



UNIVERSITÄT POTSDAM
Institut für Geographie
Fachgruppe Geoinformatik

Der Einsatz von Augmented Reality in der Fußgängernavigation

Konzeption und prototypische Implementierung eines
smartphonebasierten Fußgängernavigationssystems

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

‚doctor rerum naturalium‘ (Dr. rer. nat.)

in der Wissenschaftsdisziplin
Geoinformatik

Eingereicht an der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

von

Dipl.-Ing. Mario Kluge

Potsdam, den 8. Mai 2012

Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Lizenzvertrag lizenziert:
Namensnennung - Keine kommerzielle Nutzung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen
3.0 Deutschland
Um die Bedingungen der Lizenz einzusehen, folgen Sie bitte dem Hyperlink:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
URL <http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2012/6024/>
URN [urn:nbn:de:kobv:517-opus-60246](http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus-60246)
<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus-60246>

Danksagung

Ein besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater Prof. Dr. Hartmut Asche, ohne dessen Hilfe diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Frank Heidmann für die zahlreichen Ratschläge sowie für die tatkräftige Unterstützung bei der Evaluation des Prototyps.

Danken möchte ich Frau Prof. Dr.-Ing. Monika Sester für die Betreuung und Unterstützung während der Bearbeitungszeit.

Für die Hilfe bei der Implementierung des Prototyps möchte ich mich bei Martin Schaller bedanken, der mit mir in zahlreichen Stunden und langen Wochenenden maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung des Prototyps beigetragen hat.

Weiterhin möchte ich mich bedanken bei Frau Birgit Kwella und Herrn Dr. Matthias Schmidt, Herrn Dr. Stephan Günzel sowie Frau Prof. Dr. Barbara Lenz für Ihre Bereitschaft zur Teilnahme an einem Experteninterview.

Ich danke allen Kolleginnen und Kollegen, die mir über die Zeit als Ansprechpartner zur Seite standen und besonders in den gemeinsamen Kolloquien mit zahlreichen Tipps, Hilfestellungen und konstruktiver Kritik aushelfen konnten.

Für die Unterstützung zur Vorbereitung und Durchführung der Evaluation bedanke ich mich bei Sebastian Schwinkendorf, Patrick Voland, Henning Hollburg sowie Sabine Richter, die auch an den kältesten Tagen für Außenexperimente zur Verfügung standen.

Ein Dank auch allen Mitgliedern der Studiengruppen, die ich während der Bearbeitungszeit betreuen durfte und deren Untersuchungen und daraus resultierende Ergebnisse wichtige Erkenntnisse für diese Arbeit erbrachten.

Mein letztes Dankeswort gebührt meiner Frau Anne, die immer für mich da war und mir die notwendigen Freiräume ermöglichte, ohne die diese Arbeit nicht hätte realisiert werden können.

Kurzfassung

Fußverkehr findet im gesamten öffentlichen Raum statt und ermöglicht die lückenlose Verbindung von Tür zu Tür. Jeder Mensch steht vor Beginn einer Fortbewegung vor den Fragen „Wo bin ich?“, „Wo liegt mein Ziel?“ und „Wie komme ich dahin?“. Ein Großteil der auf dem Markt befindlichen Navigationssysteme für Fußgänger stellen reduzierte Varianten aus Fahrzeugen dar und basieren auf 2D-Kartendarstellungen oder bilden die Realität als dreidimensionales Modell ab. Navigationsprobleme entstehen dann, wenn es dem Nutzer nicht gelingt, die Information aus der Anweisung auf die Wirklichkeit zu beziehen und umzusetzen. Ein möglicher Grund dafür liegt in der Visualisierung der Navigationsanweisung. Die räumliche Wahrnehmung des Menschen erfolgt ausgehend von einem bestimmten Betrachtungsstandpunkt und bringt die Lage von Objekten und deren Beziehung zueinander zum Ausdruck. Der Einsatz von Augmented Reality (erweiterte Realität) entspricht dem Erscheinungsbild der menschlichen Wahrnehmung und ist für Menschen eine natürliche und zugleich vertraute Ansichtsform. Im Unterschied zu kartographischer Visualisierung wird die Umwelt mittels Augmented Reality nicht modelliert, sondern realitätsgetreu abgebildet und ergänzt.

Das Ziel dieser Arbeit ist ein Navigationsverfahren, das der natürlichen Fortbewegung und Sichtweise von Fußgängern gerecht wird. Das Konzept basiert auf dem Einsatz einer Kombination aus Realität und virtueller Realität zu einer erweiterten Ansicht. Da keine Darstellungsform als die Route selbst besser geeignet ist, um einen Routenverlauf zu beschreiben, wird die Realität durch eine virtuelle Route erweitert. Die perspektivische Anpassung der Routendarstellung erfordert die sensorische Erfassung der Position und Lage des Betrachtungsstandpunktes. Das der Navigation zu Grunde liegende Datenmodell bleibt dem Betrachter dabei verborgen und ist nur in Form der erweiterten Realität sichtbar. Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Prototyp trägt die Bezeichnung *RealityView*. Die Basis bildet ein freies und quelloffenes Navigationssystem, das für die Fußgängernavigation modular erweitert wurde. Das Ergebnis ist ein smartphonebasierter Navigationsprototyp, in dem die Ansichtsform einer zweidimensionalen Bildschirmkarte im Grundriss und die Darstellung einer erweiterten Realität im Aufriss kombiniert werden. Die Evaluation des Prototyps bestätigt die Hypothese, dass der Einsatz von Augmented Reality für die Navigation von Fußgängern möglich ist und von der Nutzergruppe akzeptiert wird. Darüber hinaus bescheinigen Wissenschaftler im Rahmen von Experteninterviews den konzeptionellen Ansatz und die prototypische Umsetzung des *RealityView*. Die Auswertung einer Eye-Tracking-Pilotstudie erbrachte den Nachweis, dass Fußgänger die Navigationsanweisung auf markante Objekte der Umwelt beziehen, deren Auswahl durch den Einsatz von Augmented Reality begünstigt wird.

Abstract

Pedestrian traffic takes place in public spaces and provides a seamless connection from door to door. Right before the start of a movement, every human being faces the following questions "Where am I?", "What is my goal?" and "How do I get there?". Existing navigation systems for pedestrians are based on 2D map representations or depict reality as a three-dimensional model. As a result, the majority of the systems on the market for pedestrians are smaller versions of vehicle navigation systems. Navigation problems can occur if the user is unable to relate the information of an instruction to reality and cannot implement it. One possible reason for this is the visualization of the navigation instruction. People's spatial perception takes place from their own perspective and shows how objects are positioned and how they are related to each other. The use of Augmented Reality corresponds to the appearance of human perception, and this is a natural and yet familiar view. Compared to cartographic visualization techniques reality is not modeled but mapped realistically and refers to the environment.

The concept of this thesis is directly linked to the current state of research and examines the use of a simple method and target group-oriented representation, which meets the natural movement of pedestrians. Its central focus is the combination of reality and virtual reality to a common view. This view will be extended by a virtual route representation, which follows the route course in reality. No other form of representation is better suited to explain the course of a route than the route itself. The perspective adjustment and the calculation of the virtual image scene require a data model, which remains hidden from the viewer and only appears in form of a virtual route. The navigation prototype, which is developed in this study, is based on Augmented Reality and is called *RealityView*. Its base is a free and open source navigation platform, which was expanded modularly into a pedestrian navigation system. The result is a smartphone-based navigation prototype, which combines the two forms of a two-dimensional screen map in plan with the illustration of an Augmented Reality in elevation. The validation of the prototype confirms the hypothesis that the use of Augmented Reality for pedestrian navigation is possible and is also accepted by the user group. In addition, in interviews with experts scientists have confirmed the conceptual approach and the implementation of the *RealityView*-prototype. The evaluation of an eye-tracking pilot study proved that the use of Augmented Reality favors the selection of prominent objects in the environment.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Listingverzeichnis	V
Formelverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	2
1.2. Zielstellung	3
1.3. Fragestellung	4
1.4. Gliederung	5
2. Grundlagen & Forschungsstand	7
2.1. Grundlagen der Fußgängernavigation	8
2.1.1. Benutzerprofile in Navigationssystemen	8
2.1.2. Grundlagen der Informationsverarbeitung	9
2.1.3. Kommunikations- und Visualisierungsformen	11
2.2. Realitätsformen	13
2.2.1. Vermischte Realitäten	13
2.2.2. Erweiterung der Realitätswahrnehmung	14
2.3. Augmented Reality-Navigation	16
2.4. Zusammenfassung	18
3. Konzeption & Entwicklung	19
3.1. Navigationskonzept	19
3.2. Erfassung & Registrierung	21
3.2.1. Lageerfassung	21
3.2.2. Trackingprozess	22
3.2.3. Trackingverfahren	23
3.3. Routenplanung	25
3.3.1. Datengrundlage	25
3.3.2. Positionierung	27
3.3.3. Wegsuche	28
3.4. Routenanweisung	30
3.4.1. Text- und Audioanweisungen	30
3.4.2. Graphische Routenanweisungen	31
3.4.3. Kombinierte Anweisungsformen	33
3.5. Zusammenfassung	35

4.	Umsetzung & Integration	37
4.1.	Systemarchitektur	37
4.1.1.	Hardware- und Sensorkomponenten	38
4.1.2.	Systemplattform Android	40
4.1.3.	Navigationsplattform Navit	42
4.2.	Implementierung	45
4.2.1.	Konfiguration von Navit	45
4.2.2.	Positionierung & Tracking	48
4.2.3.	Bildaufbau & Präsentation	50
4.3.	Prototyping-Prozess	60
4.3.1.	Bauformen eines AR-Systems	60
4.3.2.	Prototypengenerationen	62
4.3.3.	Sensorkomponenten	64
4.3.4.	Sensortest	66
4.4.	RealityView-Prototyp	68
4.4.1.	Graphische Benutzeroberfläche	68
4.4.2.	Aufbau der Benutzeroberfläche	70
4.4.3.	Navigationsansichten des RealityView	72
4.5.	Zusammenfassung	74
5.	Untersuchung & Wertung	75
5.1.	Experteninterview	76
5.1.1.	Leitfragen	76
5.1.2.	Auswertung	77
5.2.	Online-Umfrage	79
5.2.1.	System Usability Scale	79
5.2.2.	Auswertung	81
5.3.	Eye-Tracking-Testreihe	84
5.3.1.	Technologische Grundlagen von Eye-Tracking	84
5.3.2.	Auswertung	87
5.4.	Zusammenfassung	90
6.	Schlussfolgerung	91
6.1.	Zusammenfassung	91
6.2.	Diskussion	94
6.3.	Ausblick	95
	Quellenverzeichnis	97
	Anhang	105
	Datenträger	111

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
APK	Android Application Package File
AR	Augmented Reality (Erweiterte Realität)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
DGPS	Differential Global Positioning System
EVA	Eingabe – Verarbeitung - Ausgabe
FNS	Fußgängernavigationssystem
GIS	Geographisches Informationssystem
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPL	General Public Licence
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HMD	Head Mounted Display
LOD	Level of Detail
NDK	Native Development Kit
NMEA	National Marine Electronics Association
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSD	On Screen Display
OSM	Open Street Map
OSS	Open Source Software
PDA	Personal Digital Assistant
POI	Point of Interest
SDK	Software Development Kit
StvO	Straßenverkehrsordnung
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTC	Coordinated Universal Time
VR	Virtual Reality (Virtuelle Realität)
WGS	World Geodetic System
WMS	Web Map Service
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Gliederung und Kapitelumfang der Arbeit	5
Abb. 2-1: Entwicklung von Navigationssystemen.....	7
Abb. 2-2: Die Architektur der menschlichen Kognition.....	9
Abb. 2-3: Darstellung (a) und Schaubild (b) einer mentalen Karte	10
Abb. 2-4: Kartenskizze und Zeichenerklärung.....	11
Abb. 2-5: Kartographische Visualisierung.....	12
Abb. 2-6: Mixed Reality.....	13
Abb. 2-7: Augmented Reality (a), Virtual Reality (b).....	13
Abb. 2-8: Augmentierte Bilder (a), Videos (b), 360°-Panoramaabbildung (c), Bildsynthese (d).....	15
Abb. 2-9: Kommerzielle Entwicklungen.....	17
Abb. 3-1: Grundkonzept des RealityView-Prototyps.....	19
Abb. 3-2: Konzeptioneller Aufbau des RealityView-Navigationsprototyps.....	20
Abb. 3-3: Eulerwinkel Roll, Nick und Gier.....	21
Abb. 3-4: Sensorfusion	24
Abb. 3-5: Vergleich unterschiedlicher Datenhaltungsverfahren	26
Abb. 3-6: Wahl des Startknotens, Point-to-Point (a), Point-to-Edge (b)	29
Abb. 3-7: Schematische Darstellung des Map-Matching Verfahrens.....	29
Abb. 3-8: Arten von Navigationsmethoden	31
Abb. 3-9: Gegenüberstellung der Raumwahrnehmung Aufriss-Grundriss	33
Abb. 3-10: Navigationsansichten, erweiterte Realität (a), Bildschirmkarte (b).....	33
Abb. 3-11: Zusammenstellung des Virtual Cable.....	34
Abb. 4-1: Systemarchitektur des RealityView Navigationsprototyps	37
Abb. 4-2: Hardwarekomponenten im RealityView-Prototyp.....	38
Abb. 4-3: Android-Architektur	40
Abb. 4-4: Modularer Aufbau von Navit.....	42
Abb. 4-5: Schematische Darstellung des Navit Planet Extractor	44
Abb. 4-6: Graphikpipeline	50
Abb. 4-7: Sequenzdiagramm der Bildberechnung	50
Abb. 4-8: Wahrnehmung des menschlichen Auges	51
Abb. 4-9: Sichtvolumen eines Viewports	51
Abb. 4-10: Koordinatentransformation	52
Abb. 4-11: Bestimmung der Abbildungsfaktoren, am Modell (a), am Prototyp (b).....	53
Abb. 4-12: Darstellung und Berechnung des Würfelmodells (a), des Bildsensor (b)	54
Abb. 4-13: Schematische Darstellung der Sichteinschränkung, Draufsicht (a), Schrägansicht (b).....	57
Abb. 4-14: Bauformen, Smartphone (a), Head Mounted Display (b).....	60
Abb. 4-15: Optical See Through	61
Abb. 4-16: Video See Through	61
Abb. 4-17: Erste Prototypengeneration, UMPC (a), Kompass & GPS (b), Neigungssensor (c).....	63
Abb. 4-18: Zweite Prototypengeneration.....	63
Abb. 4-19: Statischer Fehler des RealityView in Ruhephase.....	65
Abb. 4-20: Dynamischer Fehler des RealityView in einer Bewegungsphase.....	65
Abb. 4-21: Test Ruhelage, Eigene Untersuchung (a), Referenzwerte Z-Achse (b).....	66
Abb. 4-22: Sensor Test in Bewegung (a), Referenzwerte X-Achse (b).....	67
Abb. 4-23: Vergleichsgrundlage	67
Abb. 4-24: Menüstruktur von Navit, Hauptmenü (a), Zieleingabe (b).....	69

Abb. 4-25: Auswahl verschiedener Navigationsmethoden in Computerspielen	70
Abb. 4-26: Aufbau der graphischen Benutzeroberfläche	72
Abb. 4-27: Anwendungsszenario	73
Abb. 5-1: Auszug aus dem SUS Fragebogen	80
Abb. 5-2: Auswertung des System Usability Scale	82
Abb. 5-3: Prozentualer Bezug des SUS-Score	83
Abb. 5-4: Schematische Darstellung eines EyeTrackers (a), Head-mounted Eye Tracker (b)	84
Abb. 5-5: Aufbau der Eye-Tracking Ausrüstung, Tragevorrichtung (a), Kameramodule (b)	86
Abb. 5-6: Visuelle Auswertung der Eye-Tracking Daten	86
Abb. 5-7: Kartenskizze und Zeichenerklärung des Eye-Tracking Testlaufs	87
Abb. 5-8: Ergebnis der Fragebogenauswertung des Eye-Tracking-Testlaufs	89
Abb. 6-1: Verlauf des Hype-Cycle für Augmented Reality	95

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Auswahl kommerzieller Entwicklungen	16
Tab. 3-1: Trackingverfahren	23
Tab. 3-2: Positionierungsverfahren	27
Tab. 3-3: Auswahl verschiedener Bezugspunkte für text- und audiobasierte Routenanweisungen	30
Tab. 3-4: Auswahl graphischer Navigationshilfen	32
Tab. 3-5: Ergebnis der Zielführung-Untersuchung	71
Tab. 4-1: Aufschlüsselung der Rückgabewerte	58
Tab. 4-2: Spezifikationen der Prototypengenerationen	62
Tab. 5-1: Überblick über die Evaluationsverfahren	75
Tab. 5-2: Auswahl der Experten	76
Tab. 5-3: Aufschlüsselung personenbezogener Angaben	81
Tab. 5-4: Gesamtdauer des Blickkontakts an den Messstationen	88

Listungsverzeichnis

List. 4-1: Positionierung - vehicle_android_callback	43
List. 4-2: Wegsuche - route_graph	43
List. 4-3: Koordinatenangaben des Standortes	45
List. 4-4: Startparameter in Navit	45
List. 4-5: Graphik und GUI-Type in Navit	46
List. 4-6: On Screen Displays	46
List. 4-7: Nutzerprofile	46
List. 4-8: Roadprofile	47
List. 4-9: Navigation-Sektion	47
List. 4-10: Mapset-Sektion und Maptype	47
List. 4-11: Layout-Sektion und Layer	48
List. 4-12: Track-Log	49
List. 4-13: Koordinatentransformation und map_center	56
List. 4-14: Hoehe der virtuellen Kamera (HOG)	56
List. 4-15: Matrix der Lagekoordinaten der Kameraausrichtung	56
List. 4-16: Skalierungsfaktor - scale_shift	56

List. 4-17: Faktoren x-scale und y-scale.....	56
List. 4-18: Tiefenbegrenzung der Objektverdeckung zfar.....	57
List. 4-19: intersect-Funktion der Objektverdeckung.....	58

Formelverzeichnis

Form. 4-1: Zweites Newtonsches Gesetz.....	39
Form. 4-2: Roll- und Pitch-Winkel.....	39
Form. 4-3: Erdparallele Ebene.....	39
Form. 4-4: Yaw-Winkel.....	39
Form. 4-5: Breite des Objekts auf dem Kamerachip.....	54
Form. 4-6: Verhältnisgleichung (Seitenlänge-Abstand).....	54
Form. 4-7: Abstand der hinteren Würfelseite.....	54
Form. 4-8: Verhältnisgleichung (Seitenlänge-Abstand).....	54
Form. 4-9: Skalierungsfaktor.....	54
Form. 4-10: Verhältnisgleichung (Seitenlänge-Abstand).....	54
Form. 4-11: Anzahl der Pixel der hinteren Würfelseite.....	55
Form. 4-12: Anzahl der Pixel der vorderen Würfelseite.....	55
Form. 4-13: Abstand der vorderen Würfelseite.....	55
Form. 4-14: Abstand der vorderen Würfelseite (gekürzt).....	55
Form. 4-15: Skalierungsfaktor.....	55
Form. 5-1: System Usability Scale Score.....	80

1. Einleitung

Der Science-Fiction Autor Isaac Asimov beschrieb in seinem Zukunftsroman Foundation im Jahre 1951 die Navigation des Protagonisten, der sich bei einem Aufsichtsbeamten nach einem Hotelzimmer erkundigt, wie folgt: *„Der Aufsichtsbeamte drückte auf einen Knopf. Ein dünner Lichtstrahl wurde am Fußboden sichtbar und zog sich kreuz und quer zwischen ähnlichen Lichtfäden hin, die einmal heller und einmal dunkler in verschiedenen Farben leuchteten. (...) Er fragte: „Wohin soll ich gehen?“ „Folgen Sie nur dem Licht. Die Fahrkarte wird solange glimmen wie Sie in die richtige Richtung gehen.“ (...) Da waren hunderte, die über den riesigen Korridor schlichen und dabei ihren individuellen Pfaden folgten, um, sich durch Abzweigungen und Kreuzungen schleusend, sich ihrem jeweiligen Bestimmungsort zu nähern.“* (ASIMOV, 1951:7 ff. zit. nach DOWNS & STEA, 1982:181).

