dadurch keine virtuelle Lifeline durch ein zweites Team ausgelegt werden konnte.

Um das Opfer des Szenarios zu finden, mussten die Feuerwehrleute eine Treppe hinauf gehen. Beim Opfer angekommen, wurde ein Ereignis ausgelöst, welches den Ausbruch eines Feuers auf dem Rückweg darstellte. Symbolisiert wurde das Feuer durch ein SimpleFire-Objekt (siehe 5.1.2.2) in Form eines Würfels, so dass der Rückweg nicht passiert werden konnte. Eine Abschaltung der LifeNet-Beacons der virtuellen Lifeline auf dem Weg des ausgebrochenen Feuers sorgte dafür, dass die Feuerwehrleute auf der zuvor ausgelegten Lifeline aus dem Gebäude hinaus auf eine Dach-Terrasse des virtuellen Gebäudes geführt wurden. Dieses Szenario hat den Benutzern die Idee des LifeNet-Konzeptes durch die Simulation vermittelt und hat zu angeregten Diskussionen und weiteren Ideen geführt.

Bereits in der ersten Sitzung wurde schnell klar, wie wichtig den Feuerwehrleuten das Abtasten der Wände mit den Händen zur Erkundung der Umgebung ist. Dies ist eine elementare Eigenschaft, welche den Feuerwehrleuten in der Simulation fehlte. Wie in 3.1.1.2 erwähnt, war bisher klar, dass sich in der Simulation nur in begrenztem Umfang haptische Eindrücke simulieren lassen, jedoch war den Entwicklern die Wichtigkeit der Haptik in diesem Umfang nicht bewusst. Dies zeigte deutlich die technischen Grenzen für die Erzeugung des Nutzerlebnisses.



Abbildung 6.2: Feuerwehrmann während der Simulation mit ausgelegten LifeNet-Beacons

Ein weiteres fehlendes Merkmal aus der Arbeitspraxis der Feuerwehrleute war die Möglichkeit sich in der Simulation im „Entengang“ in Bodennähe zu bewegen. Die Benutzer aus Reihen der Feuerwehr versuchten ständig, nach unten zu schauen und wollten in die Hocke gehen, da in der Praxis in Bodennähe häufig bessere Sichtverhältnisse vorliegen. In der Simulation war nur ein aufrechter Gang möglich, welcher in der Praxis nicht sinnvoll ist.

Einigen Benutzern wurden über Kopfhörer permanente Sprachanweisungen mit Navigationsinformationen gegeben. Dies führte schnell zu einer Überlastung und zu genervten Reaktionen, da die Anweisungen ohne Unterbrechung ausgegeben wurden. Dadurch wurde die Vermutung bestätigt, dass die Navigationsanweisungen auf ein sinnvolles Minimum beschränkt werden müssen, damit die Benutzer nicht überlastet werden.

Der Workshop führte zu Veränderungen im Verständnis der Entwickler von RELATE und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, über das Ziel des LifeNet-Konzeptes in der Anwendung. Die Entwickler konnten die Simulation selbst ausprobieren, die Benutzer beobachten und mit ihnen diskutieren. Alle Beteiligten entwickelten ein Verständnis für die Bedürfnisse der Anwender und die Leistungsfähigkeit der Technik. Die Si-

mulationsplattform diene als Kommunikationsplattform für Entwickler und Benutzer. Durch die Rückmeldungen der Benutzer zeichneten sich Trends für die folgende Entwicklung ab.

### 6.1.2 Workshop 2: Atemschutztraining der Entwickler

Um das gemeinsame Verständnis zu vertiefen und die Bedürfnisse von Feuerwehrleuten in Feuerwehreinsätzen, speziell unter Atemschutzausrüstung, besser zu verstehen, wurde ein Atemschutztraining durchgeführt. Die Entwickler sind in die Rolle der Benutzer gestiegen, um am eigenen Körper zu erleben, was es bedeutet, mit Schutzkleidung und Atemschutzausrüstung ausgestattet zu sein und dabei die psychische und physische Belastung in einer simulierten Einsatzsituation zu erleben. Während des Trainings wurden die Teilnehmer mit der Ausrüstung vertraut gemacht und komplett ausgestattet. Es wurden Löschtechniken kurz erläutert und selbst ausprobiert. Durch ein gelegtes Feuer in einem Trainingscontainer bestand die Möglichkeit, die enorme Hitzestrahlung zu spüren und die Schutzwirkung der Schutzkleidung zu erleben. Im Anschluss konnten die Teilnehmer in einem unterirdischen Tunnel erfahren, was es bedeutet, in absoluter Dunkelheit in Schutzkleidung nur mit dem Tastsinn zu navigieren. Später wurde die Übung unter Atemschutzausrüstung mit einem kleinen Feuer und Rauch durchgeführt.

Dieses Training hat den Entwicklern deutlich gezeigt, welcher Stress in diesen Situationen erzeugt wird und dass die Aufnahmefähigkeit für Informationen in derartigen Situationen stark eingeschränkt ist. Wird ein Mensch in Situationen mit enormen Stress durch weitere Reize überfordert, kann dies zur Handlungsunfähigkeit oder zu Panik führen, welche eine Gefährdung der eigenen Person und weiterer Teammitglieder sowie für Opfer bedeuten kann.

Die letzte Trainingseinheit mit Feuer und Rauch führte bei dem Autor und Entwickler (Abb. 6.3) nach dem Anlegen der Atemschutzmaske zu einer panischen Reaktion, die sich im spontanen Herunterreißen der Atemschutzmaske äußerte. Ein erneuter Versuch führte beim Entwickler zum Abbruch der letzten Übung. Aus dieser Reaktion ist die Erkenntnis über die Auswirkungen des Stresses gewachsen. Es wurde deutlich, dass rationales Handeln unter Umständen nicht mehr möglich ist.

### 6.1.3 Workshop 3: Mehrbenutzer-System

Der zweite Virtual Experience Prototyping Workshop im Rahmen dieser Arbeit wurde in der Zentrale der Pariser Feuerwehr (BSPP) durchgeführt. Bei den Teilnehmern handelt es sich um Feuerwehrleute höheren Grades, welche in Such- und Rettungsmissionen derzeit nicht praktisch tätig sind. In einem Besprechungsraum wurde das System zur Simulation mit vier vernetzten Computern aufgestellt.



Abbildung 6.3: Autor und Entwickler in Atemschutzrüstung

Zu Beginn des Workshops wurde den Teilnehmern mit Hilfe des in [3.1.1.1](#) genannten Brettspiels das LifeNet-Konzept und die Idee von der virtuellen Lifeline veranschaulicht. In der anschließenden Diskussion und Vorstellung der Indoor-Navigationsunterstützung sowie den beiden Designideen Prototyp 1 und Prototyp 2 wurden die Feuerwehrleute über ihre Meinung befragt. In der Diskussion stellte sich der Prototyp 2 mit der kartenbasierten Darstellung als Favorit heraus. Die Begründung ist der bessere Überblick über das umliegende LifeNet und das damit verbundene Gefühl von Unabhängigkeit, welches Sicherheit vermittelt. Einer der Teilnehmer favorisierte Prototyp 1 mit der routenbasierten Darstellung. Die Begründung ist der geringe Interpretationsaufwand durch den dargestellten Pfeil.

Im Anschluss wurde die realisierte Simulationsplattform FireSim vorgestellt. Die Benutzer konnten sich spielerisch mit FireSim vertraut machen und eine Vorstufe von Prototyp 1 ausprobieren, wie es [Abbildung 6.4](#) zeigt. Im Vordergrund des Workshops stand die Möglichkeit der verteilten Simulation mit dem Mehrbenutzer-System. Den Feuerwehrleuten wurde veranschaulicht, dass ein simulierter Feuerwehrmann LifeNet-Beacons auslegen und ein anderer Feuerwehrmann diese virtuelle Lifeline mitbenutzen kann. Dies gilt insbesondere, wenn die eigene Lifeline ausfallen sollte. Dieses Verhalten wurde simuliert und so der Nutzen des LifeNets veranschaulicht. Im Nachhinein wurden die Teilnehmer einzeln in Interviews befragt. Es wurde Hintergrundwissen und die Meinung über die Indoor-Navigationsunterstützung in Zusammenhang mit dem LifeNet-Konzept erfragt sowie Anregungen entgegengenommen.

Dieser Workshop hat das gemeinsame Verständnis über die Idee der Indoor-Navigationsunterstützung mit Hilfe des LifeNet-Konzeptes gefördert. Die Feuerwehrleute wurden in der



Abbildung 6.4: Workshop mit verteilter Simulation

Diskussion zum Nachdenken angeregt und haben eigene Ideen vorgetragen. Die Möglichkeit zur Nutzung von Abkürzungen durch die virtuelle Lifeline wurde durch die Feuerwehrleute zum Teil eigenständig erkannt.

# 7 Fazit

Im Fazit wird der Nutzen der Simulationsplattform für das Prototyping des Wearables für die Navigationsunterstützung erläutert. Hierbei liegt der Schwerpunkt in der Betrachtung der Simulationsplattform als Werkzeug und Kommunikationsplattform für die Entwickler und Benutzer aus den verschiedenen Disziplinen. Nachfolgend werden die Ergebnisse kritisch betrachtet und die Schwächen der Plattform für das Virtual Experience Prototyping erläutert. Der Ausblick gibt einen Überblick über die zukünftigen Einsatz und Entwicklungsmöglichkeiten der Simulationsplattform als Werkzeug für das Prototyping. Zudem werden weitere Designoptionen und Untersuchungsfragen für die Weiterentwicklung der Indoor-Navigationsunterstützung vorgestellt.

## 7.1 Zusammenfassung

Wie im Fazit der Analyse in [3.4](#) erläutert, soll in dem Teilprojekt Emergency Response des Projektes wearIT@work die Wearable-basierte Indoor-Navigationsunterstützung erforscht und entwickelt werden. Das System soll zur Unterstützung der Einsatzkräfte unter eingeschränkten Sichtverhältnissen dienen. Die Entwicklung von Systemen für die Domäne der Feuerwehr wird durch viele Faktoren beeinflusst. Das System wird durch die Entwickler aus unterschiedlichen Disziplinen und durch die Endbenutzer der Feuerwehr gemeinsam entwickelt. Dabei ist es wichtig, bei den Entwicklern und Benutzern ein gemeinsames Verständnis für das zu entwickelnde System aufzubauen, damit eine zielgerichtete und bedarfsgerechte Entwicklung erreicht wird. Außerdem ist es wichtig, den Zeit- und Kostenaufwand für den Test von Prototypen niedrig zu halten und dafür zu sorgen, dass der Test von Prototypen effektiv durchgeführt werden kann und brauchbare Untersuchungsergebnisse liefert.

Zur Unterstützung von Entwicklung und Prototyping wurde anhand des Beispiels der Indoor-Navigationsunterstützung eine Simulationsplattform entwickelt, welche den Ansatz des Virtual Experience Prototyping realisiert. Die Plattform dient als Werkzeug für das Prototyping und als Kommunikationsplattform für die Diskussion von Designideen. Sie dient den Entwicklern vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT und dem RELATE-Projekt



sowie den Benutzern der Pariser Feuerwehr als Hilfsmittel. Die Entwickler des Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT können anwendungsorientierte Designideen für die Verwendung der Indoor-Navigationsunterstützung im Zusammenhang mit dem LifeNet-Konzept mit Hilfe der Plattform zügig umsetzen und testen. Zudem dient die Plattform den Entwicklern aus dem RELATE-Projekt für den Test des Positionierungssystems, welches die Idee des LifeNet-Konzeptes realisiert. Den Benutzern der Feuerwehr Paris können neue Designansätze der Systeme mit Hilfe der Simulation veranschaulicht werden. Mit Hilfe der Simulation von Teilsystemen in einem Gesamtsystem wird das gemeinsame Verständnis der Entwickler und Benutzer für das Zielsystem unterstützt. Anhand der Veranschaulichung der Designideen der Entwickler gegenüber den Benutzern der Pariser Feuerwehr kann der Nutzen der Indoor-Navigationsunterstützung mit Unterstützung des LifeNets herausgestellt werden. Dies fördert das Vertrauen und reduziert den Widerstand gegen die neuen Technologien.

In der Simulation lassen sich die Systeme unabhängig von Ort und Zeit testen. Auf diese Weise lässt sich der Zeit- und Kostenaufwand für gemeinsame Zusammentreffen stark reduzieren. Der Aufwand für die Realisierung von physikalischen Prototypen und die Durchführung von realen Trainingseinheiten, für den Test dieser Prototypen, lässt sich auf ein Minimum reduzieren. Zudem ist die Aufzeichnung des Nutzererlebnisses und dessen Auswertung mit Hilfe der Simulationsplattform effektiv möglich. Die unabhängige Durchführung von Simulationen führt zu einer Verkürzung der Entwicklungszyklen, da Testergebnisse zügiger in den Entwicklungsprozess und das Redesign von Designideen einfließen können. Auf diese Weise entstehen gut getestete und benutzerfreundliche Systeme in hoher Qualität, welche das Erreichen einer guten Akzeptanz ermöglichen.

Die Simulationsplattform wurde als Hilfsmittel entwickelt, um den Entwicklungsprozess für das Beispiel der Wearable-basierten Indoor-Navigationsunterstützung für Such- und Rettungsmissionen zu unterstützen. Für die Entwicklung dieses Werkzeugs war ein Verständnis der Domänen der Entwickler und Endbenutzer der Indoor-Navigationsunterstützung notwendig. Um die Indoor-Navigationsunterstützung in der Simulation umzusetzen, musste das LifeNet-Konzept verstanden und in die Simulation eingebunden werden. Für die Inszenierung von Feuerwehreinsätzen wurden die benötigten Hilfsmittel für Such- und Rettungsmissionen in der Simulation realisiert.

Die Simulationsplattform FireSim ermöglicht die stellvertretende Simulation von Systemen, welche aufgrund ihres Entwicklungsstandes noch nicht in die Simulation eingebunden werden können. Durch die LifeNet-Simulation wird die Funktionalität nachgebildet, welche durch den MiXiM-Simulator erzeugt werden soll.