Was vor über 60 Jahren als Fiktion entstand, ist heutzutage dank fortschreitender technologischer Entwicklung möglich. Die Erweiterung der (visuellen) Realität, im Englischen **Augmented Reality** (AR), beschreibt ein technologisches Verfahren, das Bilder oder Videos der Realität durch virtuelle Zusatzinformationen in Echtzeit ergänzt. Die Forschung und Entwicklung im Bereich Fußgängernavigation gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Grund ist der rasante Fortschritt von mobilerer Hardware und die Verbesserung der Qualität von Lage- und Positionssensoren. Mit der Verlagerung des Anwendungsbereichs von Navigationssystemen von Verkehrs- über Fahrzeugnavigation auf die Nutzergruppe Fußgänger ist es notwendig ein Verfahren zu entwickeln, dass der natürlichen Fortbewegung und Betrachtungsweise von Fußgängern gerecht wird. Diese Arbeit untersucht sowohl konzeptionell als auch prototypisch den Einsatz einer erweiterten Realität in Kombination mit einer kartographischen Darstellung für die Fußgängernavigation und evaluiert den Ansatz im Anschluss daran.

1.1. Motivation

Fußverkehr ist Verkehr. Ein Fußgänger ist ein Verkehrsteilnehmer, der sich über die Art der Fortbewegung zu Fuß von anderen Nutzergruppen unterscheidet. Jeder Mensch ist, unabhängig von der Art seiner derzeitigen Fortbewegung, auch Fußgänger. Nur der Fußverkehr ermöglicht eine lückenlose Verbindung von Tür zu Tür. Dennoch wird Fußverkehr in vielen Bereichen unterschätzt und als etwas Selbstverständliches und Natürliches angesehen und nur selten mit dem Begriff Verkehr in Zusammenhang gebracht (THOMAS & SCHWEIZER, 2003).

Nutzergruppe

Alle Menschen, die sich aus eigener Kraft im öffentlichen Raum fortbewegen, zählen zur Gruppe der Fußgänger und gehören zur Nutzergruppe von Fußgängernavigation. Darunter fallen auch mobilitätseingeschränkte Personen, wie etwa Geh- und Sehbehinderte aber auch ältere Menschen. Die Bewegungsfreiheit eines Fußgängers ist praktisch unbegrenzt. Während Autofahrer auf das Straßennetz angewiesen sind, erstreckt sich der Bewegungsraum von Fußgängern im gesamten öffentlichen Raum vorrangig auf Straßen, Wegen und Plätzen, aber auch in Grünanlagen, ÖPNV-Knotenpunkten und in öffentlichen Gebäuden (SAUTER, 1999; PLÜMER et al., 2004).

Anforderungen

Die Entwicklung mobiler Assistenzsysteme steht vor der Herausforderung „aufgaben- und situationsangepasste Präsentations- und Interaktionsformen für mobile Geräte zu entwickeln“ und kann nur bei „konsequenter Anwendung benutzerzentrierter Design- und Evaluationsmethoden nachhaltig gelöst werden“ (HEIDMANN & HERRMANN, 2003:130). Die Anforderungen, die ein Nutzer an ein Navigationssystem stellt, sind abhängig von den persönlichen Bedürfnissen, Vorlieben und Zielen. Hieraus ergeben sich wie folgt allgemeine Anforderungen für die Navigation von Fußgängern (WALTHER-FRANKS, 2007; ELIAS & SESTER, 2003).

- **Die Bedienung** eines Navigationssystems sollte einfach und intuitiv sein und keine zusätzliche Hilfestellung erfordern. Zudem ist es von Vorteil, wenn das System für die einhändige Bedienung konzipiert wird.
- **Die Präsentation** der Navigationsansicht sollte sich auf die reale Umgebungssituation beziehen und dem natürlichen Charakter der Fortbewegung zu Fuß entsprechen. Grundsätzlich gilt, je höher der Realitätsgehalt der Darstellung, desto geringer der Abstraktionsprozess für den Nutzer, um von der Ansicht auf die Realität zu schließen.
- **Die Anweisung** eines Navigationssystems sollte sich direkt oder indirekt auf reale Objekte der Umwelt beziehen und die Handlung in verständlichen und nachvollziehbaren Einzelschritten (*turn-by-turn*) präsentieren. Der Bezug auf einen Entscheidungspunkt, an dem eine Handlung ausgeführt wird, erfolgt durch absolute Entfernungsangaben (In 50m rechts abbiegen) oder durch relative Umschreibungen (Demnächst rechts abbiegen) (SESTER 2004).

1.2. Zielstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption und Entwicklung eines Fußgänger-navigationsystems auf Basis der Kombination von Augmented Reality mit einer kartographischen Darstellung. Die Evaluation der Forschungsergebnisse soll zu einem besseren Verständnis der Anforderungen von Fußgängern beitragen und die Akzeptanz dieser Systeme bei der Nutzergruppe steigern. Die Zielstellung leitet sich aus den Forschungszielen ab und wird durch den Forschungsrahmen begrenzt.

Forschungsziele

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist erstens der Entwurf eines Navigationskonzeptes auf Basis einer erweiterten Realität. Schwerpunkt der Untersuchung ist zweitens die Umsetzung und Implementierung der konzeptionellen Ergebnisse in Form eines Navigationsprototyps. Die abschließende Bewertung der Ergebnisse und Validierung der Forschungsfrage erfolgt drittens auf Grundlage quantitativer und qualitativer Evaluationsverfahren.

- (1) **Der Entwurf** ist die gedankliche Vorüberlegung und bildet die Grundlage der Arbeit. In diesem sind das Konzept und die Idee für die Umsetzung eines Fußgänger-navigationsystems enthalten.
- (2) **Die Umsetzung** umfasst die Realisierung des Entwurfs. Der typische Fall beschreibt die Entwicklung eines Navigationsprototyps, der in verschiedene Prototypengenerationen untergliedert ist und bereits alle grundlegenden Systemfunktionalitäten und Eigenschaften besitzt.
- (3) **Die Bewertung** erfolgt auf Grundlage eines Prototyps, der es ermöglicht, die Fragestellung praktisch zu beantworten, und überprüft, ob das Ergebnis die Anforderungen der Nutzergruppe erfüllt.

Forschungsrahmen

Das Themengebiet Navigation im Allgemeinen und die Fußgänger-navigations im Speziellen sind eng mit der Entwicklung von mobiler und alltagstauglicher Hardware verbunden. Die rasante Entwicklung mobiler Geräte und der technologische Fortschritt auf dem Gebiet von Navigationssystemen erfordern die Eingrenzung des Forschungsrahmens. Diese Arbeit setzt ihren Schwerpunkt auf die Erweiterung der Realität auf mobilen Endgeräten für die Navigation von Fußgängern. Im Mittelpunkt des Forschungsinteresses stehen dabei die Konzeption und technische Umsetzung eines Prototyps auf Grundlage von Augmented Reality. Themenfelder, die dem Forschungskomplex Navigation nahestehen, wie etwa Positionierung, Wegsuche und Geodatenaufbereitung, können, bedingt durch den begrenzten Umfang dieser Arbeit, nur verallgemeinert berücksichtigt werden. Diese Arbeit wird ausschließlich vom Standpunkt der Geoinformatik betrachtet. Themengebiete und Inhalte benachbarter Forschungsdisziplinen können daher nur teilweise betrachtet werden.

1.3. Fragestellung

Die Fragestellung, die dieser Arbeit zu Grunde liegt, basiert auf der Überlegung, dass die natürlichste Form der Fortbewegung eines Menschen nur durch eine natürliche und, im Sinne der menschlichen Wahrnehmung, vertraute Form der Visualisierung erfolgen kann. Jegliche Art von Modellierung der Umwelt, sei es zweidimensional in Form von Karten oder dreidimensional als virtuelle Realität, verlangt die Abstraktion der Darstellung auf die reale Umgebung. Nach Sicht des Autors lässt sich der Abstraktionsprozess durch Einsatz einer Grund- und Aufrissdarstellung vereinfachen und ermöglicht den Bezug der Anweisung auf die reale Umgebung. Die daraus resultierende und dieser Arbeit zu Grunde liegende Forschungshypothese lautet:

Der Einsatz von Augmented Reality zur Erweiterung der Realitätswahrnehmung in der Fußgängernavigation in Kombination mit einer kartographischen Darstellung wird der natürlichen Fortbewegung und Sichtweise der Nutzergruppe gerecht und stellt eine Alternative zu bisherigen Navigationsanwendungen dar, die den Nutzer dabei unterstützt, die Anweisung auf die Realität zu beziehen und umzusetzen.

Basierend auf dieser Hypothese lassen sich verschiedene Forschungsfragen bezüglich der Anweisung, der Anforderung sowie der Vor- und Nachteile eines Navigationssystems ableiten. Die daraus resultierenden Fragestellungen werden am Ende dieser Arbeit beantwortet und lauten wie folgt:

- (1) **Welche Vorteile** ergeben sich aus der Kombination von erweiterter Realität und kartographischer Darstellung für die Navigation von Fußgängern?
- (2) **Welche Nachteile** ergeben sich aus der Kombination von erweiterter Realität und kartographischer Darstellung für die Navigation von Fußgängern?
- (3) **Welche Anweisungsmethoden** sind geeignet, um einen Fußgänger auf Grundlage einer erweiterten Realität zu navigieren?
- (4) **Welche Anforderungen und Voraussetzungen** in Bezug auf die Hard- und Software sind notwendig, um ein AR-Navigationssystem umzusetzen?

In der ersten Fragestellung wird nach dem effektiven Mehrwert gesucht, der sich aus der Kombination einer erweiterten Realität und kartographischen Darstellung ergibt. In der zweiten Fragestellung werden die Probleme und Einschränkungen erläutert, die aus dieser Kombination resultieren. Der Schwerpunkt in der dritten Fragestellung liegt auf der Auswahl unterschiedlicher Navigationsverfahren, die für den Einsatz in einer erweiterten Realität geeignet sind. Viertens wird untersucht, welche Voraussetzungen für die prototypische Umsetzung eines AR-Fußgängernavigationssystems notwendig sind.

1.4. Gliederung

Die vorliegende Arbeit ist in folgende Teilbereiche untergliedert (vgl. Abb. 1-1).

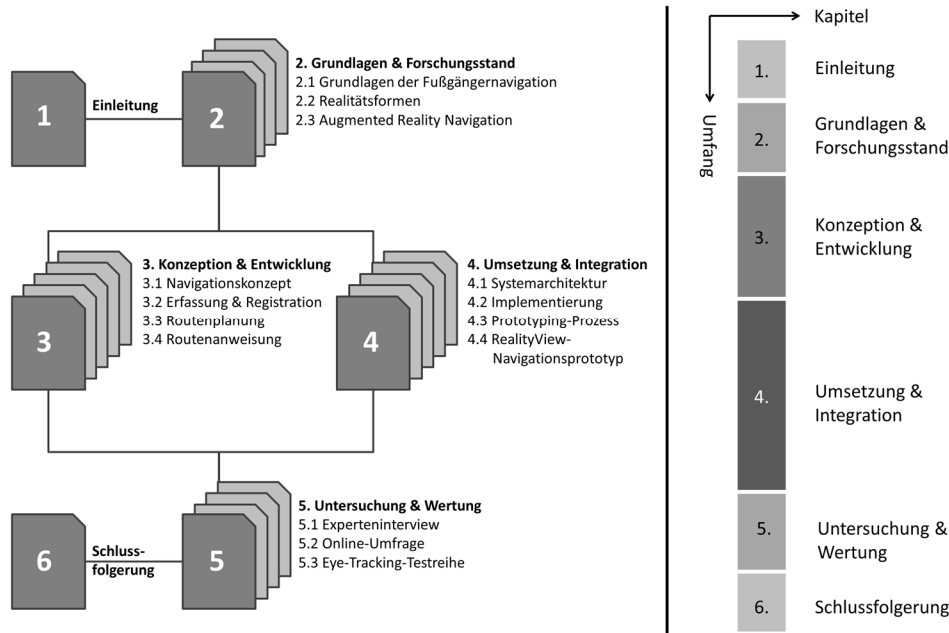


Abb. 1-1: Gliederung und Kapitelumfang der Arbeit

(1) Einleitung

Die Einleitung beinhaltet die Motivation, Zielstellung und Fragestellung des Arbeitsthemas.

(2) Grundlagen & Forschungsstand

Der Forschungsstand beschreibt die Grundlagen der Fußgängernavigation und gibt einen Überblick über aktuelle Entwicklungen.

(3) Konzeption & Entwicklung

Die Entwicklung umfasst den Aufbau und die Konzeption des Prototyps und ist in die Teilbereiche Erfassung, Planung und Anweisung untergliedert.

(4) Umsetzung & Integration

Die Umsetzung erläutert die Systemarchitektur mit Schwerpunkt auf der Softwareentwicklung und den Aufbau eines Navigationsprototyps.

(5) Untersuchung & Wertung

Die Untersuchung beschreibt die quantitative und qualitative Evaluation der Forschungsergebnisse und die Wertung der prototypischen Umsetzung.

(6) Schlussfolgerung

Abschließend erfolgen die Zusammenfassung der Arbeit und die Diskussion der Ergebnisse sowie der Ausblick auf zukünftige Forschungsgebiete.

2. Grundlagen & Forschungsstand

Der Forschungsstand zum Thema Fußgängernavigation bildet seit mehreren Jahren den Schwerpunkt von verschiedenen Forschungsprojekten, wie etwa GUIDE, DeepMap und Lol@ (CHEVERST, 2000; GARTNER & UHLIRZ, 2001; MALAKA & ZIPF, 2000). Mit der Miniaturisierung der Hardware haben sich Navigationssysteme anfangs von Verkehrsnavigation in Flugzeugen, Schiffen und Fahrzeugen über Outdoornavigation für Wanderer und Bergsteiger zu alltäglichen Begleitern für Fußgänger entwickelt. Damit verbunden steigerte sich der Informationsgehalt von einfachen *you-are-here*-Bildschirmkarten zu **virtuellen und erweiterten Realitäten** (CORONA & WINTER, 2001a; SCHUMANN, 2008, vgl. Abb. 2-1).

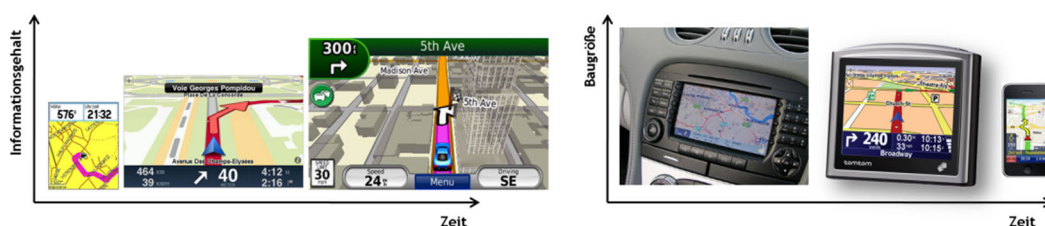


Abb. 2-1: Entwicklung von Navigationssystemen

Aktuelle Entwicklungen für die Navigation und Zielführung von Fußgängern sowie mobile Dienste zur Abfrage und Ortsbestimmung von interessanten Kartenpunkten belegen, dass die Nachfrage nach *Location Based Services* (ortsbezogenen Diensten) im Bereich Fußgängernavigation besteht. Was bislang fehlt, sind „Anwendungen zur Lösung ausgewählter räumlicher Probleme mit Hilfe mobiler visueller Kommunikation.“ (ASCHE & HERRMANN, 2003)

2.1. Grundlagen der Fußgängernavigation

Die Fußgängernavigation ist eine Forschungsthematik, die sich mit der Entwicklung mobiler und alltagstauglicher Hardware etabliert hat. Im Gegensatz zu Fahrzeugnavigationssystemen existieren keine Richtlinien, wie ein solches System aufgebaut sein muss. Daher stellt ein Großteil der auf dem Markt befindlichen Navigationssysteme für Fußgänger reduzierte Varianten aus Fahrzeugen dar. Ein Navigationssystem vermittelt explizite Kommandos auf Grundlage definierter Kommunikations- und Anweisungsformen, die ein Nutzer in einer bestimmten Reihenfolge und an einer bestimmten Position befolgen muss, um entlang eines optimalen Routenverlaufs den Zielpunkt zu erreichen. Die Anweisung und Visualisierung variiert je nach Einsatzbereich und Nutzertyp und wird durch Benutzerprofile verwaltet (ELIAS & SESTER, 2003; CORONA & WINTER, 2001a).

2.1.1. Benutzerprofile in Navigationssystemen

Benutzerprofile verwalten unterschiedliche Nutzergruppen, um Anwendungen, wie etwa Navigationssysteme, auf den jeweiligen Nutzertyp zu personalisieren. Der Schwerpunkt der Profilierung richtet sich dabei nach der Mobilität, dem Kenntnisstand und der Aktivität eines Benutzers. Eine Auswahl von Benutzerprofilen für Fußgänger könnte wie folgt aufgebaut sein (REICHL, 2003:119 ff.).

- **Touristen** sind Besucher, die eine ihnen unbekannt Stadt oder Umgebung kennenlernen möchten. Das vorrangige Interesse von Touristen ist die Auswahl einer Route, die sich vor allem entlang von Sehenswürdigkeiten und kulturellen Einrichtungen innerhalb eines begrenzten Raums erstreckt. Von Vorteil für Touristen ist die Planung von Touren, deren Ausgangspunkt gleichzeitig den Zielpunkt darstellt.
- **Menschen mit körperlichen oder kognitiven Beeinträchtigungen** stellen für Navigationssysteme eine besondere Nutzergruppe dar, da sie, je nach Ausprägung und Schwere ihrer Beeinträchtigung, eine individuelle Navigation erfordern. Das System fungiert dabei als Werkzeug, das es dem Nutzer ermöglichen soll, die Schwachstelle, die sein Handicap ihm aufzwingt, in gewissem Maße zu mildern oder dieser entgegen zu wirken.
- **Geschäftsreisende** haben als vorrangiges Anliegen, so schnell wie möglich an den Zielort zu gelangen. Die Erwartung dieser Nutzergruppe an ein Navigationssystem ist ausgerichtet auf den Faktor Zeit. Das System sollte aktuell verfügbare Fortbewegungsmittel multimodal miteinander kombinieren, um einen effizienten Routenverlauf zu gewährleisten.
- **Wanderer** haben großes Interesse an uneingeschränkter Bewegungsfreiheit. Wichtig für diese Nutzergruppe sind nützliche Positionsinformationen, die ihnen die eigenständige Orientierung im Gelände erleichtert und es ermöglicht, den Rückweg sicher zu finden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, vorgegebene Routen und Wegpunkte als Navigationsgrundlage zu verwenden.