Die Architektur der Simulationsplattform und der Navigationsanwendung wurde flexibel gestaltet, sodass in der Simulation virtuelle Wearable Prototypen für die Indoor-Navigationsunterstützung getestet werden können. Außerdem kann die Navigationsanwendung auf dem

realen Wearable Prototyp ausgeführt werden. In diesem Fall kann sie zusammen mit der Simulationsplattform und der LifeNet-Simulation sowie mit dem realen LifeNet getestet werden.

In den durchgeführten Evaluationen hat sich die Simulationsplattform als hilfreiches Werkzeug erwiesen. In einer frühen Entwicklungsstufe hat die Simulationsplattform die Evaluation des Mobile Command Post Systems im Rahmen der Diplomarbeit von [Habelski \(2007\)](#) unterstützt. Sie diente der Versorgung des MCP-Systems mit Informationen, damit Rettungsszenarien durchspielt werden konnten.

Die durchgeführten Workshops, welche in [6.1](#) beschrieben werden, zeigten, dass die Simulationsplattform als Werkzeug für die Förderung eines gemeinsamen Verständnisses der Entwickler und Benutzer geeignet ist. Sie zeigten zudem, dass die Plattform gut geeignet ist, um den Nutzen einer Designidee wie der Indoor-Navigationsunterstützung hervorzuheben. Mit Hilfe der Simulation wurden die Feuerwehrleute in ihnen bekannte Situationen von Such- und Rettungsmissionen versetzt und mit neuer Technologie konfrontiert. Sie waren in der Lage sich in die Situationen hinein zu versetzen sowie die neue Technologie in ihre Handlungen und Denkweisen einzubinden. Durch das resultierende Verständnis des LifeNet-Konzeptes und der darauf basierenden Indoor-Navigationsunterstützung konnten die Feuerwehrleute Kritik üben und neue Ideen einbringen. Das zeigt, dass die Erzeugung eines situativen Effektes mit FireSim möglich ist. Durch Beobachtung und Diskussion wurde das Verständnis über die Arbeitsweisen der Feuerwehrleute bei den Entwicklern vertieft und Punkte, in denen die Simulation nicht die Erwartungen erfüllt, wurden erläutert. Dies betrifft beispielsweise die geduckte Haltung im Entengang, beschrieben in [6.1.1](#), welche in der Simulation nicht berücksichtigt war, weil diese Vorgehensweise den Entwicklern der Simulationsplattform nicht bekannt war.

Der Ansatz von verteilten Simulationen, welche, wie in [3.1.1.2](#) beschrieben, insbesondere unbeaufsichtigt stattfinden können, wurde im Rahmen des Workshops 3 [6.1.3](#) realisiert. In einer Feuerwache der Pariser Feuerwehr wurden zwei Computersysteme installiert, damit die Feuerwehrleute jederzeit unbeaufsichtigte Simulationen durchführen können. Dies ermöglicht den Test neuer Prototypen, welche durch die Entwickler erstellt werden und beispielsweise die verteilte Simulation an mehreren Standorten über das Internet.

## 7.2 Kritische Betrachtung

Wie bereits in der Analyse [3.1.1](#) beschrieben, haben die verschiedensten Prototypingmethoden unterschiedliche Stärken und Schwächen. Die Eigenschaften sollten bekannt sein, damit die Methoden sinnvoll eingesetzt werden können und brauchbare Untersuchungsergebnisse liefern. Während der Entwicklung der Plattform und insbesondere während der Workshops

zur Evaluation haben sich die zuvor erwähnten Stärken und Schwächen des Systems bzw. des Ansatzes des Virtual Experience Prototyping gezeigt. In 3.1.1.2 wurde bereits erwähnt, dass sich in der Simulation nur in begrenztem Umfang haptische Eindrücke simulieren lassen. Die Wichtigkeit dieser Eigenschaft für die Simulation von Such- und Rettungsmissionen wurde, wie in 6.1.1 beschrieben, jedoch unterschätzt.

Die Umsetzung des Virtual Experience Prototyping mit FireSim ermöglicht eine verteilte Simulation und dadurch eine verteilte Entwicklung - unabhängig von Ort und Zeit. Die Sprachbarriere zwischen den Projektpartnern, welche in Deutsch, Englisch und Französisch kommunizieren, stellt weiterhin eine große Hürde dar. Insbesondere die Kommunikation mit den französischen Projektpartnern war nur durch wenige Personen möglich und hat zu einem erschwerten Informationsfluss geführt. Die Kommunikationsschwierigkeiten konnten teilweise mit Hilfe der Simulation ausgeglichen werden, da mit ihrer Hilfe das Verständnis gefördert wird.

Der Aufwand, der betrieben wird, um die in 3.1.1.2 beschriebene Authentizität der Simulation herzustellen, ist nur schwer messbar. Das angemessene Verhältnis zwischen benötigtem Umfang für ausreichenden Realismus der Simulation und dem Entwicklungsaufwand ist schwer zu bestimmen.

Die konkrete Umsetzung von FireSim und der Navigationsanwendung mit Ogre ermöglicht, wie in 5.2.1 beschrieben, die flexible Portierung der Anwendung zwischen der Simulationsplattform und dem realen Wearable Prototyp. Der Test von beliebigen Anwendungen, welche auf anderen Programmiersprachen basieren, ist in der eingebetteten Simulation in dieser Form nicht möglich und auf den Einsatz von Ogre beschränkt. Dadurch ist die flexible Portierung dieser Anwendungen nicht möglich. Zur Lösung dieses Problems wird eine Komponente benötigt, welche beliebige Anwendungsfenster in einem Viewport innerhalb der Simulation darstellen kann.

### 7.3 Ausblick

Die Simulationsplattform wird für die Weiterentwicklung der Indoor-Navigationsunterstützung und zukünftige Anwendungen als Werkzeug verwendet. Für die Entwicklung der Indoor-Navigationsunterstützung mit Hilfe der Simulationsplattform sollten Komponenten, die bisher noch nicht fertig gestellt wurden, wie der MiXiM-Simulator, in das System integriert werden. Die Speicherung von Szenarien in Form von Konfigurationen kann weiter ausgebaut werden, damit unterschiedliche Szenarien konfiguriert und abgerufen werden können. Das System lässt sich durch die offene COTS-Architektur der Simulationsplattform erweitern, wie z. B. durch für das Logging spezialisierte Komponenten (DLIB, 2008), um die Möglichkeiten für das Logging und spätere Auswertungen zu erweitern.

Die Plattform wird im Projekt wearIT@work in Zusammenarbeit mit dem RELATE-Projekt in Zukunft weiter verwendet, um weitere Designfragen für das LifeNet und dessen Realisierung durch RELATE zu klären. Dabei lassen sich verschiedene Routingalgorithmen, wie beispielsweise Dykstra, A\* und Shortest Path auf Ihre Eignung testen sowie ihre Vor- und Nachteile vergleichen. Es lässt sich prüfen, ob die Feuerwehrleute klar bevorzugte Rückzugsstrategien nach Kriterien, wie kürzester, kühlster oder bekanntester Rückzugspfade, verfolgen. Weitere Fragen und Designideen für die Realisierung und Weiterentwicklung des LifeNet-Konzeptes sind:

- Wie dicht müssen die LifeNet-Beacons ausgelegt werden?
- Was passiert, wenn ein LifeNet-Beacon im Bereich einer Tür liegt und von der Tür weg geschoben wird?
- Wie Hitzbeständigkeit muss ein LifeNet-Beacon sein?
- Was passiert, wenn die Funksignale von LifeNet-Beacons durch Metalltüren abgeschattet werden?
- Was passiert, wenn Personen LifeNet-Beacons weg treten?
- Eignet sich eine Integration von LifeNet-Beacons in die reale Lifeline?

Konkrete mechanische Umsetzungen des Beacon-Dispensers und der LifeNet-Beacons, welche durch den Projektpartner BIBA (2007) entwickelt werden, lassen sich vor der Erstellung physikalischer Prototypen in die Simulation einbinden und testen. Zukünftig ist auch die Einbindung alternativer oder zusätzlicher Positionierungssysteme möglich, wie beispielsweise mit Hilfe von Dead Reckoning<sup>1</sup> (Beauregard, 2007).

Die Plattform wird dazu verwendet, weitere Systeme und Wearable Prototypen zu entwickeln und in der Simulation zu testen, wie in der Masterarbeit von Stein (2008) beschrieben wird. Außerdem werden die Wearable Prototypen für die Indoor-Navigationsunterstützung weiterentwickelt und weitere Designideen in Form weiterer Prototypen in der Simulation getestet. Das Hinzuziehen von Experten für Fußgänger- und Indoor-Navigation ermöglicht eine zielgerichtete Weiterentwicklung. Mit Hilfe der Simulation kann diesen Experten der Sachverhalt leicht verständlich erläutert werden und gezielt Rat eingeholt werden. Für die Weiterentwicklung der Indoor-Navigationsunterstützung bzw. der Navigationsanwendung bestehen viele offene Fragen und Möglichkeiten, welche in der Zukunft betrachtet werden sollten:

- Vermittlung von Informationen mit geeigneter multimodaler Interaktion, insbesondere mit taktiler (ERP u. a., 2005) sowie auditiver Interaktion (Deketelaere, 2004; Loomis u. a., 1998) und die Erkundung von Präferenzen (Liu u. a., 2006) der Benutzer.

---

<sup>1</sup>Koppelnavigation

- Weitere Ansätze für die multimediale Informationsdarstellung wie beispielsweise durch Augmented Reality<sup>2</sup> (Narzt u. a., 2004).
- Dynamische Anpassung des Informationsgehaltes in Abhängigkeit von der körperlichen Verfassung des Benutzers.
- Integration von Sprachkommunikation.
- Integration des JPIP-Protokolls (JPEG, 2008) für die Bildübertragung und Verbesserung der Sehfähigkeit (Gerling, 2006).

Zukünftige Evaluationen sollten gut vorbereitet werden, damit sich qualitative und quantitative Auswertungen durchführen lassen. Die qualitativen Bewertungen können im Interview oder durch Fragebögen ermittelt werden, indem die Kandidaten der Untersuchung auf einer Skala eine Bewertung abgeben, die z. B. ihre Zufriedenheit in der Benutzung des Systems bewerten. Quantitative Bewertungen sind in der Regel messbare Größen wie Effektivität und Effizienz. Weitere Messungen lassen sich durch einen Recall Test (Aslan u. a., 2006) durchführen, welcher für die Überprüfung von aufgebautem Routen- und Umgebungswissen dient. Es lassen sich quantitative Größen ermitteln, indem die Benutzer der Indoor-Navigationsunterstützung Wegpunkte aus dem Gedächtnis in eine Karte einzeichnen und die Abweichung zu den tatsächlichen Punkten gemessen wird. Durch diese und weitere Methoden lassen sich statistische Auswertung erstellen und dadurch die Benutzbarkeit und Akzeptanz von Prototypen messen.

---

<sup>2</sup>Erweiterte Realität

# Literaturverzeichnis

- [Abowd u. a. 2005] ABOWD, Gregory D. ; HAYES, Gillian R. ; IACHELLO, Giovanni ; KIENTZ, Julie A. ; PATEL, Shwetak N. ; STEVENS, Molly M. ; TRUONG, Khai N.: Prototypes and Paratypes: Designing Mobile and Ubiquitous Computing Applications, IEEE CS and IEEE ComSoc - Pervasive Computing, 2005, S. 67–73
- [Abowd und Mynatt 2000] ABOWD, Gregory D. ; MYNATT, Elizabeth D.: Charting Past, Present, and Future Research in Ubiquitous Computing, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, March 2000, S. 29–58
- [ACE Studios 2007] ACE STUDIOS: *oFusion*. Online. 2007. – URL <http://www.ofusiontechnologies.com/>. – Zugriffsdatum: 13.12.2007
- [Aginsky u. a. 1997] AGINSKY, V. ; HARRIS, C. ; RENSINK, R. ; BEUSMANS, J.: Two strategies for learning a route in a driving simulator. In: *Journal of Environmental Psychology* 17 (1997), S. 317–331
- [Alexander 2002] ALEXANDER, I.: Book review of Michael Polanyi's 'The Tacit Dimension'. In: *Requireonautics Quarterly* 25 (2002)
- [Amft u. a. 2004] AMFT, O. ; LAUFFER, M. ; OSSEVOORT, S. ; MACALUSO, F. ; LUKOWICZ, P. ; TRÖSTER, G.: Design of the QBIC wearable computing platform Wearable Computing Lab, Fed. Inst. of Technology, Zurich, Switzerland. In: *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors*, 2004
- [Aslan u. a. 2006] ASLAN, Ilhan ; SCHWALM, Maximilian ; BAUS, Jörg ; KRÜGER, Antonio ; SCHWARTZ, Tim: Acquisition of Spatial Knowledge in Location Aware Mobile Pedestrian Navigation Systems. In: *MobileHCI'06*, 2006
- [Atenschutzunfälle 2007] ATEMSCHUTZUNFÄLLE: *Atenschutzunfälle*. 2007. – URL <http://www.atenschutzunfaelle.de>. – Zugriffsdatum: 09.08.2007
- [Autodesk 2007a] AUTODESK: *Autodesk*. Online. 2007. – URL <http://www.autodesk.de>. – Zugriffsdatum: 13.12.2007
- [Autodesk 2007b] AUTODESK: *Autodesk 3ds Max*. Online. 2007. – URL [www.autodesk.de/3dsmax](http://www.autodesk.de/3dsmax). – Zugriffsdatum: 13.12.2007