2.1.2. Grundlagen der Informationsverarbeitung

Die Navigation ist ein Interaktionsprozess zwischen Nutzer und System. Der Entwurf eines benutzerorientierten Fußgängernavigationssystems setzt voraus, dass Kenntnisse über die Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung vorhanden sind. Für die Informationsverarbeitung eines Menschen im Zusammenhang mit der Navigation gilt, „dass dem Entwurf von benutzerorientierten Systemen die Ergebnisse über die Fähigkeiten und Möglichkeiten, aber auch gerade über die Grenzen menschlicher Informationsverarbeitung zugrunde gelegt werden sollen.“ (STREITZ, 1987:44)

Verarbeitungsprozess

Jedes Informationssystem muss sich an den kognitiven Fähigkeiten des Menschen orientieren und bildet die Grundlage für „die Modellierung aufgabenorientierter und nutzergerechter Karten- und Mediensysteme“ (HEIDMANN, 1999:61). Eine Handlung, die ein Mensch ausführt, ist dadurch gekennzeichnet, dass Informationen wahrgenommen, verarbeitet und im Gedächtnis gespeichert werden. Die Wahrnehmung ist der Prozess „Objekte und Ereignisse in der Umwelt zu begreifen – sie mit den Sinnen zu empfinden, zu verstehen, zu identifizieren und zu klassifizieren sowie sich darauf vorzubereiten, auf sie zu reagieren.“ (ZIMBARDO & GERRING, 2011:157).

Der menschliche Organismus ist durch Emotionen, Erwartungen und Motivationen geprägt, die je nach Situation und Individuum unterschiedlich ausfallen können. Gemeinsam mit der Motorik bildet die Wahrnehmung die Schnittstelle zur Umwelt. Gekennzeichnet ist die Informationsaufnahme durch die Teilprozesse Entdecken und Erkennen (vgl. Abb. 2-2). Das Entdecken umfasst die Wahrnehmung und erfolgt über die menschlichen Sinnesorgane. Das Erkennen beschreibt die kognitive Verarbeitung eines Sinneseindrucks und ordnet diesem einen bekannten Begriff zu. Im Anschluss an die Informationsaufnahme erfolgt die Speicherung der Informationen im Gedächtnis. Das Resultat bildet die Auswahl einer Handlung, die bewusst oder unbewusst motorisch umgesetzt wird (STREITZ, 1987).

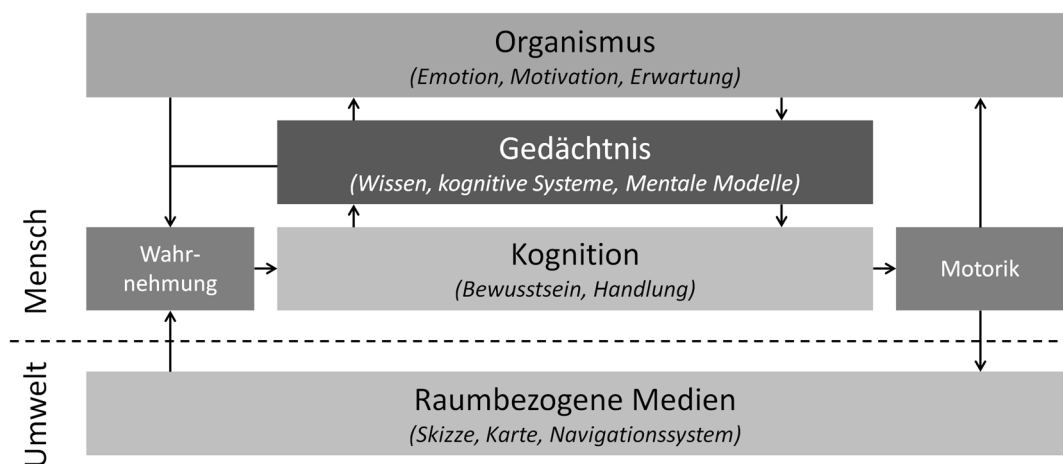


Abb. 2-2: Die Architektur der menschlichen Kognition, Quelle: (Glaser 1994 in Heidmann 1999)

Wegsucheprozess

Jeder Mensch steht vor Beginn einer Fortbewegung vor den Fragen *Wo bin ich?*, *Wo liegt mein Ziel?* und *Wie komme ich dahin?*. Die Antwort darauf erfordert Strategien zur Lösung räumlicher Probleme oder kurz gefasst zur **Wegsuche** (ARTHUR & PASSINI, 1992; WINTER, 2004). *“Wayfinding is the process of determining and following a path or route between an origin and a destination.”* (GOLLEDGE, 1999:6)

Die Wegsuche liefert eine Route zwischen einem Start- und einem Zielpunkt und variiert je nach Mobilität des Nutzers, dem Kenntnisstand über die Umgebung und den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln. Das Ergebnis der Wegsuche repräsentiert die Umwelt als innere Vorstellung, die als **mentale Karte** bezeichnet wird, und ist untergliedert in Orientierung, Positionierung und Routenplanung (GOLLEDGE, 1999; DOWNS & STEA, 1982:172 ff.; ALLEN, 1999).

- Die **Orientierung** bildet den Abgleich einer wahrgenommenen Bildszene der realen Umgebung mit Bildern aus dem Gedächtnis.
- Die **Positionierung** ordnet die Bilder aus dem Gedächtnis einer Position in der Umwelt zu, um daraus den aktuellen Standort zu erhalten.
- Die **Routenplanung** kombiniert verschiedene Routensegmente als einen zusammenhängenden Routenverlauf, um vom aktuellen Standort aus zum Zielpunkt zu gelangen.

Mentale Karten

Eine mentale Karte ist eine gedankliche Vorstellung der Umwelt, die jeder Mensch auf Grundlage seiner individuellen Kenntnisse und Raumerfahrung modelliert. Die Vorstufe mentaler Karten bildet ein Vorstellungsmodell, dass die Gesamtheit aller wahrgenommenen Sinneseindrücke enthält und beschrieben ist als: *“the internal representation of perceived environmental features or objects and the spatial relations among them.”* (GOLLEDGE, 1999:6) Der Bezug zu einer herkömmlichen Karte liegt in der Tatsache begründet, dass beide zu einer Vorstellung über die Umwelt führen (vgl. Abb. 2-3). Der Mensch nutzt mentale Karten, um *„wichtige Informationen zu erlangen, sie zu speichern, um sie dann für die Entscheidungen, wo wir hinwollen und wie wir dorthin kommen, verwenden zu können.“* (DOWNS & STEA, 1982:23; LYNCH, 1965).

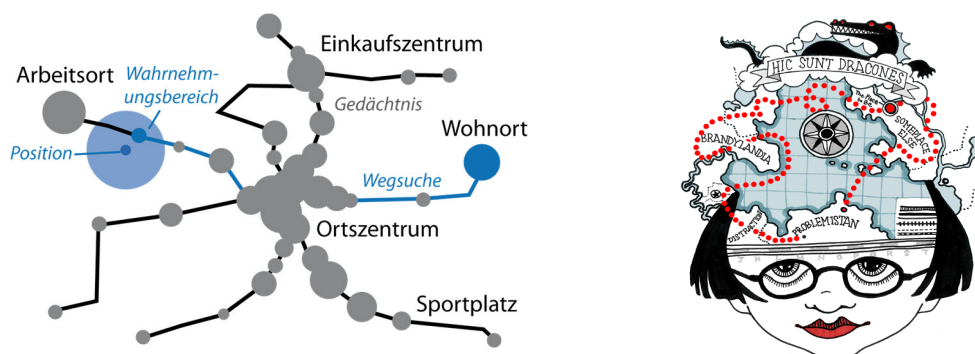


Abb. 2-3: Darstellung (a) und Schaubild (b) einer mentalen Karte, Quelle: (LOOSETOOTH, 2012)

2.1.3. Kommunikations- und Visualisierungsformen

Die einfachste Form, herauszufinden, welche Anweisungsform ein Fußgänger benötigt, ist zu hinterfragen, wie ein Mensch mit anderen Menschen kommuniziert. Der Kommunikationsprozess beim Menschen unterscheidet zwischen direkter und indirekter Kommunikation. Eine Unterhaltung von Mensch-zu-Mensch ist geprägt durch eine wechselseitige Beziehung, bei der die Teilnehmer direkt aufeinander reagieren. Die Kommunikation zwischen einem Navigationssystem und einem Nutzer ist einseitig und indirekt, da das System eine Anweisung vermittelt, ohne dass der Nutzer darauf reagieren kann. Dabei lassen sich sequentielle (Schrift, Sprache) und parallele (Skizzen, Karten) Anweisungsformen unterscheiden (ORTAG, 2008; CORONA & WINTER, 2001b; SESTER, 2004).

Sequentielle Anweisungsformen

Sequentielle Anweisungsformen basieren auf Text und Graphiken, die eine Handlung mit einer direkt oder indirekt in der Umwelt verankerten Positionsangabe beschreiben. Das Prinzip sequentieller Anweisungen beruht auf *turn-by-turn*-Kommandos, die sowohl visuell als auch auditiv vermittelt werden können. Sequentielle Anweisungen beziehen sich direkt auf einen Bezugspunkt in der Realität und sind nur an diesem gültig (WINTER, 2004). Der Nachteil besteht in der umfangreichen Beschreibung komplexer Handlungen, so dass diese häufig wiederholt werden müssen und daher nur für kurze und objektbezogene Angaben geeignet sind (REICHL, 2003; RADOCKZY, 2003).

Parallele Anweisungsformen

Parallele Anweisungsformen präsentieren einen bestimmten Raumausschnitt auf Grundlage graphischer bzw. kartographischer Visualisierungsformen. Die Handlung, die ein Nutzer befolgen muss, ist in Form eines Routenverlaufs beschrieben und auf eine bestimmte Situation ausgerichtet (vgl. Abb. 2-4). Im Gegensatz zu Karten beschreiben Kartenskizzen jeweils nur eine individuelle Problemstellung, die sich aus der Nutzerposition, dem Zielpunkt und der vorherrschenden Umgebungssituation zusammensetzt. Die Vereinfachung der Darstellungsszene führt zu einem besseren Verständnis der Handlungsanweisung (BILLINGHURST & WEGHORST, 1995).



Abb. 2-4: Kartenskizze und Zeichenerklärung

Kartographische Visualisierungsformen

Die Kartographische Visualisierung zeichnet sich durch visuelle Kommunikation aus und ist geprägt durch ein maßstabsabhängiges und graphikbezogenes Modell räumlicher Bezüge (HAKE et al., 2002). Kartographische Darstellungen basieren auf graphischen Formen und Symbolen unter Einsatz eines definierten Zeichenvorrats mit vereinbarter Bedeutung. Raumbezogene Geoinformationen bilden die Grundlage kartographischer Medien und präsentieren einen festgelegten Raumausschnitt. Vor dem Hintergrund, dass zukünftige Einsatzbereiche kartographischer Visualisierungsformen in zunehmendem Maße für mobile Anwendungen (Smartphone, Tablet etc.) aufbereitet werden, steht die Kartographie vor der Herausforderung „geeignete Konzepte für die Präsentation georäumlicher Informationen auf kleinstem Raum bereitzustellen.“ (HEIDMANN & HERRMANN, 2003:130 ff.).

Eine Karte ist eine maßstäblich verkleinerte, zweidimensionale Projektion eines Raumausschnittes, die unter definierten Gestaltungsregeln visuell aufbereitet wurde (BOLLMANN & KOCH, 2005). Kartographische Medien vermitteln Informationen auf Basis von Geodaten, die einen direkten Raumbezug aufweisen. Im Gegensatz zur Kommunikation von Mensch-zu-Mensch werden Informationen in Karten einseitig erfasst und unter Einbeziehung von Kartenwissen verarbeitet. Kartographische Medien sind allgemein verständlich und können von jedem Nutzer unabhängig von dessen Vorwissen gelesen und interpretiert werden (vgl. Abb. 2-5).

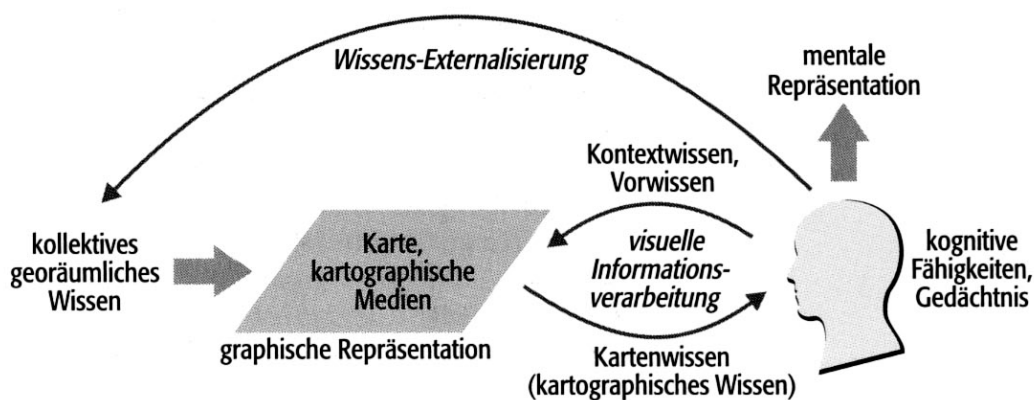


Abb. 2-5: Kartographische Visualisierung, Quelle: (BOLLMANN & KOCH, 2005:37)

Die Aufgabe von Karten besteht vorrangig darin „Informationen jeglicher Art in eine Form zu transformieren, die eine verständliche, visuelle Kommunikation ermöglicht“ (DÄBLER, 2002:1). Die wesentlichen Unterscheidungskriterien kartographischer Produkte bilden das Ausgabemedium (analog/digital), das Datenformat (Raster/Vektor) und die Art der Anwendung und Präsentation (MENG & REICHENBACHER, 2005). Dabei ist abzusehen, dass in Zukunft „die graphische Karte in ihrer herkömmlichen Form nicht mehr das alleinige Darstellungsmedium [für mobile Anwendungen] sein kann“ und wird ergänzt durch „akustische Präsentationsformen, Bilder, Videosequenzen und Animationen“ (HEIDMANN & HERRMANN, 2003:130 ff.).

2.2. Realitätsformen

Die Augmentierung bezeichnet die Erweiterung der Realitätswahrnehmung eines Menschen, die zu jeder Zeit und an jedem Ort als real empfunden wird. Es existieren unterschiedliche Realitätsformen, die nach der zu Grunde liegenden Bildinformation, dem Realitätsgehalt sowie dem Zeitrahmen, in dem die Visualisierung erfolgt, differenziert werden können (GROSCH, 2008).

2.2.1. Vermischte Realitäten

Die vermischte Realität (Mixed-Reality) bildet das **Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum** (vgl. Abb. 2-6), das die reale Welt mit der virtuellen Realität verbindet (CAWOOD & FIALA, 2007). Neben den beiden äußeren Zuständen Realität und virtueller Realität existieren weitere Zwischenstufen, die diese kombinieren und deren Realitätsgehalt unterschiedlich ausgeprägt ist. Milgram und Kishino (1994) definieren die vermischte Realität, in Bezug auf die Ausprägung der Augmentierung, zu virtueller Realität (Augmented Virtuality) und erweiterter Realität (Augmented Reality).

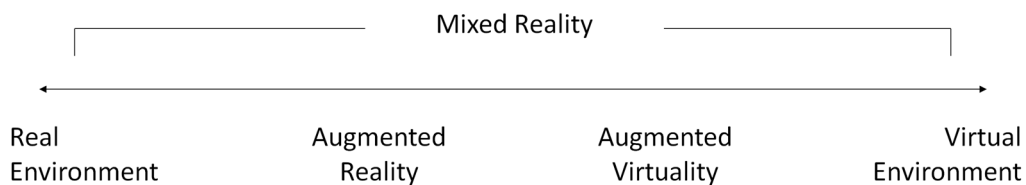


Abb. 2-6: Mixed Reality, Quelle: (MILGRAM & KISHINO, 1994)

Die Kombination aus Realität und virtueller Realität bilden Hybride Systeme, wie Augmented Reality (AR) und Augmented Virtuality. *“An augmented reality system is a system that creates a view of a real scene that visually incorporates into the scene computer-generated images of three-dimensional (3D) virtual objects.”* (VALLINO & KUTULAKOS, 2001:157). Der grundlegende Unterschied zwischen Virtual- und Augmented Reality besteht darin, dass letztere die Umwelt ergänzen möchte, anstatt diese künstlich nachzubilden bzw. zu ersetzen (vgl. Abb. 2-7).

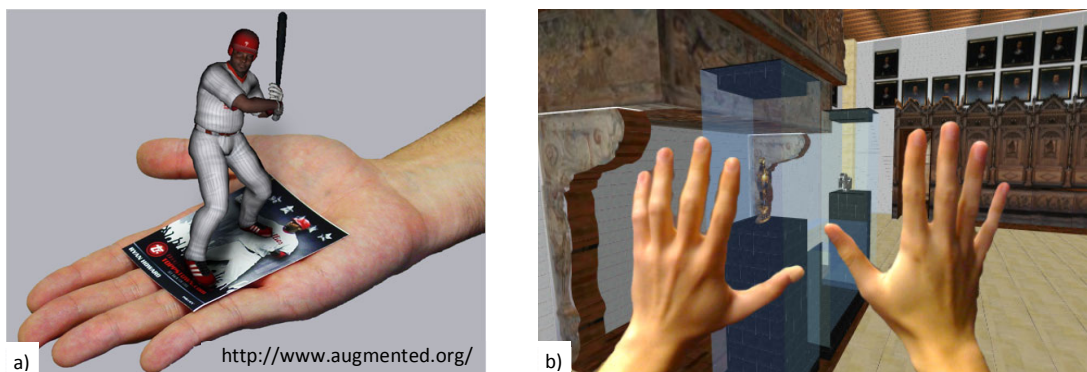


Abb. 2-7: Augmented Reality (a), Virtual Reality (b), Quelle: (STEINICKE et al., 2009)

2.2.2. Erweiterung der Realitätswahrnehmung

Eine erweiterte Realität kombiniert virtuelle und reale Ansichten in einer Form miteinander, dass ein Nutzer diese als Teil der realen Umgebung wahrnimmt. Nach der Definition von Azuma (1997) existieren drei Anforderungen, die ein AR-System erfüllen muss, um es als solches zu charakterisieren.

- (1) Die Darstellung muss sich aus realer und virtueller Welt zu einer **erweiterten Ansicht** zusammensetzen.
- (2) Die Informationen zwischen realer und virtueller Welt müssen in einer **dreidimensionalen Beziehung** zueinander stehen.
- (3) Die Interaktivität mit dem System muss **in Echtzeit** erfolgen.

Streng genommen zählen nur Anwendungen zu Augmented Reality, die Echtzeit-Bilddaten um virtuelle Objekte dreidimensional erweitern. Die Verallgemeinerung der Definition von AR beschreiben Verfahren, die im Vorfeld aufgenommene Bild- und Videobilddaten ohne Echtzeit-Charakter durch virtuelle Zusatzinformationen erweitern. Eine Steigerung der Definition von AR beschreibt die Bildsynthese, in der ein Betrachter keinen Unterschied zwischen Realität und virtuellem Objekt feststellen kann.