- [Azuma u. a. 2001] AZUMA ; BAILLOT ; BEHRINGER ; FEINER ; JULIER ; MACINTYRE: Recent Advances in Augmented Reality. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* (2001), S. 34–37
- [Bardram u. a. 2002] BARDRAM, Jakob ; BOSSEN, Claus ; LYKKE-OLESEN, Andreas ; NIELSEN, Rune ; MADSEN, Kim H.: Virtual Video Prototyping of Pervasive Healthcare Systems. In: *Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*, ACM Press, 2002, S. 167–177
- [Beauregard 2007] BEAUREGARD, Stephane: Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders. In: *4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WP-NC '07)*. Hannover, Germany,, 2007, S. 33–36
- [BIBA 2007] BIBA: *Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH*. Online. 2007. – URL <http://www.biba.uni-bremen.de/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Boronowsky u. a. 2005] BORONOWSKY, Michael ; HERZOG, Otthein ; KNACKFUSS, Peter ; LAWOW, Michael: *wearIT@work: Empowering the Mobile Worker by Wearable Computing the First Results*. Online. 2005. – URL [http://www.tzi.de/fileadmin/user\\_upload/wearlab/downloads/wearlab-Publication/Empowering\\_the\\_Mobile\\_Worker\\_by\\_Wearable\\_Computing\\_2005-Boronowsky.pdf](http://www.tzi.de/fileadmin/user_upload/wearlab/downloads/wearlab-Publication/Empowering_the_Mobile_Worker_by_Wearable_Computing_2005-Boronowsky.pdf). – Zugriffsdatum: 25.11.2007
- [Bretschneider u. a. 2006] BRETSCHNEIDER, Nora ; BRATTKE, Simon ; REIN, Karlheinz: Head Mounted Displays for Fire Fighters. Carl Zeiss AG, Oberkochen Research Center, 73446 Oberkochen, Germany : Mobile Research Center, TZI Universität Bremen, Deutschland, März 2006. – URL [http://www.wearitatwork.com/Carl\\_Zeiss\\_See\\_Through\\_HMD.174.0.html](http://www.wearitatwork.com/Carl_Zeiss_See_Through_HMD.174.0.html)
- [Brunner-Friedrich und Radoczky 2005] BRUNNER-FRIEDRICH, Beatrix ; RADOZKY, Verena: Active Landmarks in Indoor Environments. In: *Visual Information and Information Systems* Bd. 3736/2006. Amsterdam, The Netherlands : Springer Berlin / Heidelberg, Dezember 2005, S. 203–215
- [BSPP 2007a] BSPP: *La Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris*. Online. 2007. – URL <http://www.pompiersparis.fr/accueil.htm>. – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [BSPP 2007b] BSPP: *Nouveaux et futurs matériels*. Online. 2007. – URL <http://www.pompiersparis.fr/actuas/mars20064.pdf>. – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [Buchenau und Suri 2000] BUCHENAU, Marion ; SURI, F.: Experience prototyping. In: *Proceedings of the conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods and techniques*. New York City, New York, United States : ACM Press, 2000

- [Burnett 1998] BURNETT, G.E.: *"Turn Right at the King's Head". Drivers' Requirements for Route Guidance Information.*, Loughborough University, Dissertation, November 1998. – URL <http://www.cs.nott.ac.uk/~geb/GEB-PHD.pdf>
- [Butz u. a. 2001] BUTZ, Andreas ; BAUS, Joerg ; KRUEGER, Antonio ; LOHSE, Marco: A hybrid indoor navigation system. In: *IUI '01: Proceedings of the 6th international conference on Intelligent user interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2001, S. 25–32. – ISBN 1-58113-325-1
- [Carl Zeiss AG Deutschland 2007] CARL ZEISS AG DEUTSCHLAND: *Zeiss - We make it visible*. Online. 2007. – URL <http://www.zeiss.de/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Castaneda 2007] CASTANEDA, Phillip: *Object Oriented Input System*. Online. 2007. – URL <http://sourceforge.net/projects/wgois>. – Zugriffsdatum: 18.12.2007
- [CEGUI 2007] CEGUI: *Crazy Eddie's GUI System*. Online. 2007. – URL [http://www.cegui.org.uk/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.cegui.org.uk/wiki/index.php/Main_Page). – Zugriffsdatum: 18.12.2007
- [Ceperley u. a. 2002] CEPERLEY, Daniel ; NGUYEN, Minh D. ; PEREZ-LOPEZ, Andrew ; THOMAS, Arun: *LifeLine: Improved Communication and Informatics for Fire and Rescue Workers / University of Virginia*. URL [http://www.computer.org/portal/cms\\_docs\\_ieeeecs/ieeeecs/education/csidc/2002ProjectReport/UVA.pdf](http://www.computer.org/portal/cms_docs_ieeeecs/ieeeecs/education/csidc/2002ProjectReport/UVA.pdf), Mai 2002. – Forschungsbericht
- [Davis 1995] DAVIS, A. M.: Software Prototyping. In: *Advances in Computers* 40 (1995)
- [Deketelaere 2004] DEKETELAERE, Stéphane: How to take advantage of voice in wearable computer context. In: *Proceedings of the 1st International Forum on Applied Wearable Computing IFAWC 2004 TZI - Bericht Nr. 30*. Bremen : Michael Boronowsky (Hrsg.), 2004, S. 85–96. – URL [http://www.tzi.de/fileadmin/resources/publikationen/tzi\\_berichte/TZI-Bericht-Nr.\\_30.pdf](http://www.tzi.de/fileadmin/resources/publikationen/tzi_berichte/TZI-Bericht-Nr._30.pdf). – Zugriffsdatum: 28.02.2006
- [DLIB 2008] DLIB: *Digital Library XML Logging Standard and Tools*. Online. 2008. – URL <http://www.dlib.vt.edu/projects/DLLogging/>. – Zugriffsdatum: 06.01.2008
- [ERP u. a. 2005] ERP, JAN B. F. V. ; VEEN, HENDRIK A. H. C. V. ; JANSEN, CHRIS ; DOBBINS, TREVOR: Waypoint Navigation with a Vibrotactile Waist Belt, *ACM Transactions on Applied Perception*, 2005, S. 106 – 117
- [Fickas u. a. 1997] FICKAS, Steve ; KORTUEM, Gerd ; SEGALL, Zary: *Software Issues in Wearable Computing*. 1997. – Wearable Computing Research Group - University of Oregon



- [FIRE 2007] FIRE: *FIRE project*. Online. 2007. – URL <http://fire.me.berkeley.edu/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Fraunhofer FIT 2006] FRAUNHOFER FIT: *VXP-Seminar*. Online. 2006. – URL <http://vxp.fit.fraunhofer.de/index.html>. – Zugriffsdatum: 18.12.2007
- [Fraunhofer FIT 2007] FRAUNHOFER FIT: *Fraunhofer Institut für angewandte Informationstechnik*. Online. 2007. – URL <http://www.fit.fraunhofer.de>. – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [Furui 2000] FURUI, Sadaoki: Speech recognition technology in the ubiquitous/wearable computing environment. In: *Proc. ICASSP2000* Bd. 6. Istanbul, Turkey, 6 2000, S. 3735–3738
- [Gerling 2006] GERLING, Mirco: *Bildnavigation mit Head Mounted Display - Einsatzunterstützung für die Feuerwehr*. August 2006
- [Gregor 2006] GREGOR, Sebastian: *Entwicklung einer Hardwareplattform für die Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von Gebäuden*. Online. 2006. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/bachelor/gregor.pdf>. – Bachelorarbeit, Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Grimm 2007] GRIMM, Philipp: *Erstellen einer GUI mit der CeGUI Library*. Projektgruppe Virtual eXperience Platform. August 2007. – Seminararbeit
- [Grimm 1812] GRIMM, Wilhelm: *Hänsel und Gretchen*. 1812
- [Habelski 2007] HABELSKI, Stefan: *A Design Study in 3D User Interface for Large Interactive Displays*, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut für Simulation und Graphik, Diplomarbeit, März 2007
- [HandyKey 2007] HANDYKEY: *Twiddler2*. Online. 2007. – URL <http://www.handykey.com/site/twiddler2.html>. – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [Hazas u. a. 2005] HAZAS, Mike ; KRAY, Christian ; GELLERSEN, Hans ; AGBOTA, Henoc ; KORTUEM, Gerd ; KROHN, Albert: *A relative positioning system for co-located mobile devices*. 2005
- [HEAT 2007] HEAT: *Hazard Emergency and Accident Training*. Online. 2007. – URL [http://cle.usu.edu/CLE\\_HEAT.html](http://cle.usu.edu/CLE_HEAT.html). – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [Hinck 2008] HINCK, Steffen: *Prototypische Entwicklung eines 3D-Eingabegerätes für stationäre und mobile Anwendungen*. Online. 2008. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/papers.html>. – Masterarbeit, In Vorbereitung

- [ISO/IEC-13407 1999] ISO/IEC-13407: *ISO/IEC. 13407 Human-Centered Design Processes for Interactive Systems*. 1999
- [JPEG 2008] JPEG: *JPEG 2000 Our New Standard*. Online. 2008. – URL <http://www.jpeg.org/jpeg2000/>. – Zugriffsdatum: 09.01.2008
- [Kerttula und Tokkonen 2001] KERTTULA, Mikko ; TOKKONEN, Timo: Virtual Design of Multiengineering Electronics Systems. In: *Computer* 34 (2001), Nr. 11, S. 71–79. – ISSN 0018-9162
- [Kitchin und Blades 2001] KITCHIN, R. ; BLADES, M.: *The cognition of geographic space*. I. B. Tauris, 2001
- [Klann 2007a] KLANN, Markus: Design Challenges for Wearable Computing. In: KENN, Holger (Hrsg.) ; WITT, Hendrik (Hrsg.): *Nomadische und Wearable-Benutzungsschnittstellen: Entwurfs- und Evaluationsprinzipien für zukünftige Anwendungen* Bd. 44, TZI Bremen, September 2007, S. 47–52. – Workshop im Rahmen der Mensch und Computer 2007
- [Klann 2007b] KLANN, Markus: Playing with fire: participatory design of wearable computing for fire fighters. In: *CHI '07: CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2007, S. 1665–1668. – ISBN 978-1-59593-642-4
- [Klann 2008] KLANN, Markus: *Playing With Fire: Participatory Design of Wearable Computing for Fire Fighters*, Universität Siegen, Dissertation, 2008. – In Vorbereitung
- [Klann u. a. 2006] KLANN, Markus ; RAMIREZ, Leonardo ; LEHNHOFF, Andreas ; DYRKS, Tobias: Playing with Fire: towards virtual prototyping of wearable computing for highly situated contexts of use IFAWC (Veranst.), Mobile Research Center, TZI Universität Bremen, Deutschland, März 2006
- [Klann u. a. 2007] KLANN, Markus ; RIEDEL, Till ; GELLERSEN, Hans ; FISCHER, Carl ; OPPENHEIM, Matt ; LUKOWICZ, Paul ; PIRKL, Gerald ; KUNZE, Kai ; BEUSTER, Monty ; BEIGL, Michael ; VISSER, Otto ; GERLING, Mirco: *LifeNet: an Ad-hoc Sensor Network and Wearable System to Provide Firefighters with Navigation Support*. September 2007. – URL <http://eis.comp.lancs.ac.uk/fileadmin/eis/publication/2007-LifeNet.pdf>
- [Krüger u. a. 2004] KRÜGER, A. ; ASLAN, I. ; ZIMMER, Hubert D.: The Effects of Mobile Pedestrian Navigation Systems on the Concurrent Acquisition of Route and Survey Knowledge. In: *Mobile Human-Computer Interaction (MobileHCI 2004)* Bd. 3160/2004, Springer Berlin / Heidelberg, 2004, S. 446–450

- [Kyng u. a. 2006] KYNG, Morten ; NIELSEN, Esben T. ; KRISTENSEN, Margit: Challenges in designing interactive systems for emergency response. In: *Proceedings of the 6th ACM conference on Designing Interactive systems*. University Park, PA, USA, 2006, S. 301–310
- [Lipp und Lauritz 2004] LIPP ; LAURITZ, L.: Kap. 3.6. In: *Interaktion zwischen Mensch und Computer im Ubiquitous Computing*, LIT Verlag, 2004. – ISBN 3-8258-7938-0
- [Liu u. a. 2006] LIU, Alan L. ; HILE, Harlan ; KAUTZ, Henry ; BORRIELLO, Gaetano: Indoor Wayfinding: Developing a Functional Interface for Individuals with Cognitive Impairments. In: *ASSETS '06*, October 2006
- [Loomis u. a. 1998] LOOMIS, J. M. ; GOLLEDGE ; KLATZKY: Navigation systems for the blind: auditory display modes and guidance. In: *Pres Teleop Virt Environ*, 1998
- [Maner 1997] MANER, W.: *Prototyping*. Online. 1997. – URL <http://cswb.cs.bgsu.edu/maner/domains/Proto.htm>. – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [May u. a. 2003] MAY, Andrew J. ; ROSS, Tracy ; BAYER, Steven H. ; TARKIAINEN, Mikko J.: Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications. In: *Pers Ubiquit Comput* 7 (2003), S. 331–338
- [Microoptical 2006] MICROOPTICAL: Online. 2006. – URL <http://www.microoptical.net/Products/HomePage.html>. – Zugriffsdatum: 27.02.2006
- [MiXiM project 2007] MiXiM PROJECT: *MiXiM*. Online. 2007. – URL <http://mixim.sourceforge.net/>. – Zugriffsdatum: 19.12.2007
- [Monte Christo Games 2007] MONTE CHRISTO GAMES: *Fire Department 2*. Online. 2007. – URL <http://www.montecristogames.com/en/released-fire-department-2.html>. – Zugriffsdatum: 20.11.2007
- [Multitel ASBL 2007] MULTITEL ASBL: *Multitel: Research Centre in Telecommunications, Signal and Image Processing*. Online. 2007. – URL <http://www.multitel.be/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Narzt u. a. 2004] NARZT, W. ; FERSCHA, A. ; KOLB, D. ; MÜLLER, R. ; WIEGHARDT, J.: *User-Centered Interaction Paradigms for Universal Access in the Information Society*. Kap. A New Visualization Concept for Navigation Systems, S. 440–451, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2004
- [Naumann und Jenkins 1982] NAUMANN, J. D. ; JENKINS, A. M.: Prototyping: The New Paradigm for Systems Development. In: *MIS Quaterly* 6(3) (1982)
- [Nishikawa u. a. 2006] NISHIKAWA, Hiroshi ; YAMAMOTO, Shinya ; TAMAI, Morihiko ; NISHIGAKI, Kouji ; KITANI, Tomoya ; SHIBATA, Naoki ; YASUMOTO, Keiichi ; ITO, Minoru: *Ubi-Comp 2006: Ubiquitous Computing*. Kap. UbiREAL: Realistic Smartspace Simulator for