Erweiterte Einzel- und Panoramabilder

Die Erweiterung von Bilddaten für die Navigation erfordert eine Bildserie entlang der Route, die an allen Entscheidungspunkten markante Objekte (Landmarken) durch Handlungsanweisungen mittels Text und graphischen Symbolen ergänzt (WALTHER-FRANKS, 2007). Dabei können die Bilder als Einzelaufnahme (vgl. Abb. 2-8a) oder als 360°-Panoramabild (vgl. Abb. 2-8b) vorliegen (KOLBE et al., 2004a). Auf Grund des zurückliegenden Aufnahmezeitpunktes der Bilddaten eignet sich das Verfahren für unterschiedliche Lichtverhältnisse und kann auch bei schlechter Sicht zum Einsatz kommen. Allerdings erfordert das Herstellen einer Beziehung zwischen Bild und Realität mehr Aufmerksamkeit als bei Echtzeitverfahren, da es zu Veränderungen in der realen Welt kommen kann, die im Bild noch nicht oder falsch abgebildet werden (KOLBE et al., 2004a; KOLBE, 2004).

Erweiterte Videobilder

Der Einsatz von Videobildinformationen für die Navigation erfordert eine im Vorfeld aufgenommene Filmsequenz aller möglichen Routen entlang eines definierten Wegenetzes (KOLBE et al., 2004b). Das daraus resultierende Videomaterial wird nachträglich durch virtuelle und lagerichtige Routenanweisungen ergänzt und aufbereitet (Abb. 2-8c). Wie schon bei der Erweiterung von Einzel- und Panoramabilddaten kann es zu Abweichungen gegenüber der realen Umgebung kommen, sofern es Änderungen in der Realität gibt, die nach dem Aufnahmezeitpunkt stattfanden. Das Verfahren zwingt den Nutzer, den durch die Aufnahme begrenzten Korridor des sichtbaren Bereichs nicht zu verlassen, und verringert dadurch dessen Bewegungsfreiheit (KOLBE et al., 2004a).

Erweiterte Realität

Eine erweiterte Realität (Augmented Reality) bietet, anders als Bilder und Videos, Echtzeit-Bilddaten, die zum aktuellen Zeitpunkt aufgenommen werden. Im Gegensatz zu Videos erfolgt die Erweiterung der Realität nicht im Vorfeld, sondern synchron durch Bewegungsverfolgung (Tracking) zum Aufnahmezeitpunkt. Der Vorteil des Verfahrens für die Navigation liegt in der Kombination aus aktuellen Bildinformationen und großem Realitätsgehalt. Ein grundsätzliches Problem bei der Erweiterung der Realität liegt in der Aufrechterhaltung des visuellen Sinnesindrucks beim Benutzer. Bereits eine geringfügige Lageabweichung zwischen Realität und virtuellem Objekt zerstört die optische Illusion und führt zum Verlust der AR-Darstellung.

Bildsynthese

Die Bildsynthese beschreibt ein Verfahren zur „Beleuchtungskonformen Erweiterung realer Bilder“ (GROSCH, 2008:151). Hierbei werden Bilder oder Videos um virtuelle Objekte erweitert, die sich fotorealistisch in die Bildsituation einfügen (vgl. Abb. 2-8d). Dafür notwendig ist die Rekonstruktion der Aufnahmeparameter, die sich aus der zu Grunde liegenden Bildinformation ergeben. Neben der Simulation von Licht und Schatten wird die Oberflächenbeschaffenheit des dargestellten Objektmaterials nachgebildet, so dass eine Unterscheidung zwischen Realität und virtuellem Objekt für den Nutzer schwierig bis unmöglich ist (GROSCH, 2008).

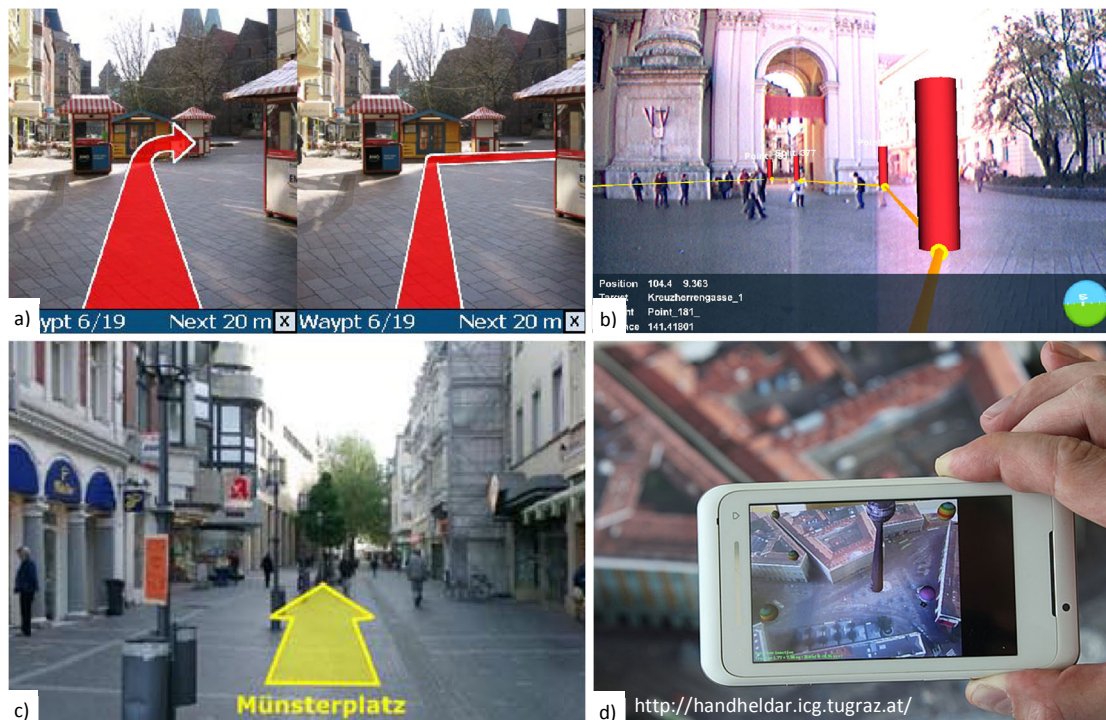


Abb. 2-8: Augmentierte Bilder (a), Augmentierte Videos (b), 360°-Panoramaabbildung (c), Bildsynthese (d), Quellen: (WALTHER-FRANKS, 2007; KOLBE et al., 2004a; KOLBE et al., 2004b; REITMAYR & SCHMALSTIEG, 2004)

2.3. Augmented Reality-Navigation

Aufgrund der Bedeutung für diese Arbeit soll nachfolgend eine Auswahl an aktuellen Navigationssystemen auf Basis von AR bzw. erweiterten Bild- und Videobilddaten vorgestellt werden (vgl. Tab. 2-1). Neben Herstellern von Fahrzeugnavigationssystemen, wie Blaupunkt¹, oder Internet-Dienstleistern, wie Google², bietet das Salzburger Unternehmen Wikitude³ eine vollwertige AR-Navigationsanwendung an.

	Hersteller	Produkt	Version	Kategorie
1	Blaupunkt	Travel Pilot 700	-	Pseudo AR-Navigation
2	Google	Google Maps Navigation	Beta	Augmentierte Bildserie
3	Wikitude	Wikitude World Browser	6.1.0	Augmented-Reality-Browser
4	Wikitude	Wikitude Drive	1.03	Augmented-Reality-Navigation

Tab. 2-1: Auswahl kommerzieller Entwicklungen

Blaupunkt Travel Pilot

Die Firma Blaupunkt entwickelte als einer der ersten kommerziellen Hersteller ein Navigationssystem, das die Realität durch virtuelle Navigationsanweisungen erweitert (vgl. Abb. 2-9a). Die Zielgruppe des Blaupunkt **Travel-Pilot** sind Autofahrer, die dank Echtzeit-Kamerabilddaten die Verkehrslage beim Lesen der Navigationsanweisung nicht aus den Augen verlieren. Nach der Definition Azumas (1997) stellt der Blaupunkt Travel Pilot keine Augmented Reality dar, da eine dreidimensionale Beziehung der virtuellen Objekte zur Realität fehlt. Der Vorteil für den Anwender ist, dass durch die Erweiterung der Realität der Bezug auf die Umwelt erhalten bleibt und die Abstraktion der Navigationsanweisung entfällt.

Google Maps Navigation

Die Firma Google begann im Jahre 2007 damit, ihren eigenen Kartendienst Google Maps um 360°-Panoramabilder der Straßenperspektive zu erweitern. Der daraus resultierende Zusatzdienst Google Street View bildete die Grundlage von **Google Maps Navigation**. Die Darstellung der Anwendung basiert auf einer Kombination von Panoramabilddaten und einer lagerichtigen, virtuellen Route (vgl. Abb. 2-9b). Je nach Position und Verfügbarkeit kann der Nutzer wählen, welche Ansicht, Satellitenbildkarte oder Panoramaabbildung, der Navigation zu Grunde liegen soll. Darüber hinaus bietet Google Maps Navigation einen Fußgänger-Modus (Walking Navigation) mit detaillierten Sprachanweisungen und einen ÖPNV-Modus (Transit Navigation) mit der Möglichkeit, den öffentlichen Personennahverkehr für die Wegsuche zu berücksichtigen.

¹ <http://www.blaupunkt.de/>, Aufruf am: 24.6.2012

² <http://www.google.com/mobile/navigation/>, Aufruf am: 1.6.2011

³ <http://www.wikitude.com/de>, Aufruf am: 1.6.2011

Wikitude Browser

Die Salzburger Firma Mobilizy veröffentlichte im Jahre 2007 als eine der ersten Firmen weltweit eine Augmented-Reality-Anwendung auf Smartphone-Basis. Der **Wikitude-Browser**⁴ stellt potentiell interessante Orte in der näheren Umgebung als Point of Interest (POI) lagegetreu und in Echtzeit vor der Kamerabildszene dar (vgl. Abb. 2-9c). Wikitude ermöglichte es Nutzern, prominente Orte kennenzulernen und bei Bedarf weiterführende Informationen durch Verlinkung, auf z.B. Wikipedia-Artikel, anzubieten.

Wikitude Drive

Die für Autofahrer entwickelte Erweiterung von Wikitude zu **Wikitude Drive**⁵ überlagert das Kamerabild in Echtzeit mit einer virtuellen Routendarstellung (vgl. Abb. 2-9d). Der Hersteller beschreibt den Vorteil von Wikitude Drive auf seiner Website wie folgt: „*Einer Linie in der Wirklichkeit zu folgen ist in der Regel einfacher als der in einer abstrakten Karte eingeblendete Route zu folgen, die nur wenig Ähnlichkeit mit der Wirklichkeit hat.*“ Neben der Ansicht einer erweiterten Realität besteht die Möglichkeit 3D-Kartendarstellungen anzuzeigen, um auch die Navigation bei schlechten Sichtverhältnissen oder bei Nacht zu gewährleisten.



Abb. 2-9: Kommerzielle Entwicklungen, Blaupunkt Travel Pilot (a), Google Maps Navigation (b), Wikitude Browser (c), Wikitude Drive (d)

⁴ <https://market.android.com/details?id=com.wikitude&hl=de>, Aufruf am: 21.6.2011

⁵ <http://www.wikitude.org/de/drive>, Aufruf am: 21.6.2011

2.4. Zusammenfassung

Die Bewegungsfreiheit eines Fußgängers ist praktisch unbegrenzt. Während Autofahrer auf das Straßennetz angewiesen sind, erstreckt sich der Bewegungsraum eines Fußgängers vorrangig auf Straßen, Wegen und Plätzen. Die Fußgängernavigation erfordert eine Datengrundlage, die den qualitativen Ansprüchen der Nutzergruppe gerecht wird. Mit der Entwicklung immer kleinerer und leistungsfähigerer Hardware steigt der Bedarf an mobilen Anwendungen und erfordert Lösungen und Strategien, um Geoinformation zu jeder Zeit und auf kleinstem Raum zur Verfügung zu stellen.

Ein Navigationssystem vermittelt explizite Kommandos auf Grundlage verschiedener Kommunikations- und Anweisungsformen, die ein Nutzer in einer bestimmten Reihenfolge und an einem bestimmten Ort befolgen muss, um einen Zielpunkt zu erreichen. Bisherige Navigationssysteme für Fußgänger basieren auf 2D-Kartendarstellungen oder bilden die Realität als dreidimensionales Modell ab. Ein Großteil der auf dem Markt befindlichen Navigationssysteme für Fußgänger stellen reduzierte Varianten aus Fahrzeugen dar. Die Präsentation der Darstellungsszene variiert je nach Einsatzbereich und Nutzertyp und wird durch Benutzerprofile verwaltet.

Der Kommunikationsprozess des Menschen unterscheidet zwischen einseitiger und wechselseitiger Beziehung. Während eine Unterhaltung zwischen zwei Menschen dadurch geprägt ist, dass beide Partner wechselseitig aufeinander reagieren, vermittelt ein Navigationssystem die Anweisung einseitig, ohne dass der Nutzer eingreifen kann. Die Auswahl der zum Einsatz kommenden Anweisungsformen eines Fußgängernavigationssystems kann in sequentielle und parallele Verfahren unterschieden werden. Der Unterschied liegt in der Präsentation der Anweisung, die bei Text- bzw. Sprachanweisungen in Einzelschritten erfolgt und bei graphischen bzw. kartographischen Darstellungsformen gleichzeitig. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Realität mit einer virtuellen Anweisung zu kombinieren, um dadurch eine erweiterte Realität (Augmented Reality) zu erhalten.

Der Einsatz von Augmented Reality erschafft die Realität nicht neu, sondern erweitert diese um virtuelle Objekte. Dabei wird die Realitätswahrnehmung eines Menschen gesteigert, indem reale Bildinformationen in Echtzeit durch virtuelle Objekte ergänzt werden. Es existieren verschiedene Verfahren, um die Realität zu modellieren bzw. zu erweitern, die sich in der zu Grunde liegenden Bildinformation, dem Realitätsgehalt sowie dem Zeitpunkt der Aufnahme unterscheiden. Bereits heute existieren verschiedene mobile Anwendungen, die diese oder ähnliche Vorgehensweisen nutzen, um Navigationsanweisungen oder raumbezogene Informationen auf Basis von Augmented Reality zu präsentieren. Basierend auf diesem Forschungsstand wird in dieser Arbeit der Einsatz einer erweiterten Realität für die Navigation von Fußgängern untersucht und bewertet.

3. Konzeption & Entwicklung

In folgendem Kapitel wird der Einsatz eines kombinierten Darstellungsverfahrens untersucht, das der natürlichen Fortbewegung und Sichtweise von Fußgängern gerecht wird. Der Schwerpunkt liegt in der Kombination aus Realität und virtueller Realität zu einer gemeinsamen Ansicht, die durch eine virtuelle Routendarstellung erweitert wird. Die perspektivische Anpassung der virtuellen Bildszene sowie die Routenberechnung erfordern ein modulares Navigationskonzept, das sich aus den unterschiedlichen Teilprozessen von Registration und Wegsuche zusammensetzt.

3.1. Navigationskonzept

Das Konzept beschreibt den Aufbau eines Navigationsprototyps mit der Bezeichnung *RealityView* auf Basis einer Kombination aus Bildschirmkarte und erweiterter Realität (vgl. Abb. 3-1). Die Anweisung besteht aus einer virtuellen Routendarstellung, die deckungsgleich vor dem Abbild der Realität am Bildschirm präsentiert wird. Die perspektivische Darstellung der Bildszene und die Berechnung der Sichtverdeckung durch vorgelagerte Objekte erfordert ein komplexes Modell, das dem Betrachter verborgen bleibt (KLUGE, 2010a).



Abb. 3-1: Grundkonzept des RealityView-Prototyps

Konzeptioneller Aufbau

Der konzeptionelle Aufbau des RealityView-Prototyps setzt sich zusammen aus den zwei Teilbereichen Nutzer und System, die über eine Schnittstelle verbunden sind. Der Systemaufbau untergliedert sich in die drei Teilbereiche sensorische Erfassung, Planung und Anweisung. Den Abschluss der systemseitigen Verarbeitung bildet die Ausgabe und Präsentation der Anweisung am Bildschirm. Der Nutzer nimmt die Darstellung visuell wahr und verarbeitet diese. Das Ergebnis bildet eine Handlung, die in Form einer Bewegung umgesetzt wird und zu einem erneuten Durchlauf der Prozesskette führt (vgl. Abb. 3-2).

- (1) Jede Handlung und Bewegung des Nutzers führt zu einer Veränderung der Geräteausrichtung und wird **sensorisch erfasst**.
- (2) Die **Routenplanung** vereint die Teilprozesse Positionierung, Lokalisierung und Wegsuche. Das Ergebnis bildet einen Routenverlauf ausgehend von der aktuellen Position zu einem definierten Zielpunkt.
- (3) Die **Routenanweisung** kombiniert den virtuellen Routenverlauf und die Kamerabilddarstellung als Erweiterte Realität.
- (4) Die **Präsentation** der AR-Darstellung erfolgt auf den zur Verfügung stehenden Ausgabegeräten der Systemhardware.
- (5) **Der Nutzer** erfasst die Darstellung und verarbeitet die darin enthaltene Information, um daraus eine Handlungsanweisung abzuleiten, die zu einer Bewegung führt.

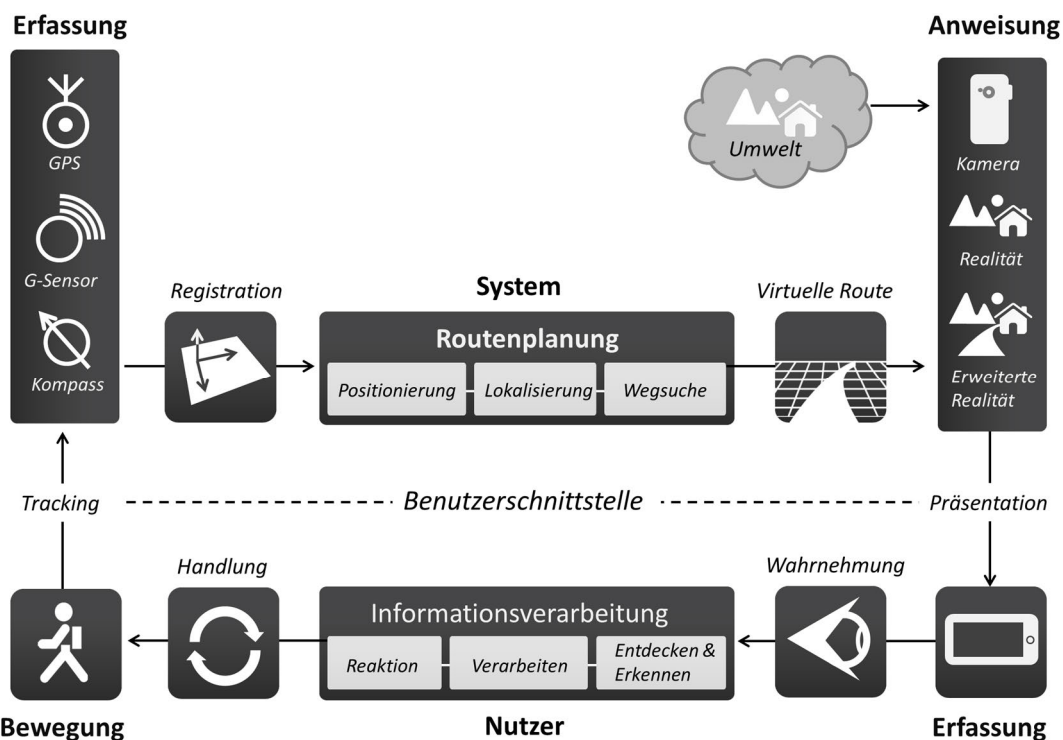


Abb. 3-2: Konzeptioneller Aufbau des RealityView-Navigationsprototyps

3.2. Erfassung & Registration

Registration ist der Prozess zur Überlagerung von zwei (oder mehreren) Bildszenen mit einem gemeinsamen Bildausschnitt, die zu unterschiedlichen Zeiten, von unterschiedlichen Standpunkten und/oder in unterschiedlichen Realitätsformen entstanden sind (ZITOVA & FLUSSER, 2003). Eines der zentralen Anliegen im Zusammenhang mit AR ist die korrekte Platzierung virtueller Objekte in Abhängigkeit zur Realität. Die Grundlage bilden **Tracking**-Verfahren, um die Lage und Ausrichtung eines virtuellen Objektes im dreidimensionalen Raum sensorisch zu erfassen.