- Systematic Testing, S. 459–476, Springer Berlin / Heidelberg, 2006 (Lecture Notes in Computer Science). – URL <http://ubireal.org/>
- [Norman und Draper 1986] NORMAN, D. ; DRAPER, S.: *User Centered Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. 1986
- [NxOgre 2007] NXOGRE: *NxOgre*. Online. 2007. – URL <http://www.nxogre.org/>. – Zugriffsdatum: 13.12.2007
- [OGRE3D 2007] OGRE3D: *OGRE 3D: Open source graphics engine*. Online. 2007. – URL <http://www.ogre3d.org>. – Zugriffsdatum: 27.11.2007
- [OgreAL 2007] OGREAL: *OgreAL*. Online. 2007. – Zugriffsdatum: 13.12.2007
- [OpenAL 2007] OPENAL: *Cross-Platform 3D Audio*. Online. 2007. – URL <http://www.openal.org/>. – Zugriffsdatum: 13.12.2007
- [OQO 2007] OQO: *OQO*. Online. 2007. – URL <http://www.oqo.com>. – Zugriffsdatum: 21.12.2007
- [OWCG 2007] OWCG: *The Open Wearable Computing Group*. Online. 2007. – URL <http://www.owcg.org/>. – Zugriffsdatum: 28.12.2007
- [PalCom 2007] PALCOM: *palcom //making computing palpable*. Online. 2007. – URL <http://www.ist-palcom.org/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Pfaff 2007] PFAFF, Thomas: *Entwicklung eines PDA-basierten Indoor-Navigationssystems*. Online. 2007. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/bachelor/pfaff.pdf>. – Bachelorarbeit, Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [PhysX 2007] PHYSX, AGEIA: *Informationen über AGEIA PhysX*. Online. 2007. – URL <http://www.ageia.com/de/index.html>. – Zugriffsdatum: 13.12.2007
- [Plummer 2004] PLUMMER, Jeff: *A FLEXIBLE AND EXPANDABLE ARCHITECTURE FOR COMPUTER GAMES*. Online. Dezember 2004. – URL [http://www.gamasutra.com/education/theses/20051018/plummer\\_thesis.pdf](http://www.gamasutra.com/education/theses/20051018/plummer_thesis.pdf). – Masterarbeit - Zugriffsdatum: 05.01.2008
- [Polanyi 1967] POLANYI, Michael: *The Tacit Dimension*. Garden City, New York : Anchor Books, Doubleday and Company., 1967
- [Radoczky 2007] RADO CZKY, Verena: *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Bd. Section IV: *Location Based Services and TeleCartography*. Kap. How to design a pedestrian navigation system for indoor and outdoor environments, S. 301–316, Springer Berlin Heidelberg, 2007

- [RakNet 2008] RAKNET: *Multiplayer game network engine*. Online. 2008. – URL <http://www.rakkarsoft.com/>. – Zugriffsdatum: 14.01.2008
- [Reilly u. a. 2005] REILLY, Derek ; DEARMAN, David ; WELSMAN-DINELLE, Michael ; INKPEN, Kori: Evaluating Early Prototypes in Context: Trade-offs, Challenges, and Successes, IEEE CS and IEEE ComSoc - Pervasive Computing, 2005, S. 42–50
- [RELATE 2007] RELATE: *RELATE : RELATIVE POSITIONING OF MOBILE OBJECTS IN AD HOC NETWORKS*. Online. November 2007. – URL <http://ubicomp.lancs.ac.uk/index.php/relate>. – Zugriffsdatum: 20.11.2007
- [Repo u. a. 2005] REPO, Pertti ; KERTTULA, Mikko ; SALMELA, Marko ; HUOMO, Heikki: Virtual Product Design Case Study: The Nokia RFID Tag Reader, IEEE CS and IEEE ComSoc - Pervasive Computing, 2005, S. 95–99
- [Rettig 1994] RETTIG, Marc: Prototyping for tiny fingers. In: *Commun. ACM* 37 (1994), Nr. 4, S. 21–27. – ISSN 0001-0782
- [Rhodes 1998] RHODES, Bradley: WIMP Interface Considered Fatal. In: *In the Proceedings of the 1998 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, satellite Workshop on Interfaces for Wearable Computers*, URL <http://alumni.media.mit.edu/~rhodes/Papers/no-wimp>, 1998. – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [RUNES 2007] RUNES: *RUNES Reconfigurable Ubiquitous Networked Embedded Systems*. Online. 2007. – URL <http://www.ist-runes.org/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Schuler und Namioka 1993] SCHULER, D. ; NAMIOKA, A.: *Participatory Design: Principles and Practices*. Hillsday, NJ : Lawrence Erlbaum, 1993
- [Senkbeil 2005] SENKBEIL, Martin: *Konzeption eines Systems zur PC-Bedienung mittels Gestenerkennung im Sinne des 'Disappearing Computers'*. Online. 2005. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/studien/senkbeil.pdf>. – Studienarbeit, Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Sentilla 2007] SENTILLA: *moteiv Wireless Sensor Networks*. Online. 2007. – URL <http://www.sentilla.com/pdf/eol/tmote-sky-brochure.pdf>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Shahid 2005] SHAHID, Suleman: *User-Centred Requirements Engineering for Emergency Response Activities*. Oktober 2005. – Masterarbeit
- [Smailagic und Siewiorek 1999] SMAIAGIC, Asim ; SIEWIOREK, Daniel: User-Centered Interdisciplinary Design of Wearable Computers. In: *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 3 (1999), Nr. 3, S. 43–52. – ISBN 0-8058-3838-4

- [Starner 2001a] STARNER, Thad: THE CHALLENGES OF WEARABLE COMPUTING: PART 1, IEEE MICRO, July-August 2001, S. 44–52
- [Starner 2001b] STARNER, Thad: THE CHALLENGES OF WEARABLE COMPUTING: PART 2, IEEE MICRO, July-August 2001, S. 54–67
- [Stein 2008] STEIN, Martin: *DigiStick*. 2008. – Masterarbeit, In Vorbereitung
- [Suchman 1987] SUCHMAN, L.: *Plans and situated action*. Cambridge, UK Cambridge University Press, 1987
- [TecO 2008] TECO: *Libparticle*. Online. 2008. – URL <http://particle.teco.edu/software/libparticle/index.html>. – Zugriffsdatum: 12.01.08
- [Thales Communications S.A. 2007] THALES COMMUNICATIONS S.A.: *Thales Group, information systems serving Aerospace, Defense and Security markets*. Online. 2007. – URL <http://www.thalesonline.com/>. – Zugriffsdatum: 29.12.2007
- [Thomason 2007] THOMASON, Lee: *TinyXml*. Online. 2007. – URL <http://sourceforge.net/projects/tinyxml>. – Zugriffsdatum: 19.12.2007
- [Virzi u. a. 1996] VIRZI, Robert A. ; SOKOLOV, Jeffrey L. ; KARIS, Demetrios: Usability problem identification using both low- and high-fidelity prototypes. In: *CHI '96: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 1996, S. 236–243. – ISBN 0-89791-777-4
- [VSTEP 2007] VSTEP: *Virtual Safety Training and Education Platform*. Online. 2007. – URL <http://www.vstep.nl>. – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [wearIT@work 2007a] WEARIT@WORK: *Emergency Response - a wearIT@work application field*. Online. 2007. – URL [http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user\\_upload/Flyers/Flyer\\_Emergency\\_Response.pdf](http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user_upload/Flyers/Flyer_Emergency_Response.pdf). – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [wearIT@work 2007b] WEARIT@WORK: *Empowering the mobile worker by wearable computing*. Online. 2007. – URL [http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user\\_upload/Flyers/Wearit\\_Flyer.pdf](http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user_upload/Flyers/Wearit_Flyer.pdf). – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [wearIT@work 2007c] WEARIT@WORK: *Human Centric » Why bother?* Online. 2007. – URL [http://www.wearitatwork.com/Why\\_bother.44.0.html](http://www.wearitatwork.com/Why_bother.44.0.html). – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [wearIT@work 2007d] WEARIT@WORK: *WearIT@work - IP 004216*. Online. 2007. – URL <http://www.wearitatwork.com>. – Zugriffsdatum: 28.11.2007