3.2.1. Lageerfassung

Ein wesentliches Problem im Zusammenhang mit Augmented Reality ist, dass sich die Position und Lage von virtuellen Objekten permanent verändert. Die Ausrichtung eines Objektes ist nur für einen bestimmten Bildausschnitt gültig. Sobald sich dieser verändert, ist die erneute Anpassung (*Registration*) der Lage im dreidimensionalen Raum notwendig, um die Illusion aus realer und virtueller Welt für den Betrachter aufrecht zu erhalten (HOLLOWAY, 2001).

Mit Hilfe der drei Eulerwinkel Roll, Nick und Gier lässt sich die Lage von Objekten im dreidimensionalen Raum beschreiben. Die Winkel ergeben ein rechtshändiges Koordinatensystem, dessen Ursprung in der Mitte der Objekte liegt und gleichzeitig das Zentrum der lokalen Gravitation darstellt. Jede der drei Achsen symbolisiert die möglichen Drehbewegungen, um die sich ein Objekt im Raum drehen kann (MALIK, 2002; HOLLOWAY, 2001).

- **Roll** (*roll*) ist definiert als der Winkel der Längsachse zwischen Horizontalebene und Bewegungsrichtung.
- **Nick** (*pitch*) umfasst den Winkel zwischen der Objektachse in Längsrichtung und der lokalen Horizontalebene.
- **Gier** (*yaw*) beschreibt die senkrechte Drehung in der Ebene um die z-Achse.

Alle drei Winkel sind referenziert auf die horizontale Orientierung der Erdoberfläche und lotgenau ausgerichtet (vgl. Abb. 3-3). Die Horizontalebene entspricht der Fläche, die senkrecht zur Erdbeschleunigung steht und in der die Werte der Raumwinkel von Roll und Nick null ergeben (FOLEY et al., 1997; CARUSO, 2000).

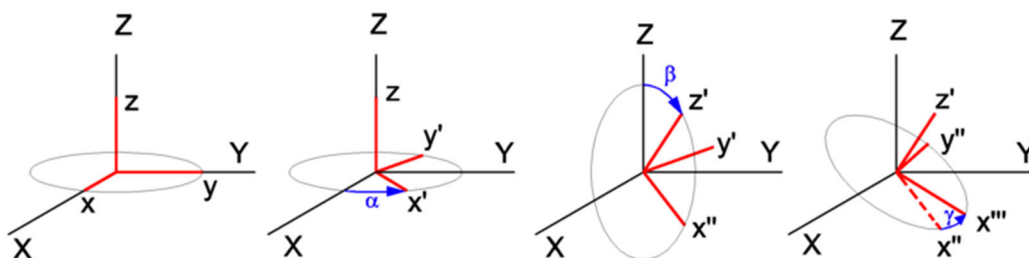


Abb. 3-3: Eulerwinkel Roll, Nick und Gier, Quelle: (WORMER, 2009)

3.2.2. Trackingprozess

„Tracking for virtual environments is necessary to record the position and the orientation of real objects in physical space and to allow spatial consistency between real and virtual objects.“ (ROLLAND et al., 2001:1). Unabhängig von dem zum Einsatz kommenden Trackingverfahren existieren allgemeine Anforderungen an ein System hinsichtlich der Stabilität, der Aktualisierungsrate und der Genauigkeit, die es zu erfüllen gilt (AZUMA et al., 2001; RIBO et al., 2001; VALLINO, 1998).

- Die **Stabilität** eines Systems im täglichen Einsatz ist ein entscheidendes Kriterium für die Zuverlässigkeit und Sicherheit.
- Die **Aktualisierungsrate** der Sensoren hat Einfluss auf die Zeitdauer, bis eine Abbildung am Bildschirm sichtbar wird und kann zu Verzögerungen führen.
- Die **Genauigkeit** der Messwerte ist abhängig vom Toleranzbereich der Sensor-komponenten und hat Auswirkungen auf die Größe des Gesamtfehlers.

„An important goal of most augmented reality systems is to display computer-generated objects so that they appear to be aligned with the real objects in the scene.“ (HOLLOWAY, 2001:183). Einen maßgeblichen Anteil am Erfolg der deckungsgleichen Überlagerung virtueller Objekte vor einer Realbildszene liegt in der Zeitdauer, bis ein Objekt auf dem Bildschirm erscheint. Diese Zeitdifferenz wird als **Latenzzeit** bezeichnet und setzt sich zusammen aus der Summe der Verzögerungen bei der Datenerfassung, der Datenverarbeitung, dem Bildaufbau (Rendering) und der Darstellung am Bildschirm. Bereits eine Verzögerung von mehr als einer Millisekunde kann zu einer sichtbaren Abweichung der Lage des Bildes am Bildschirm führen (ROLLAND et al., 2001).

„Without accurate registration, augmented Reality will not be accepted in many applications“ (AZUMA, 1997:18). Die deckungsgleiche Überlagerung von virtuellen Objekten in ihrer exakten Position und zur aktuellen Zeit bildet die grundlegende Aufgabe eines Augmented Reality Systems. Schon eine geringfügige Abweichung des virtuellen Objektes von der Position in der realen Bildszene genügt, um die visuelle Illusion zu zerstören. Der Grund dafür ist die besondere Stellung der visuellen Sinneswahrnehmung des Menschen gegenüber den anderen Sinnen, auch bekannt unter der Bezeichnung Visual Capture (JACOBI, 2009; ZIMBARDO & GERRING, 2011).

Visual Capture ist eine Veranlagung des menschlichen Gehirns, dem, was es sieht, mehr zu glauben als dem, was es hört, fühlt oder riecht (WELCH, 1978 in AZUMA, 1997). Das hat zur Folge, dass im Fall einer Sinnesstörung der visuelle Sinn gegenüber den anderen Sinnen dominiert und sich über die widersprüchlichen Wahrnehmungen der anderen Sinne hinwegsetzt. Dieser Effekt tritt nicht nur in AR-Darstellungen auf, sondern begegnet Nutzern auch in Virtuellen Realitäten, allerdings mit einer geringeren Auswirkung auf die Sinneswahrnehmung. „Registration problems also exist in Virtual Environments, but they are not nearly as serious because they are harder to detect than in Augmented Reality.“ (AZUMA, 1997:18)

3.2.3. Trackingverfahren

Es existieren verschiedene technologische Verfahren, um die Lage und Ausrichtung eines sich bewegendes Objektes zu registrieren. Die individuellen Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren lassen sich vorrangig in deren Verfügbarkeit sowie der Genauigkeit unterscheiden und werden in Tab. 3-1 zusammengefasst (JACOBI, 2009).

	Trackingverfahren	Präzision	Vorteil	Nachteil
1	Akustisches Tracking	Gering	Kleine Bauform, einfache Berechnung	Sichtverbindung notwendig, abhängig von Umweltfaktoren
2	Satellitenbasiertes Tracking	Mittel	Weltweit verfügbar	Sichtverbindung zu Satelliten notwendig, geringe Updaterate
3	Inertialtracking	Gering	Keine Infrastruktur notwendig, kleine Bauart möglich	Relative Messung (je Sensor nur ein Freiheitsgrad)
4	Magnetisches Tracking	Mittel	Hohe Updaterate, keine Sichtverbindung notwendig	Kleine Reichweite, starke Verzerrungen
5	Optisches Tracking	Hoch	Hohe Reichweite, mobiler Einsatz	Sichtverbindung zu optischen Markern notwendig
6	Sensorfusion	Hoch	Verringerung der Nachteile einzelner Sensoren	mehrere Sensoren notwendig

Tab. 3-1: Trackingverfahren, Quelle: (BUTZ, 2009)

Akustisches- /Satellitenbasiertes Tracking

Sowohl akustische wie auch Satellitenbasierte Trackingverfahren arbeiten nach dem Prinzip der relativen Positionierung in Bezug auf mindestens drei Signalquellen. Beide Verfahren benötigen eine direkte Sichtverbindung zum Sender (*Line of Sight*) und werden durch Umweltfaktoren beeinflusst. Satellitensignale besitzen den Vorteil, dass diese weltweit verfügbar sind und damit das Verfahren praktisch unbegrenzt einsatzfähig ist (DURLACH & MAVOR, 1995).

Inertial- /Magnetisches Tracking

Inertial- und Magnetische Trackingverfahren bilden ortsunabhängige Systeme, die eine Veränderung weltweit verfügbarer Umwelteinflüsse messen. Inertialsensoren bestehen aus G-Sensoren (Beschleunigungssensor) und Gyroskopen und beruhen auf dem Grundprinzip der Messung der Trägheit von Massen (BUTZ, 2009). Magnetisches Tracking basiert auf elektronischen Kompasssystemen, die in einem Magnetfeld von der Lorentzkraft abgelenkt werden. Von der Stärke, mit der ein Leiter aus seiner Position herausgelenkt wird, kann auf die momentane Orientierung des Magnetfelds geschlossen werden. Dadurch entsteht im Leiter die sogenannte Hall-Spannung senkrecht zur Stromfluss- und zur Magnetfeldrichtung, die sich, in Abhängigkeit zur Richtung, ändert (RIBO et al., 2002).

Optisches Tracking

Optische Tracker werten die Informationen von Bildsensoren aus, um daraus die Position und Orientierung abzuleiten. Das Ziel ist die Bestimmung der Lage und Ausrichtung des Kamerastandpunktes im Raum. Die Grundlage bilden künstliche Marker oder natürliche Landmarkenobjekte. Optische Tracker besitzen eine hohe Genauigkeit und können nur in einer dafür vorgesehenen Umgebung eingesetzt werden. Die Nachteile bestehen in der notwendigen Sichtverbindung zum Referenzobjekt und in der hohen Reaktionszeit auf Grund der umfangreichen Bildberechnungen (ZLATANOVA, 2002; ROLLAND et al., 2001:78 ff.).

Sensorfusion

Die Sensorfusion kombiniert die beiden Vorteile einer großen Bewegungsfreiheit mit einer kurzen Reaktionszeit und ist das Verfahren, welches im RealityView-Konzept Anwendung findet. Die Grundlage bildet die Kombination verschiedener Sensoren, wodurch sich die Nachteile der einzelnen Sensoren verringert. Unterscheiden lassen sich komplementäre und kooperative Sensorsysteme, deren Eigenschaften wie folgt definiert sind (BUTZ, 2009; PRZEMYSLAW et al., 2011).

- **Komplementäre Sensorsysteme** minimieren den maximalen Gesamtfehler durch Mehrfachmessung der räumlichen Beziehung.
- **Kooperative Sensorsysteme** ergänzen sich gegenseitig um Informationen zum Ausgleich der Defizite einzelner Komponenten.

Die Messung der Positions- und Richtungswerte erfolgt durch GPS (Positionssensor) und Kompass (Magnetfeldsensor). Die Raumwinkel Roll und Nick sind beide abhängig von der Gravitation und lassen sich durch den Beschleunigungssensor bestimmen. Der Gier-Winkel (Azimut) kann nicht direkt gemessen werden. Alternativ lässt sich dieser mit Hilfe eines Magnetometers aus der magnetischen Feldstärke unter Berücksichtigung der Deklination ableiten. Das Verfahren ist anfällig gegenüber Störsignalen und kann in Kombination mit einem Gyroskop korrigiert werden (vgl. Abb. 3-4).

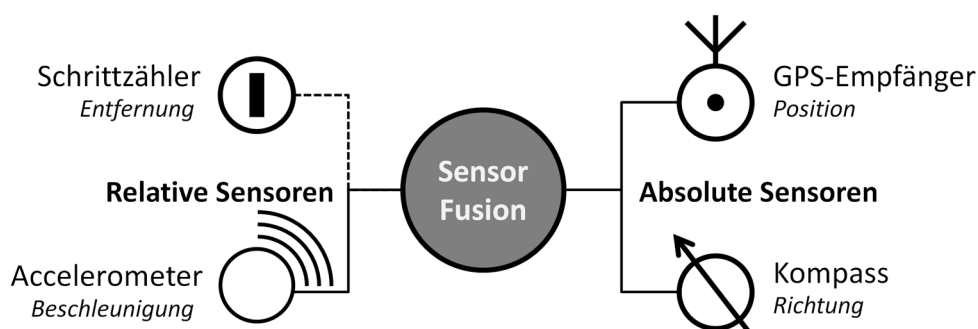


Abb. 3-4: Sensorfusion, Quelle: (KLUGE, 2010b)

3.3. Routenplanung

Navigation ist die aus einer Standortbestimmung und Streckenauswahl resultierende Bewegung im Raum (BOLLMANN & KOCH, 2005:171). Der Navigationsprozess setzt sich zusammen aus den Teilprozessen Positionierung und Wegsuche und liefert im Ergebnis eine Route zwischen dem Standort und einem festgelegten Zielpunkt. Ein Navigationssystem ermöglicht die mobile Zielführung eines Nutzers auf Grundlage raumbezogener Geoinformationen.

3.3.1. Datengrundlage

Nutzergenerierte Daten (*user generated content*) bilden die Gesamtheit aller nutzerseitig erstellten Medieninhalte in einem globalen Netzwerk (Internet). Im Unterschied zu kommerziellen Daten lassen sich diese modifizieren und erweitern. Das heißt, jeder Nutzer hat die Möglichkeit, den gesamten Datenbestand zu aktualisieren oder zu verändern (RAMM & TOPF, 2010; HOLONE et al., 2007).

OpenStreetMap

Nach dem Vorbild der freien Enzyklopädie Wikipedia⁶ haben sich Nutzer weltweit zum Ziel gesetzt, eine eigene Weltkarte zu erstellen. Das Projekt mit dem Namen OpenStreetMap (OSM)⁷ steht für den freien Zugang von Geodaten durch alle, ohne dass dafür Kosten entstehen. Der Datenbestand wird direkt am Computer aus Satellitenbildern digitalisiert oder durch Tracks von Satellitenempfängern ergänzt. Die Grundlage bildet ein Objektartenkatalog⁸, der vorschreibt, wie ein Objekt und dessen Attribute bezeichnet werden. Der Nachteil des OSM-Projektes ist, dass keine verbindlichen Regeln existieren, die verhindern, dass ein Objekt abweichend vom Objektartenkatalog integriert wird. Die Qualität und Dichte von OSM-Daten ist heterogen und nimmt mit der Entfernung zu Städten stetig ab (NEIS et al., 2010).

Lizenzierung

Freie Daten, die durch die Arbeitskraft vieler verschiedener Personen entstanden sind (*crowd sourcing*), bedürfen einer gesonderten Lizenzierung. Die Daten des OSM-Projektes unterliegen der Creative Commons Attribution-Share-Alike Lizenz⁹ (CC-BY-SA 2.0) in der Version 2.0. Die Lizenz gestattet es Nutzern, die OSM-Daten zu kopieren, zu verbreiten, weiter zu bearbeiten und öffentlich zugänglich zu machen. Die Bedingung dafür lautet, den Inhaber der Rechte zu nennen und die aus OSM-Daten abgeleiteten Werke und Arbeiten nur unter der CC-BY-SA Lizenz weiter zu verbreiten (RAMM & TOPF, 2010). Derzeit befindet sich das OSM-Projekt in einer

⁶ <http://www.wikipedia.de/>, Aufruf am: 7.6.2011

⁷ <http://www.openstreetmap.org/>, Aufruf am: 7.6.2011

⁸ http://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Map_Features, Aufruf am: 8.6.2011

⁹ <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>, Aufruf am: 8.6.2011

Umstiegsphase, die einen Wechsel der bisherigen Lizenz zu einer Open Database License¹⁰ (ODbL) vorsieht. Diese Änderung gestattet es Nutzern zukünftig Endprodukte, die keine Datenbank darstellen, unter Angabe der Quelle, beliebig zu lizenzieren.

Datenhaltung

Die Datenhaltung wird unterschieden in geometrische und attributive Verfahren und beschreibt den Prozess, wie raumbezogene Daten innerhalb eines Datenbestandes gespeichert werden können (vgl. Abb. 3-5).

- Die **geometrische Datenhaltung** modelliert ein Objekt auf Grundlage der geometrischen Ausdehnung.
- Die **attributive Datenhaltung** verknüpft Geometrieobjekte mit attributiven Sachdaten.

Die geometrische Datenhaltung ist für navigationsbezogene Anwendungen von Vorteil, da die Routenplanung auf dem Objekt (z.B. dem Fußweg) erfolgen kann. Das Problem bei geometrischer Datenhaltung liegt in der Fülle an Geoinformationen, die erfasst und im Datenbestand geführt werden müssen. Vor allem in Bereichen mit einer großen Informationsdichte, wie etwa Kreuzungspunkten, wo mehrspurige Straßen und Wege aufeinander treffen (Linienbündel¹¹), kommt es zu Überlagerung der Darstellung (BIEBER et al., 2011). Alternativ zu geometrischer Datenhaltung lassen sich Objekteigenschaften attributiv beschreiben. Die Eigenschaften beziehen sich sowohl auf das Objekt selbst (Name, Breite, Baujahr etc.) oder auf die Eigenschaften von benachbarten Objekten (`footway:left`, `crossing=traffic_signals` etc.). Attributive Datenhaltung erfordert die Anwendung einheitlicher Objektattribute und setzt eine hierarchische Gliederung voraus.

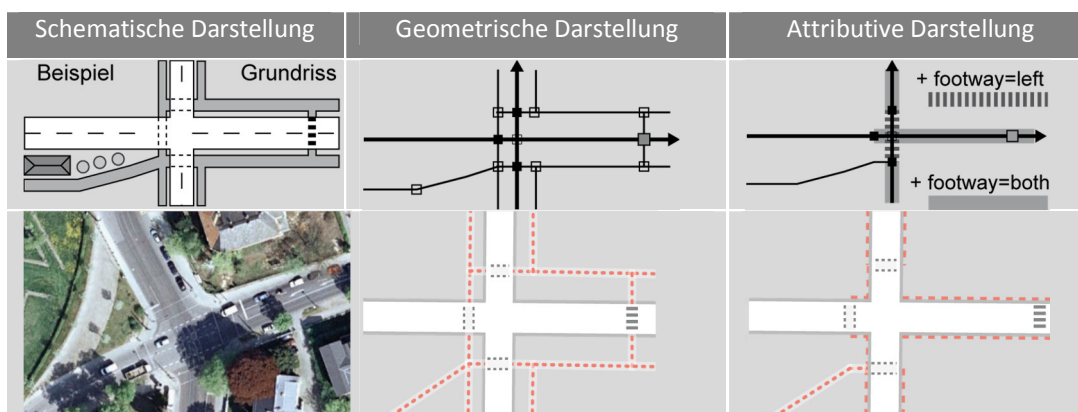


Abb. 3-5: Vergleich unterschiedlicher Datenhaltungsverfahren, Quelle: (BIEBER et al., 2011)

¹⁰ http://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:ODbL/Wir_wechseln_die_Lizenz, Aufruf am: 5.8.2011

¹¹ http://wiki.openstreetmap.org/wiki/WikiProject_Germany/Workshops/Linienbündel, Aufruf am: 5.8.2011

3.3.2. Positionierung

Der Positionierungsprozess setzt sich zusammen aus der Bestimmung von Lageparametern innerhalb eines Referenzsystems und der Zuweisung der Position zu einem eindeutigen Wegpunkt. Es existieren verschiedene technologische Verfahren, um die Position eines Nutzers zu bestimmen (vgl. Tab. 3-2). Diese unterscheiden sich vorrangig in den Merkmalspunkten Präzision und Abdeckung (KLUGE, 2010b).