- [wearIT@work 2007e] WEARIT@WORK: *WEARIT@WORK: Mobile Maintenance*. Online. 2007. – URL [http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user\\_upload/Flyers/Maintenance\\_Flyer.pdf](http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user_upload/Flyers/Maintenance_Flyer.pdf). – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [wearIT@work 2007f] WEARIT@WORK: *WEARIT@WORK: the clinical pathway*. Online. 2007. – URL [http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user\\_upload/Flyers/Healthcare\\_Flyer.pdf](http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user_upload/Flyers/Healthcare_Flyer.pdf). – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [wearIT@work 2007g] WEARIT@WORK: *WEARIT@WORK: Variant Production*. Online. 2007. – URL [http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user\\_upload/Flyers/Production\\_Flyer.pdf](http://www.wearitatwork.com/fileadmin/user_upload/Flyers/Production_Flyer.pdf). – Zugriffsdatum: 28.11.2007
- [Weiser 1991] WEISER, Mark: The Computer for the 21st Century. In: *Scientific American* Bd. 265, 1991, S. 94–104
- [Weiser und Brown 1995] WEISER, Mark ; BROWN, John S.: *Designing Calm Technology*. Online. December 1995. – URL <http://www.ubiq.com/weiser/calmtech/calmtech.htm>. – Zugriffsdatum: 04.12.2007
- [Weiss und Jessel 1998] WEISS, P. T. ; JESSEL, A. S.: Virtual Reality Applications to Work. In: *WORK* Bd. 11, 1998, S. 277–293
- [Wuersch und Caduff 2005] WUERSCH, Markus ; CADUFF, David: Refined Route Instructions Using Topological Stages of Closeness. In: *Web and Wireless Geographical Information Systems* Bd. 3833/2005 5th International Workshop, W2GIS 2005, Lausanne, Switzerland, December 15-16, 2005. (Veranst.), Springer Berlin / Heidelberg, 2005, S. 31 – 41
- [Wuersch und Caduff 2006] WUERSCH, Markus ; CADUFF, David: *Region-based Pedestrian Navigation: Route Instructions based on Topological Stages of Closeness*. Online. September 2006. – URL [http://www.wuersch.net/download/Wuersch\\_Caduff\\_RegionBasedPedestrianNavigation.pdf](http://www.wuersch.net/download/Wuersch_Caduff_RegionBasedPedestrianNavigation.pdf). – Zugriffsdatum: 10.11.2007
- [Zimmer 2004] ZIMMER, H.: The construction of mental maps based on a fragmentary view of physical maps. In: *Journal of Educational Psychology* 96 (2004), S. 603–610

# Glossar

**Beacon-Dispenser** Auswurfmechanismus für das Auslegen von LifeNet-Beacons.

**BSPP** Brigade des sapeurs-pompiers de Paris

**COTS** Components Off-The-Shelf

**Emergency Response** Teilprojekt für Notfallintervention des EU-Projektes wearIT@work.

**FireSim** Konkrete Umsetzung der Virtual Experience Platform für den Test von Wearables in Such- und Rettungsmissionen.

**FIT** Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT

**Force Feedback** wörtlich: *Kraft-Rückmeldung*

**ISO** International Organisation for Standardization

**JPIP** JPEG 2000 Interactive Protocol

**Lifeline** Feuerwehrleine als Hilfsmittel zur Unterstützung der Wegfindung und Orientierung in Gebäuden unter eingeschränkten Sichtverhältnissen.

**LifeNet** Konzept für die Verwendung eines spontanen drahtlosen Sensornetzwerkes zur Herstellung einer Infrastruktur für Kommunikation und Navigation.

**LifeNet-Beacon** Sensorknoten des LifeNets.

**MOTS** Modifiable Off-The-Shelf

**OIS** Object Oriented Input System

**RELATE** EU-Projekt welches mit der Bestimmung von relativen Positionen mit Hilfe von drahtlosen Sensornetzwerken beschäftigt.

**RFID** Radio Frequency Identification



**SCBA** Self Contained Breathing Apparatus

**Ubiquitous Computing** Ubiquitous Computing wird als die allgegenwärtige Präsenz von Computern beschrieben.

**UCD** User-Centered Design

**UML** Unified Modelling Language

**VXP** Virtual Experience Platform

**Wearable** Wearable Computing System

**Wearable Computing** Das Wearable Computing beschäftigt sich mit tragbaren Computersystemen, welche während der Anwendung am Körper des Benutzers befestigt sind.

**wearIT@work** wearIT@work wurde von der europäischen Kommission als integriertes Projekt aufgesetzt, um Wearable Computing als in Kleidung integrierte Computer Systeme als Technologie zu erforschen. Das Projekt hat 36 Partner mit einem Projektvolumen von etwa 23,7 Millionen Euro und Förderung von etwa 14,6 Millionen Euro. Es ist das weltweit größte Projekt für Wearable Computing.

**WIMP** Windows, Icons, Menus and Pointers

**XML** eXtended Markup Language

**XML RPC** Remote Procedure Call mit XML

# Index

Beacon-Dispenser, [19](#)  
BSPP, [25](#)

COTS-Architektur, [59](#), [63](#)

Designprozess, [38](#), [39](#)

Emergency Response, [18](#)

FireSim, [83](#), [102](#)

Fraunhofer FIT, [18](#)

Fußgängernavigation, [43](#)

Indoor-Navigationsunterstützung, [42](#), [76](#),  
[91](#)

Indoor-Navigation, [48](#)

Lifeline, [42](#), [51](#)

LifeNet-Beacon, [21](#)

LifeNet, [55](#)

Ogre, [59](#), [63](#)

Papierbasiertes Prototyping, [38](#)

Pariser Feuerwehr, [25](#)

Physikalisches Prototyping, [41](#)

Prototypingmethoden, [35](#)

RELATE, [25](#), [56](#), [81](#), [100](#)

Ubiquitous Computing, [28](#)

User-Centered Design, [16](#)

Virtual Experience Platform, [63](#)

Virtual Experience Prototyping, [39](#)

Vision, [18](#)

Wearable Computing, [29](#)

wearIT@work, [15](#)

# Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §24(5) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 16. Januar 2008

Ort, Datum

Unterschrift