	Positionierungsverfahren	Präzision	Abdeckung (innen)	Abdeckung (außen)
1	Satellitenbasiert	Hoch (~10m)	-	Hoch
2	Koppelnavigation	Mittel (~100m)	Hoch	Hoch
3	Netzwerkgestützt	Mittel (~100m)	Mittel	Mittel
4	Computer Vision	Sehr Hoch (~1m)	Gering	Gering

Tab. 3-2: Positionierungsverfahren, Quelle: (PAELKE et al., 2008)

Satellitenbasierte Positionierung

Das derzeit am weitesten verbreitetste globale Positionierungsverfahren ist das NAVSTAR-GPS¹² (*Navigation System for Timing and Ranging-GPS*), welches als militärisches Positionierungssystem der Vereinigten Staaten von Amerika entwickelt wurde. GPS (*Global Positioning System*) besteht derzeit aus 24 aktiven Satelliten, die die Erde in ca. 12 Stunden einmal umrunden. Im Jahre 2000 wurde das künstliche Rauschen, genannt *Selective Availability*, abgeschaltet und dadurch das System für die zivile Nutzung zugänglich gemacht. Neben GPS existieren weitere nationale Systeme, wie etwa das russische GLONASS¹³ sowie das in Realisierung befindliche europäische GALILEO¹⁴ (BAUER, 1997; BENKER, 2007; HIGHTOWER & BORRIELLO, 2001).

Alternative Positionierungsverfahren

Eine Positionsbestimmung ohne Zuhilfenahme externer Informationen oder Signale, nur auf Grundlage sensorisch erfasster Messgrößen, wird als Koppelnavigation (*dead reckoning*) bezeichnet. Durch Messung des Signalpegels von öffentlich verfügbaren Funknetzen (WLAN, Bluetooth) besteht die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die Entfernung zu einem Access Point (*Hot Spot*) zu erhalten (BLANKENBACH, 2007). Die Bestimmung der Position auf Grundlage visuell erfasster Objektformen wird als Computer Vision bezeichnet. Dabei können je nach Anwendungsgebiet und der zu erzielenden Genauigkeit verschiedene Objekte, wie etwa Gebäudefassaden oder Straßenschilder, als Referenzpunkte zum Einsatz kommen (SCHMIDT, 2010).

¹² <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPS>, Aufruf am: 22.7.2011

¹³ <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/>, Aufruf am: 23.6.2011

¹⁴ <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>, Aufruf am: 28.6.2011

3.3.3. Wegsuche

Die Wegsuche in einem Navigationssystem basiert auf der Berechnung eines Pfades zwischen zwei Knoten innerhalb eines Graphen. Die Grundlage bildet eine Kostenfunktion, die in Abhängigkeit von den Faktoren, wie etwa Zeit oder Entfernung, unterschiedliche Auswirkungen auf den Routenverlauf hat. Die Lösung von Wegsuche-Problemen in der Informatik ist beschrieben durch ein *single source shortest path problem* (SSSP) und wird umgangssprachlich auch als **Routing** bezeichnet (KRUMKE & NOLTEMEIER, 2009).

Graphentheorie

Die Graphentheorie beschreibt die Eigenschaften von Graphen und deren Beziehung zueinander. Ein Graph besteht aus einer Menge von Punkten, die als Knoten bezeichnet werden. Die Verbindung von zwei Knoten ergibt eine Kante. Ein ungerichteter Graph G ist durch ein Paar $G = (V, E)$ gegeben, wobei V eine endliche Menge an Knoten (vertices) angibt und $E \subset P(V)$ einer Menge von Kanten (edges) entspricht. Ein Knoten innerhalb eines Graphen modelliert Zustände, Situationen oder Positionen, während Kanten die Beziehungen (Relationen) zwischen den Knoten beschreiben. Mit Hilfe von Graphen können algorithmische Probleme, so auch die Wegsuche, als Modell vereinfacht werden (KRUMKE & NOLTEMEIER, 2009).

Dijkstra-Algorithmus

Ein Algorithmus ist eine präzise und eindeutig formulierte Verarbeitungsvorschrift „so dass sie von einer mechanischen und elektronischen arbeitenden Maschine durchgeführt werden kann“ (DE LANGE, 2002). Einer der bekanntesten Vertreter klassischer Wegsuche-Algorithmen in Graphen ist der **Dijkstra-Algorithmus**. Entwickelt und benannt wurde der Algorithmus im Jahre 1959 von Edger W. Dijkstra (DIJKSTRA, 1959). Sofern die kürzesten Wege von einem bestimmten Startknoten zu allen anderen Knoten gesucht sind, lässt sich das mit dem Dijkstra-Algorithmus lösen. Der Dijkstra-Algorithmus gehört zur Klasse von *Greedy*¹⁵ Algorithmen. Dieser findet die kürzeste Verbindung zu allen anderen Knoten, wenn keine negativen Distanzen zugelassen sind. Das Konzept, das sich hinter dem Dijkstra-Algorithmus verbirgt, baut schrittweise einen Baum mit den kürzesten Wegen innerhalb des Graphen auf. Dafür ist eine positive Gewichtung der Kanten auf Grundlage einer Kostenfunktion notwendig, wie etwa Entfernung oder Zeit. Der schrittweise Ablauf des Dijkstra-Algorithmus basiert auf der Auswahl der Knoten, die vom Startknoten aus gesehen die geringsten Kosten aufweisen. Die Funktion dafür lautet $f(x) = g(x)$ wobei $g(x)$ die Distanz zum Startknoten darstellt (KRUMKE & NOLTEMEIER, 2009; SCHMID, 2000; DIJKSTRA, 1959; DIJKSTRA, 1976).

¹⁵ <http://www.tilman.de/uni/ws03/alp/greedy.php>, Aufruf am: 12.8.2011

Wahl des Startknotens

Da die gemessene Position nicht automatisch mit der Position eines Wegpunktes des Graphen übereinstimmt, ist es notwendig, einen geeigneten Startknoten zu definieren. Eine Möglichkeit ist die Verbindung (*matching*) der gemessenen Position mit dem nächstgelegenen Wegpunkt des Graphen. Dieses Verfahren wird als **Point-to-Point Matching** bezeichnet. Eine zweite Möglichkeit, genannt **Point-to-Edge Matching**, besteht darin zu überprüfen, ob der Anschluss von der aktuellen Position an die nächstgelegene Kante möglich ist (REH, 2008, vgl. Abb. 3-6).

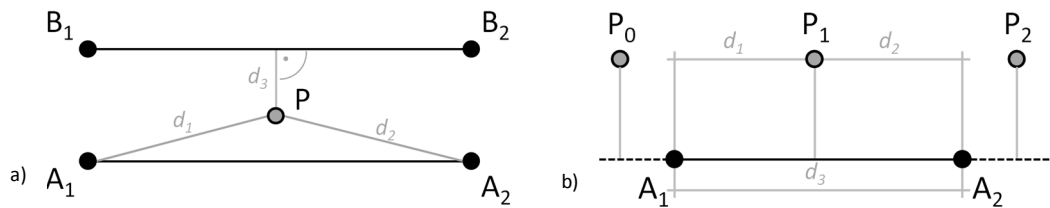


Abb. 3-6: Wahl des Startknotens, Point-to-Point (a), Point-to-Edge (b), Quelle: Erweitert nach (GEESEN, 2008)

Map-Matching

Störeinflüsse, wie etwa Signalabschattungen oder Mehrfachreflexionen, können die Genauigkeit der Positionierung verschlechtern. **Map-Matching-Verfahren** gleichen die gemessene Position mit der Kartengrundlage ab, um die wahrscheinlichste Position in der Karte zu ermitteln (WHITE et al., 2000). Im Unterschied zu Fahrzeugen werden Fußgänger nicht auf der Fahrbahn positioniert, sondern auf Fußwegen entlang der Fahrbahnaußenseite. Für den Fall, dass die Fußwege geometrisch erfasst wurden, kann die Korrektur der Position direkt auf diesen erfolgen. Die attributive Angabe von Fußwegen erfordert die Zuweisung der Position auf die Straßengeometrie und anschließend den Versatz um die Breite und Anzahl der Fahrspuren (BERNSTEIN & KORNHAUSER, 1998; WHITE et al., 2000, vgl. Abb. 3-7).

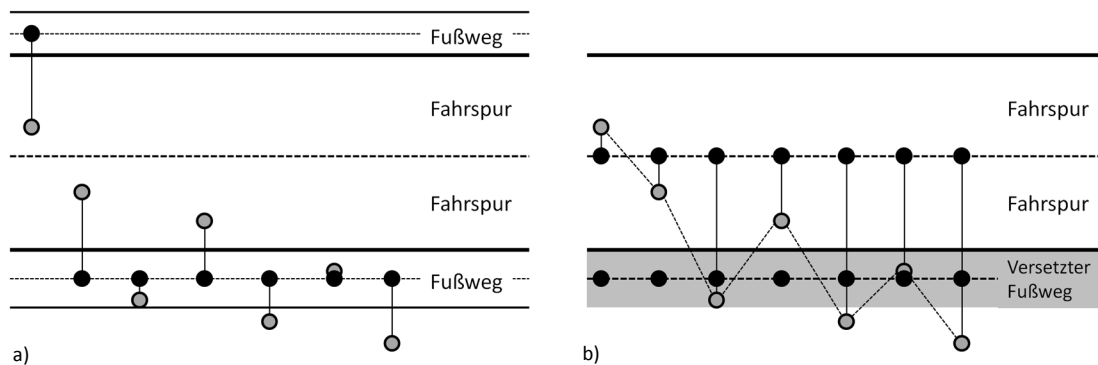


Abb. 3-7: Schematische Darstellung des Map-Matching Verfahrens, Geometrische Datenhaltung (a), Attributive Datenhaltung (b), Quelle: Erweitert nach (GEESEN, 2008)

3.4. Routenanweisung

Eine Anweisung ist die schrittweise Abfolge von festgelegten Kommandos, die eine spezifische Handlung beschreiben (DANIEL & DENIS, 1998). Die Grundlage bilden Kommunikationsformen, die diese in Einzelschritten präsentieren (vgl. Kap. 2.1.2). Eine Routenanweisung ist gekoppelt an eine definierte Position und muss zu einem festgelegten Zeitpunkt von einem Nutzer ausgeführt werden.

3.4.1. Text- und Audioanweisungen

Navigationsprobleme entstehen dann, wenn es dem Nutzer nicht gelingt, die Information aus der Anweisung auf die Wirklichkeit zu beziehen. Ein möglicher Grund dafür liegt in der Anweisungsformulierung, die keinen eindeutigen Bezug zur Umgebung aufweist, an der sich ein Nutzer orientieren könnte (CHITTARO & BURIGAT, 2004). Die Zuordnung geschriebener oder gesprochener Anweisungen erfolgt auf Grundlage von realen Bezugspunkten und kann in Vorschau-, Vergleichs- und Sicherheits-Anweisungstypen unterschieden werden (MAY et al., 2003; KRAY et al., 2003; REHRL et al., 2010).

- **Vorschau-Anweisungen** (*Preview*) geben dem Nutzer im Vorfeld Informationen über Entscheidungspunkte oder Verbindungswege.
- **Vergleichs-Anweisungen** (*Identify*) beziehen sich auf einen exakten Bezugspunkt, um die Anweisung zu codieren.
- **Sicherheits-Anweisungen** (*Confirm*) geben dem Nutzer die Bestätigung, dass dieser seine letzte Handlung korrekt ausgeführt hat.

Die Auswahl eines Bezugspunkts kann sowohl quantitativ wie qualitativ erfolgen (vgl. Tab. 3-3). Während sich quantitative Bezugspunkte vom jeweiligen Standort aus auf die Entfernung oder die Zeit bis zur Anweisungshandlung beziehen, nehmen qualitative Bezugspunkte auf Eigenschaften realer Objekte Bezug, wie etwa Kreuzungen, Straßenklassen oder die Lage hervorragender und unverwechselbarer Landmarken in der Umgebung (MAY et al., 2003; REHRL et al., 2009).

	Bezugspunkt	Ausprägung	Basisobjekt	Beispiel
1	Entfernung	Quantitativ/Qualitative	Knoten/ Kante	<i>In 50m/In einiger Entfernung rechts abbiegen.</i>
2	Zeit	Quantitativ/Qualitative	Knoten/ Kante	<i>In 3 Minuten/Demnächst rechts abbiegen.</i>
3	Kreuzung	Qualitativ	Knoten	<i>An der Ampelkreuzung rechts abbiegen.</i>
4	Straßenklasse	Qualitativ	Kante	<i>Folgen Sie der Hauptstraße.</i>
5	Straßenname	Qualitativ	Kante	<i>Biegen Sie rechts ab in die Hegelallee.</i>
6	Landmarken	Qualitativ	Knoten	<i>An der Friedenskirche rechts abbiegen.</i>

Tab. 3-3: Auswahl verschiedener Bezugspunkte für text- und audiobasierte Routenanweisungen

3.4.2. Graphische Routenanweisungen

Graphische Routenanweisungen beziehen sich auf einen Routenverlauf, der sich aus einzelnen Teilsegmenten zusammensetzt. Die Übergänge von einem Segment zum nächsten bilden Entscheidungspunkte, wie etwa Kreuzungen, an denen mehr als nur eine Möglichkeit besteht, weiter zu gehen. Routenanweisungen lassen sich in implizite und explizite Kommandos unterteilen (WALTHER-FRANKS, 2007).

- **Implizite Kommandos** (*Folge-mir-Anweisung*) beschreiben ein Objekt, dem ein Nutzer nur zu folgen braucht, um an den Zielpunkt zu gelangen. Dabei kann das Objekt den Zielpunkt, Entscheidungspunkte oder den Routenverlauf selbst darstellen. Die Objektform kann sowohl punkt-, linien- als auch flächenbasiert vorliegen.
- **Explizite Kommandos** (*Gehe-dorthin-Anweisung*) vermittelt dem Nutzer eine exakte Anweisungshandlung und passt sich dem Routenverlauf an. Die Anzeige erstreckt sich entlang der gesamten Wegstrecke und wird häufig durch Pfeilgraphiken umgesetzt.

AR-Navigationsmethoden

Um die Illusion beim Betrachter nicht zu zerstören, erfordert der Einsatz graphischer Navigationsmethoden innerhalb einer erweiterten Realität die perspektivische Anpassung an die Bildtiefe. Um zu verhindern, dass ein virtuelles Objekt vor der realen Bildszene als optischer Fremdkörper erscheint, muss sichergestellt werden, dass der dreidimensionale Bezug zwischen diesem und der Realität erhalten bleibt. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen lassen sich drei verschiedene Arten von graphischen Navigationsmethoden definieren, die sich auf Grundlage ihrer Dimension unterscheiden lassen.

- **Eindimensionale Methoden** bilden eine positionsgebundene Darstellung, die an einer festgelegten Position die Zielrichtung anzeigen (vgl. Abb. 3-8a).
- **Zweidimensionale Methoden** beschreiben die Aneinanderreihung von Wegpunkten, die den Routenverlauf als Kette darstellen (vgl. Abb. 3-8b).
- **Dreidimensionale Methoden** bilden eine der tatsächlichen Lage und Ausdehnung entsprechende virtuelle Nachbildung der Route (vgl. Abb. 3-8c).



Abb. 3-8: Arten von Navigationsmethoden, eindimensional (a), zweidimensional (b), dreidimensional (c)

Navigationshilfen

Navigationshilfen sollen dem Nutzer die Orientierung in der Realität erleichtern und ihn dabei unterstützen, die Anweisungshandlung zu verstehen. Die Auswahl und Platzierung von Navigationshilfen orientiert sich am Informationsgehalt der zu Grunde liegenden Navigationsmethode und sollte redundante Informationen, die sowohl in der Navigationsmethode als auch in der Navigationshilfe vorkommen, vermeiden (vgl. Tab. 3-4). Es gilt, dass Navigationshilfen *per se* keine adäquate Navigation ermöglichen und erst in Kombination mit einer Navigationsmethode ihr volles Potenzial ausschöpfen (KLUGE, 2009; CHITTARO & BURIGAT, 2004).

	Navigationshilfe	Beschreibung	Beispiel
1	Übersichtskarte	Die Übersichtskarte ist ein kleinmaßstäbiger Kartenausschnitt, der einen Überblick über die Gesamtsituation ermöglicht.	
2	Orientierungshilfen	Orientierungshilfen sind Hilfsmittel, wie etwa Kompass oder Kurspeilung, die eine Orientierung im Raum verbessern.	
3	Entfernungs- und Zeitangaben	Entfernungs- und Zeitangaben sind Text- oder ziffernbasierte Erläuterungen des Routenverlaufs.	250m 3 Min.
4	Objektbezeichnung	Objektbezeichnungen sind Text- oder ziffernbasierte Erläuterungen der aktuellen Position.	
5	Karteninteraktion	Karteninteraktionen haben eine Veränderung der Kartenansicht zur Folge.	
6	Handlungsangabe	Handlungsangaben sind Graphiken oder Symbole, die eine Handlung beschreiben.	
7	Richtungsangabe	Richtungsangaben sind Graphiken oder Symbole, die eine spezifische Richtung angeben.	
8	Point of Interest (POI)	POI's sind Symbole, die einen interessanten Punkt oder eine Landmarke in der Karte markieren.	

Tab. 3-4: Auswahl graphischer Navigationshilfen

3.4.3. Kombinierte Anweisungsformen

Die von einem bestimmten Betrachtungsstandpunkt ausgehende perspektivische Wahrnehmung des Menschen bringt die Lage von Objekten und deren Beziehung zueinander zum Ausdruck (vgl. Kap. 2.1.2). Die Abbildung der Realität im Aufriss entspricht dem Erscheinungsbild der Augen und ist für den Mensch eine natürliche und vertraute Ansichtsform. Im Unterschied zur räumlichen Wahrnehmung des Menschen erfolgt die kartographische Darstellung in einer Karte als generalisierte Grundrissdarstellung. Das dieser Arbeit zu Grunde liegende Konzept kombiniert die Ansichtsform einer erweiterten Realität und einer Bildschirmkarte miteinander und ermöglicht dem Betrachter die Raumwahrnehmung im Auf- und Grundriss, mit dem Ziel, den Vorteil der einen Ansicht zu nutzen, um den Nachteil der jeweils anderen Ansicht auszugleichen (vgl. Abb. 3-9).

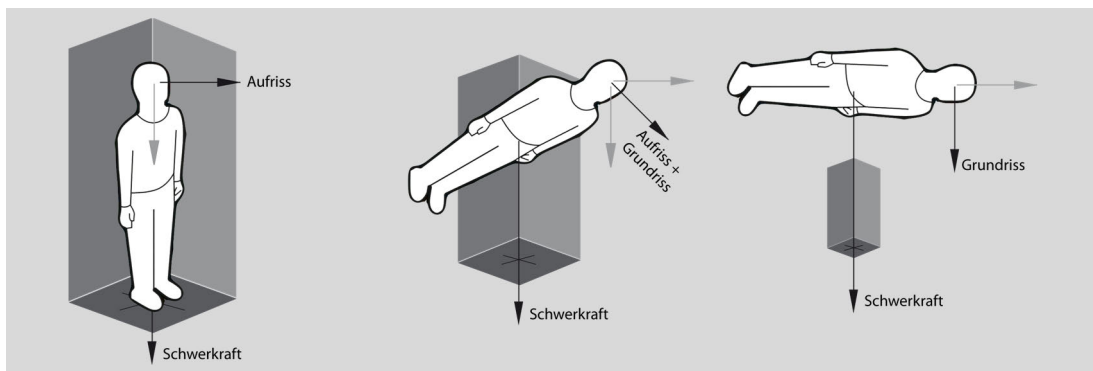


Abb. 3-9: Gegenüberstellung der Raumwahrnehmung im Aufriss-Grundriss, Quelle: (Asche, 2011)

Beide Ansichtsformen basieren auf einem gemeinsamen Datenmodell und werden durch die Gerätelage aktiviert (vgl. Abb. 3-10). Die Bildschirmkarte ermöglicht den Überblick über die Umgebung und stellt den Routenverlauf vollständig dar. Dadurch lassen sich mehrere Anweisungen gleichzeitig abbilden und Entfernungen besser einschätzen. Die Darstellung einer erweiterten Realität bietet dem Nutzer ein ihm vertrautes Erscheinungsbild und bezieht die Navigationsanweisung auf die reale Umgebung. Auf Grund der Darstellungsperspektive und der damit verbundenen Sichtweite ist jeweils nur die nächste Anweisungshandlung sichtbar.

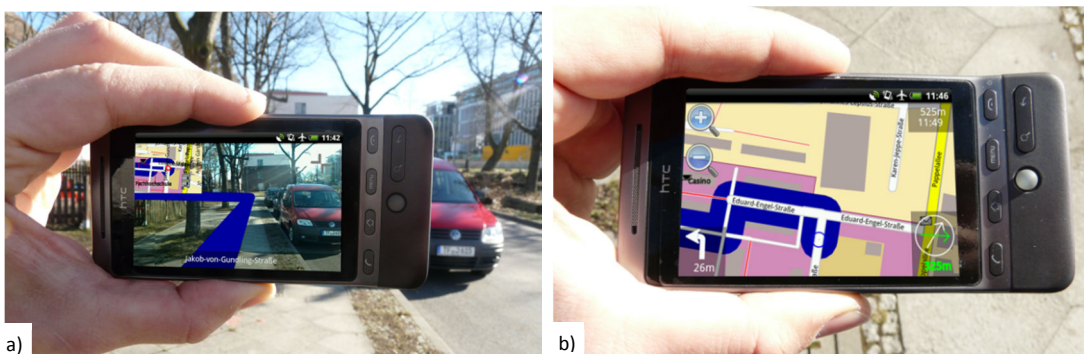


Abb. 3-10: Navigationsansichten, erweiterte Realität (a), Bildschirmkarte (b)

Virtual Cable

Einer der Schwerpunkte dieser Arbeit liegt in der Kombination aus Realität und virtueller Realität zu einer gemeinsamen Ansicht. Die Visualisierung der Anweisung innerhalb der erweiterten Realität entstammt einer Technologie aus der Fahrzeugnavigation und erweitert die Realität durch eine virtuelle Routendarstellung, die dem realen Routenverlauf folgt.

Das **Virtual Cable** bezeichnet ein Navigationsverfahren der Firma Making Virtual Solid¹⁶ (MVS), das dem Fahrer als rotes Kabel in die Windschutzscheibe seines Wagens projiziert wird. Die Firma MVS umwirbt ihr Produkt auf ihrer Homepage mit den Worten: „*Follow the virtual cable – it is save, simple and intuitive*“ (GRABOWSKI et al., 2011). Die Vorteile des Virtual Cable im Überblick:

- (1) **Einfach & intuitiv:** Das Virtual Cable führt einen Nutzer entlang einer Route, ohne eine ausführliche Handlungsbeschreibung und ohne einen Hinweis darauf, an welcher Position oder zu welcher Zeit diese auszuführen ist.
- (2) **Bezug zur Realität:** Da sich das Virtual Cable den Umgebungsbedingungen anpasst und diese erweitert, bleibt der Bezug zur Umwelt erhalten, so dass die Anweisungshandlung, die sich dahinter verbirgt, intuitiv verständlich ist.
- (3) **Echtzeit:** Um die Bewegungsfreiheit eines Nutzers nicht zu beeinträchtigen, wird die Darstellung des Virtual Cable mit Hilfe von Lagesensoren an die Position und Ausrichtung des realen Kamerastandpunktes angepasst.

Keine Darstellungsform ist besser geeignet, um den Verlauf einer Route zu erläutern, als die Route selbst. Der Vorteil des Virtual Cable für den Einsatz in einer erweiterten Realität liegt darin begründet, dass ein Nutzer besser einschätzen kann, wann eine Handlung in der Realität erfolgen muss (WALTHER-FRANKS, 2007). Die Berechnung der Bildszene und die Anpassung an die Bildperspektive basieren auf einem virtuellen Datenmodell, das dem Betrachter verborgen bleibt und ausschließlich in Form des Virtual Cable zu sehen ist (vgl. Abb. 3-11).

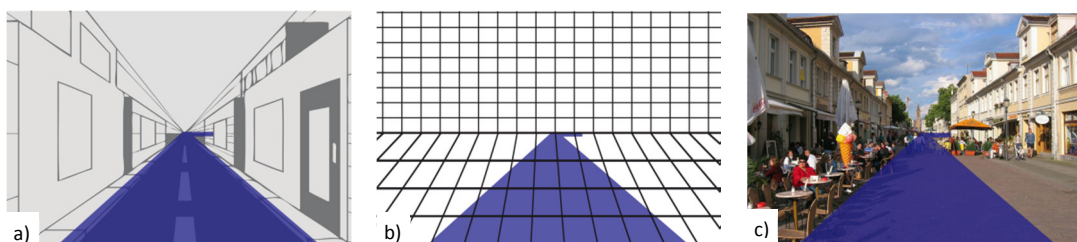


Abb. 3-11: Zusammenstellung des Virtual Cable, Objektverdeckung (a), Perspektivische Anpassung (b), Überlagerung der Kamerabildszene (c), Quelle: (PANORAMIO, 2012)

¹⁶ <http://www.mvs.net/>, Aufruf am: 3.9.2011

3.5. Zusammenfassung

Dank der fortschreitenden technologischen Entwicklung haben sich Navigationssysteme von Verkehrs- über Fahrzeugnavigations- zu alltagsbegleitenden Assistenzsystemen für Fußgänger entwickelt. Der Forschungsbereich Fußgängernavigation wurde in den letzten Jahren in zahlreichen Forschungsprojekten und prototypischen Entwicklungen untersucht und thematisiert. Das Konzept, das dieser Arbeit zu Grund liegt, trägt die Bezeichnung RealityView und knüpft unmittelbar am aktuellen Forschungsstand an. Der zentrale Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Kombination aus Realität und virtueller Realität zu einer erweiterten bzw. vermischten Ansicht (Augmented Reality). Im Gegensatz zu bisherigen Visualisierungsformen wird die Realität mittels Augmented Reality nicht neu erschaffen, sondern um virtuelle Objekte erweitert.

Eines der zentralen Anliegen dieser Arbeit ist die korrekte Platzierung einer virtuellen Routendarstellung (Virtual Cable) in Abhängigkeit zur Realität. Der Prozess zur Überlagerung von zwei unterschiedlichen Bildszenen mit einem gemeinsamen Bildausschnitt wird als Registration bezeichnet. Die sensorische Erfassung der Lage und Ausrichtung im dreidimensionalen Raum erfolgt durch unterschiedliche Trackingverfahren, die sich vorrangig in deren Verfügbarkeit sowie der Genauigkeit unterscheiden. Die weitere Verarbeitung der Sensormesswerte setzt sich aus den zwei Teilprozessen von Positionierung und Wegsuche zusammen. Das Ergebnis bildet ein Routenverlauf, der auf Grundlage der Daten des freien OpenStreetMap-Projektes die optimale Verbindung zu einem festgelegten Zielpunkt darstellt.

Ein entscheidendes Kriterium, um eine Navigationsanweisung verständlich zu formulieren, ist die Auswahl und Kombination von Navigationsmethoden. Der RealityView-Prototyp basiert auf zwei verschiedenen Ansichtsformen, die in einer Anwendung vereint werden. Neben einer Bildschirmkarte im Grundriss besteht die Möglichkeit der Darstellung einer erweiterten Realität im Aufriss. Beide Ansichtsformen vermitteln die Navigationsanweisung auf Grundlage des Routenverlaufs und ermöglichen dem Betrachter eine differenzierte Raumwahrnehmung. Dadurch gelingt es, das dem Menschen vertraute Erscheinungsbild einer erweiterten Realität mit der übersichtlichen Darstellung einer Karte zu kombinieren und so den Vorteil der einen Ansicht zu nutzen, um den Nachteil der jeweils anderen auszugleichen.

4. Umsetzung & Integration

Das folgende Kapitel umfasst die **Umsetzung und Integration** des RealityView-Navigationsprototyps. Zu Beginn des Kapitels werden die Systemarchitektur und die Hardwarekomponenten erläutert. Im Anschluss daran erfolgt die Implementierung des Prototyps. Abschließend wird eine Fehlerbetrachtung des Systems vorgenommen und ausgewertet.

4.1. Systemarchitektur

Die Systemarchitektur setzt sich zusammen aus den Hardwarekomponenten sowie der System- und Navigationsplattform. Die Systemplattform stellt Systemwerkzeuge bereit und ermöglicht den Zugriff auf die Hardware und Sensoren. Die Navigationsplattform basiert auf dem quelloffenen Fahrzeugnavigationssystem **Navit** und bildet die softwarespezifische Basis des RealityView-Prototyps (vgl. Abb. 4-1).

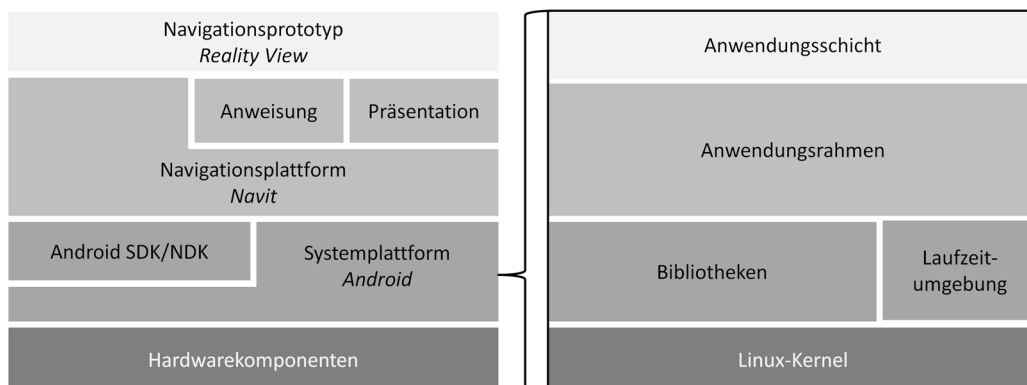


Abb. 4-1: Systemarchitektur des RealityView Navigationsprototyps

4.1.1. Hardware- und Sensorkomponenten

Die Systemhardware des RealityView-Prototyps setzt sich zusammen aus einem Endgerät (UMPC, Smartphone etc.) inklusive der dazugehörigen Nutzerschnittstellen für die Eingabe (Tastatur, Bildschirm etc.) und die Ausgabe der Informationen (Bildschirm, Lautsprecher etc.). Die für die Navigation notwendige Standortbestimmung erfolgt auf Basis eines GPS-Empfängers. Des Weiteren erfordert die Abbildung der Realität einen Bildsensor (Kamera), dessen Kamerastandpunkt und Neigung durch Lagesensoren (G-Sensor, Kompass) erfasst wird (vgl. Abb. 4-2).

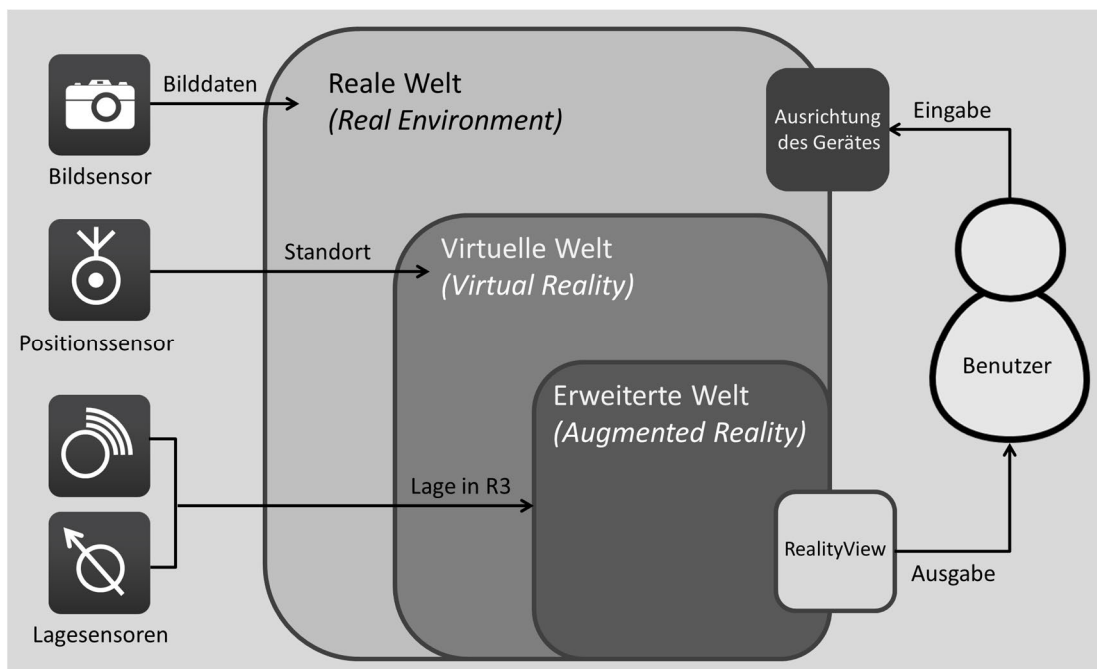


Abb. 4-2: Hardwarekomponenten im RealityView-Prototyp

Eine erweiterte Realität kombiniert virtuelle und reale Ansichten miteinander, um eine gemeinsame Darstellung zu erhalten. Ohne eine permanente Erfassung der Position und Gerätelage wäre eine deckungsgleiche Überlagerung virtueller Informationen vor der Kamerabildszene nicht möglich. Die Sensorik ist ein wesentlicher Bestandteil zur Bestimmung der Lage und Ausrichtung des Kamerastandpunktes im dreidimensionalen Raum. Sensoren erfassen Messdaten bestimmter Werteigenschaften, wie etwa die relative Beschleunigung einer Bewegung oder die Richtung in Abhängigkeit zur Stärke des Magnetfeldes in Echtzeit. Auf Grundlage dieser Messdaten erfolgt die Anpassung der virtuellen Darstellungsszene an den Bildausschnitt der realen Kamera. Der RealityView-Prototyp beinhaltet sowohl Magnetfeld- als auch Beschleunigungssensoren, deren Messwerte sich zum Teil ergänzen (vgl. Kap 3.2.3) bzw. wie im Folgenden beschrieben zur Bestimmung der Orientierungswerte kombiniert werden können.

Magnetfeldsensor

Magnetfeldsensoren messen die magnetische Flussdichte, um daraus die Blickrichtung in der Ebene oder die Orientierung im Raum zu bestimmen. Der Einsatzbereich von Magnetfeldsensoren liegt nicht primär in der Messung der Stärke eines Magnetfeldes. Häufig lassen sich durch den Einsatz von Magnetfeldsensoren andere Eigenschaften bestimmen, wie etwa die Himmelsrichtung bei Kompassen, die elektrische Stromstärke sowie die Anwesenheit und Zählung von Objekten. Der Anwendungsbereich von Magnetfeldsensoren für die Navigation liegt vorrangig bei Kompassanwendungen, bei denen die hohe Empfindlichkeit und geringe Größe des Sensors zum Tragen kommt (PRZEMYSŁAW et al., 2011; CARUSO, 2000).

Beschleunigungssensor

Ein Beschleunigungssensor (*Accelerometer*, *G-Sensor*) arbeitet nach dem Prinzip des zweiten Newtonschen Gesetzes (KNEUBÜHL, 1990:37 ff.):

$$F = m \cdot a \quad (4-1)$$

Die Variable F entspricht der gemessenen Kraft, die auf eine Probemasse m im Sensor einwirkt. Das Ziel ist es, die Beschleunigung a zu ermitteln, die sich durch Umstellung der Formel aus den beiden Werten ergibt. Das Prinzip, das hinter diesem Verfahren steht, misst die auf eine Testgröße einwirkende Trägheitskraft. Sobald sich die Gerätelage ändert, ändert sich auch der Einfluss auf die Testgröße.

Orientierungswerte

Orientierungswerte geben an, um welchen Winkel sich ein Körper im Raum dreht, und können mit einem Gyroskop bestimmt werden. Alternativ lässt sich die Rotationsgeschwindigkeit durch Kombination der Messwerte von Beschleunigungs- und Magnetfeldsensor wie folgt berechnen (CARUSO, 2000; SCHMIDT, 2010):

Gegeben: Magnetfeldsensor (m_1, m_2, m_3), Beschleunigungssensor (a_x, a_y, a_z)

Gesucht: Orientierung (*yaw*)

Es gilt:

$$pitch = \frac{-\pi}{2} + \arctan2(a_z, a_y) \quad (4-2)$$

$$roll = \frac{-\pi}{2} + \arctan2(a_z, a_x)$$

Durch Projektion des *yaw*-Winkels in eine erdparallele Ebene ergibt sich:

$$\begin{aligned} x_h &= m_1 \cdot \cos(pitch) + m_2 \cdot \sin(roll) \cdot \sin(pitch) - z \cdot \cos(roll) \cdot \sin(pitch) \\ y_h &= m_2 \cdot \cos(roll) + m_3 \cdot \sin(roll) \end{aligned} \quad (4-3)$$

Damit ergibt sich der *yaw*-Winkel wie folgt:

$$yaw = \pi + \arctan2(y_h, x_h) \quad (4-4)$$

4.1.2. Systemplattform Android

Android ist die Bezeichnung eines Betriebssystems, das von der US-amerikanischen Firma Google und der Open Handset Alliance¹⁷ initiiert wurde. Das Konsortium besteht aus Vertretern von Unternehmen und Branchendienstleistern aus dem IT-Sektor und hat sich zur Aufgabe gesetzt, eine freie Plattform für mobile Endgeräte zu entwickeln. Android umfasst eine Software-Sammlung, die sich aus den Programmkomponenten Betriebssystem, Middleware und Anwendungen zusammensetzt. Zusätzlich dazu existiert eine Entwicklungsumgebung (SDK), welche die Werkzeuge und Schnittstellen (API) zur Programmierung und Weiterentwicklung anbietet. Zu den Schlüsselmerkmalen von Android¹⁸ gehören:

- Basis ist der Linux Kernel 2.6
- Umfangreiches Application-Framework
- Umfangreiche Hardwareunterstützung (Kamera, GPS, Kompass etc.)
- Umfangreiche Bibliotheken (OpenGL, SQLite, SSL etc.)
- Umfangreiche Entwicklungsumgebung (Emulator, Debugging etc.)

Architektur

Die Android Architektur gliedert sich in vier Ebenen: (1) die Anwendung (*Applications*), (2) den Anwendungsrahmen (*Framework*), (3) die Bibliotheken (*Libraries*) inklusive der Laufzeitumgebung (*Android Runtime*) und (4) den Linux-Kernel (vgl. Abb. 4-3). Android beinhaltet eine Reihe verschiedener C/C++ Kern-Bibliotheken, die unter anderem dazu dienen, 2D oder 3D-Graphiken darzustellen oder den Zugriff auf Datenbanken mittels Datenbankabfragen (SQL) zu ermöglichen. Daneben beinhaltet Android eine Reihe von Java-basierten Bibliotheken, die den Aufgabenbereich von Android definieren. Der Linux-Kernel in der Version 2.6, ist für die Hauptanwendungen, wie Sicherheit und Treiberverwaltung aber auch Speicher- und Prozessmanagement, verantwortlich (BECKER, 2011).

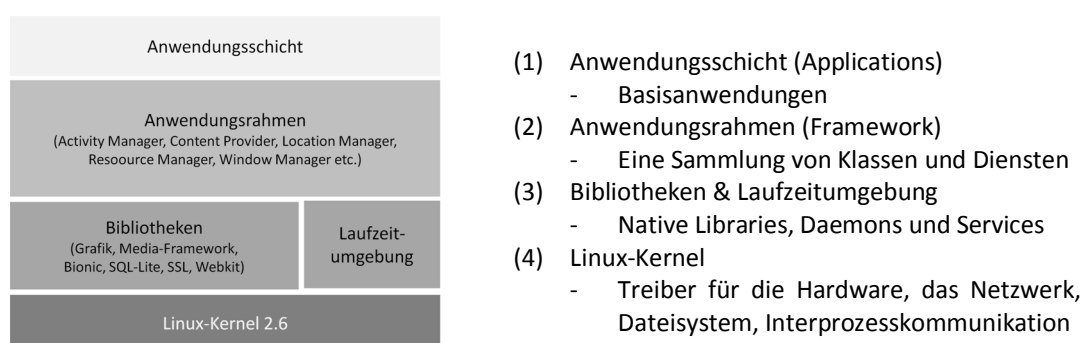


Abb. 4-3: Android-Architektur, Quelle: (ANDROID, 2012)

¹⁷ <http://www.openhandsetalliance.com/>, Aufruf am: 13.10.2011

¹⁸ <http://developer.android.com/guide/basics/what-is-android.html>, Aufruf am: 13.10.2011

API

Der Umfang und die Optionen, die innerhalb einer Entwicklungsumgebung möglich sind, werden in dem *Application Programming Interface* (API) dargelegt¹⁹. Die Android-API umfasst die Beschreibung aller Klassen, Methoden und Schnittstellen und definiert diese für den Aufruf und die Verwendung innerhalb der Anwendung. Android unterteilt die API in verschiedene Level, abhängig davon, welche Android Version zu Grunde liegt.

SDK

Um Anwendungen für Android zu entwickeln oder zu erweitern, wird das *Android Software Development Kit* (SDK) benötigt. Das SDK ist eine Sammlung von Werkzeugen und Funktionen, die es Softwareentwicklern ermöglicht, eigene Anwendungen zu erstellen. Zum Testen und Debuggen von Programmen hilft ein softwareseitiger Emulator, der die Funktionen und Eigenschaften eines Smartphones simuliert. Dadurch können erste Programmfunktionen in der Entwicklungsphase evaluiert und getestet werden. Mit Hilfe des *Android Development Tool* (ADT) ist es möglich, eine Entwicklungsumgebung (IDE) für die Android-Programmierung zu verwenden.

NDK

Im Gegensatz zu Android wurde die Navigationsplattform nicht in der Programmiersprache Java implementiert, sondern in C/C++ geschrieben. Um den Quellcode des Prototyps auch auf Android-Systemen ausführen zu können, ist daher zusätzlich zum Android-SDK ein *Native Development Kit* (NDK) notwendig. Der Einsatz des NDK ermöglicht es Entwicklern Quellcode in anderen Sprachen zu schreiben „such as C and C++, and call those methods from Java code.“ (MEDNIEKS et al., 2011:445).

Das Android-NDK²⁰ ist eine Sammlung von Werkzeugen, die dazu dient, aus C/C++ prozessorspezifische Libraries zu erstellen. Anschließend können diese in die Java Entwicklungsumgebung eingebunden werden. Der Quellcode des Prototyps wird dabei als ein Set von Libraries implementiert, die von einem minimalen Java-Wrapper angesprochen werden (bzw. der Java-Wrapper aus den Libraries). Das Android-NDK bietet:

- Die Integration aller Libraries in ein *Android Application Package File* (.apk).
- Eine Sammlung von Werkzeugen, die es gestattet, Teile von bereits vorhandenem C/C++ Quellcode in Android einzubinden.
- Eine Sammlung verschiedener *System Headers* als Schnittstellen zur Android-Plattform.

¹⁹ <http://developer.android.com>, Aufruf am: 15.10.2011

²⁰ <http://developer.android.com/sdk/ndk/overview.html>, Aufruf am: 15.10.2011

4.1.3. Navigationsplattform Navit

Navit²¹ ist ein im Jahre 2006 entwickeltes, modulares Navigationssystem, das in C/C++ implementiert wurde und der GNU-GPL²² Lizenz unterliegt. Anfangs für Linux-Desktop-Systeme konzipiert, entwickelte sich Navit und ist heute auf verschiedenen Plattformen, wie etwa OpenMoko, Nokia Maemo, Apple iOS und Google Android, etabliert. Das Navit-Projekt besitzt eine aktive Community an Entwicklern und Helfern, die sich um die Pflege und Weiterentwicklung des Systems kümmern. Aktuelle Beiträge, Fehler und Aktualisierungen werden auf dem projektinternen Wiki²³ veröffentlicht und diskutiert.

Modularität

Innerhalb von Navit können neue Anwendungen oder Entwicklungen in Form von Modulen eingebunden werden und erhalten Zugriff auf alle wichtigen Funktionen und Werkzeuge von Navit. Ein großer Teil der Navit-Funktionalitäten, wie etwa Graphics, GUI, Maps oder Vehicle, sind in eigenständige Module untergliedert und lassen sich dadurch einfach ersetzen bzw. ergänzen (vgl. Abb. 4-4).

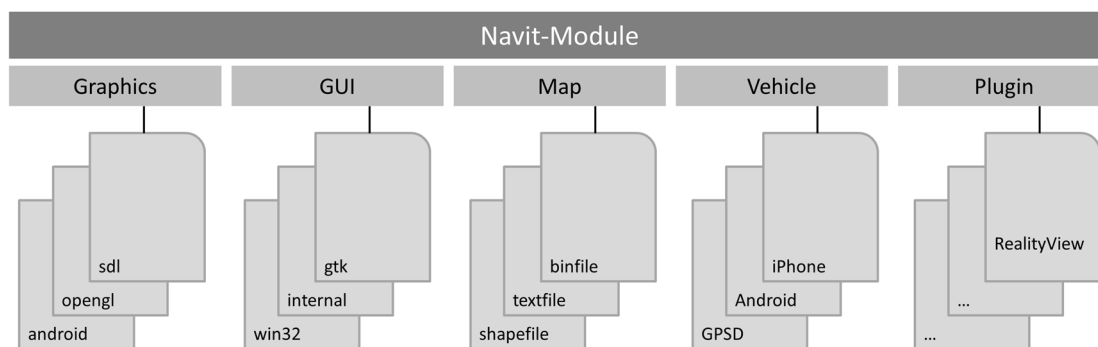


Abb. 4-4: Modularer Aufbau von Navit

Die Kartengrundlage lässt sich in unterschiedlichen Formaten an das Map-Modul anfügen. Für jedes Betriebssystem können individuelle Benutzeroberflächen (GUI), wie zum Beispiel Desktop, PDA oder Smartphone, im GUI-Modul erstellt werden. Das Vehicle-Modul unterstützt verschiedene Positionierungsformate von unterschiedlichen Gerätetypen, wie etwa iPhone, Android oder direkt über einen GPS Service-Daemon. Plugins, wie das in dieser Arbeit entwickelte RealityView-Fußgängernavigationssystem, können als eigenständiges Modul auf sämtliche Navit-Grundfunktionalitäten zugreifen und müssen nach dem Start der Anwendung im Plugin-Modul aktiviert werden.

²¹ <http://www.navit-project.org/>, Aufruf am: 23.10.2011

²² <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>, Aufruf am: 23.10.2011

²³ http://wiki.navit-project.org/index.php/Main_Page, Aufruf am: 25.10.2011

Positionierung

Da Android die Daten des GPS-Empfängers nur über Java anbietet, wird eine Java-Methode des Objektes `Location` in C/C++ aufgerufen. Dabei werden mittels `CallDoubleMethod` die Positionsdaten des GPS-Empfängers in Android ausgelesen. Die Rückgabe der Methode erfolgt als Gleitkommazahl mit doppelter Genauigkeit (`double`) und gibt die Position in Längen- und Breitengrad an (vgl. List. 4-1). Die ID befindet sich in `v->Location_getLatitude` bzw. `v->Location_getLongitude`.

List. 4-1

```
static void
vehicle_android_callback(struct vehicle_priv *v, jobject location)
{
    v->geo.lat = (*jnienv)->CallDoubleMethod(jnienv, location,
        v->Location_getLatitude);
    v->geo.lng = (*jnienv)->CallDoubleMethod(jnienv, location,
        v->Location_getLongitude);
}
```

Wegsuche

Die Routing-Funktion in Navit basiert auf einem Routing-Graphen (`route_graph`), der aus verschiedenen Segmenten, wie etwa Wegen, Straßen und Autobahnen, besteht. Ein Segment präsentiert einen begehbaren bzw. befahrbaren Pfadabschnitt, der sich aus einem oder mehreren Teilsegmenten zusammensetzt. Ein Routing-Graph wird in Navit durch die Funktion `route_graph_build()` in der Datei `route.c` erstellt. Die erforderlichen Parameter zur Berechnung einer Route in der Kartengrundlage (`mapset`) sind die Koordinaten der Eckpunkte (`c1, c2`), in der die Ausdehnung der Kartengrundlage begrenzt ist und ein Rückgabewert (`callback`), der anzeigt, wann der Graph vollständig ist (vgl. List. 4-2). Im Anschluss daran erfolgt in der Funktion `route_graph_flood()` die Berechnung der Kosten zum Erreichen eines jeden Punktes des Graphen auf Grundlage des Dijkstra-Algorithmus (vgl. Kap. 3.3.3). Das Ergebnis der Wegsuche bildet ein `route-path`, der die Verbindung von der aktuellen Position zu einem festgelegten Zielpunkt darstellt.

List. 4-2

```
{
struct route_graph *ret=g_new0(struct route_graph, 1);
dbg(1, "enter\n");
ret->sel=route_calc_selection(c1, c2);
ret->h=mapset_open(ms);
ret->done_cb=done_cb;
ret->busy=1;
if (route_graph_build_next_map(ret)) {
    if (async) {
        ret->idle_cb=callback_new_1
            (callback_cast(route_graph_build_idle), ret);
        ret->idle_ev=event_add_idle(50, ret->idle_cb);}
    } else
        route_graph_build_done(ret, 0);
return ret;
}
```

Datengrundlage

Als Datengrundlage kann Navit verschiedene Formate verarbeiten. Bekanntestes und gleichzeitig am weitesten verbreitet ist das OpenStreetMap-Format (vgl. Kap. 3.3.1). Im Gegensatz zu Google-Maps oder ähnlichen Diensten werden Geodaten in Navit lokal auf dem Gerät gespeichert. Dies hat den Vorteil, dass eine Navigation auch im Offlinebetrieb durchführbar ist. OSM-Kartendaten für Navit können bereits fertig konvertiert von verschiedenen Servern²⁴ getrennt in einzelne Länderpakete oder als gesamte Welt heruntergeladen werden. Die Anwendung dafür ist der Navit Planet-Extractor,²⁵ der auf Basis eines Web Map Service²⁶ (WMS) die Auswahl nutzerdefinierter Bereiche ermöglicht (vgl. Abb. 4-5).

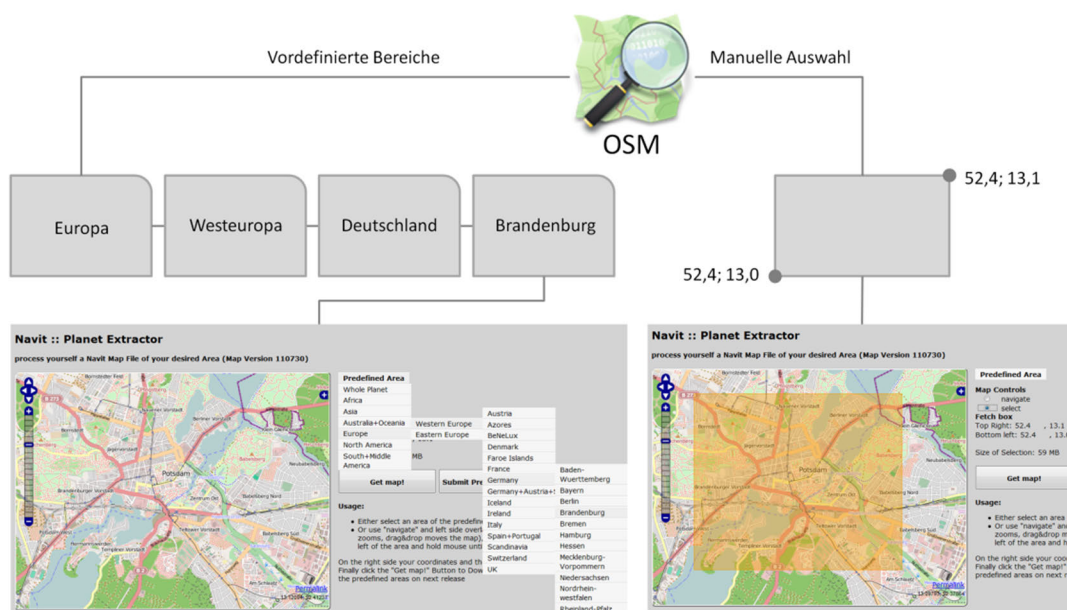


Abb. 4-5: Schematische Darstellung des Navit Planet Extractor, Quelle: (NAVIT-MAPS, 2012)

Kartendaten werden in Navit als Binärdatei (.bin) gespeichert. Die Referenz auf den Speicherort wird durch eine XML-Include-Datei erzeugt. Das Attribut `active` aktiviert eine Karte für die Suchfunktion. Durch das Attribut `route_active` lässt sich die Datengrundlage nur für das Routing aktivieren bzw. mittels `search_active` nur für die Suche in dieser. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Kartendaten für die Routenberechnung und für die Anzeige zu verwenden, um die Anzahl der für das Routing verwendeten Straßen zu minimieren oder nur eine bestimmte Straßenklasse einzubeziehen (HAASE & FEILNER, 2010; BENTHIN, 2010).

²⁴ <http://www.geofabrik.de/>, Aufruf am: 27.10.2011

²⁵ <http://maps.navit-project.org/>, Aufruf am: 27.10.2011

²⁶ <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>, Aufruf am: 4.11.2011

4.2. Implementierung

Die Implementierung umfasst die Konfiguration der Navigationsplattform Navit und beinhaltet die Auswertung und Übergabe der Messwerte des Trackingprozesses. Anschließend erfolgt die Transformation und Bildberechnung auf Grundlage der hardware-spezifischen Abbildungsfaktoren des Prototyps.

4.2.1. Konfiguration von Navit

Die Anpassung von Navit erfolgt in der Konfigurationsdatei `navit.xml`. In dieser sind alle Parameter und Angaben enthalten, die Navit als Startparameter verwendet. Die Konfigurationsdatei ist im Home-Verzeichnis unter `/navit` gespeichert. Alternativ kann diese nach manueller Pfadanpassung an einem beliebigen Speicherort oder auf einem externen Speichermedium abgelegt werden. Die Position, welche nach dem Start von Navit den Standort in der Kartengrundlage angibt, ist durch das Schlüsselwort `center` gekennzeichnet. Darin enthalten sind die Koordinatenangaben in Form von Nord- und Ostwert (vgl. List. 4-3).

List. 4-3
[D] [D] DMM.ss [S] [S] ... N/S
[D] [D] DMM.ss [S] [S] ... E/W

Zusätzlich zur Positionsangabe kann der Wert für den `zoom`-Faktor festgelegt werden. Dieser definiert in der 2D-Ansicht den Maßstabsfaktor und in der 3D-Ansicht die Höhe über der Erdoberfläche. Der Wert 1 für `tracking` aktiviert die Map-Matching-Funktion, die zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit dient (vgl. Kap. 3.3.2). Das Schlüsselwort `orientation` bewirkt den Wechsel der Ansicht in Nord- (0) und Süd- ausrichtung (180). Die Anzahl der letzten Ziele für die Zieleingabe kann über das Schlüsselwort `recent_dest` gesteuert werden (vgl. List. 4-4).

List. 4-4
<navit center="4848.6067 N 1129.0629 E" zoom="256" tracking="1"
orientation="0" recent_dest="10">

Graphik und GUI

Das Schlüsselwort `Graphic_type` gibt an, welche Graphik-Bibliothek verwendet wird. Die Wahl ist abhängig von der zu Grunde liegenden Hardware-Plattform, auf der die Anwendung läuft. Es kann zwischen `gtk_drawing_area`, `qt_qpainter`, `sdl` oder `opengl` gewählt werden. Speziell für Android-Geräte kommt ein separater `android graphic type` zum Einsatz.

Die Auswahl der graphischen Benutzeroberfläche (GUI) wird durch das Attribut `GUItype` definiert. Zur Auswahl stehen die GUI-Typen `gtk`, `cegui` und `internal`. Das `internal` GUI ist besonders für mobile Geräte geeignet, da die Textgröße, Icons und die Platzierung im Menü individuell angepasst werden kann. Der Wert für `menu_on_map_click` gibt an, ob der Aufruf des Systemmenüs durch Klicken in die

Kartendarstellung oder, wie im Prototyp implementiert, über eine separate Schaltfläche erfolgt (vgl. List. 4-5).

```
List. 4-5 <graphics type="android"/>
<gui type="internal" enabled="yes" menu_on_map_click="0">
```

Displaydarstellungen

Die Abkürzung OSD steht für *On Screen Display* und beinhaltet verschiedene Werkzeuge und Funktionen in Navit, die dem Nutzer die Navigation und Orientierung erleichtern (vgl. Kap. 3.4.2). Zur Auswahl stehen dabei Textmeldungen (Entfernungs- oder Zeitangaben), Symbole (Richtungsangaben) oder Widgets, wie etwa ein Kompass. Aktiviert werden OSD's durch das Schlüsselwort `enabled=yes`. Notwendig zur Darstellung von OSD's sind Angaben über die Art des Objektes, deren Lage im Koordinatensystem und das Kommando zum Aufrufen der Anwendung. Sofern für die Darstellung eine bestimmte Graphik verwendet werden soll, kann diese durch Angabe von Name und Format unter `/src` erfolgen (vgl. List. 4-6).

```
List. 4-6 <osd enabled="yes" type="button" x="-96" y="0" command="gui.menu()"
src="menu.png"/>
```

Profile

Navit ermöglicht, unterschiedliche Nutzertypen in festgelegten Profilen zu verwalten. Das Schlüsselwort `vehicle` definiert die Quelle der Positionsinformationen. In der Regel erfolgt dies durch Auswertung der NMEA-Daten eines GPS Empfängers (vgl. Kap. 4.2.2). Über die Angabe von `profilname` wird definiert, wie die Rohdaten ausgewertet werden. Für Fußgänger müssen neben der Positionsangabe auch Richtungswinkel und Orientierung des Gerätes im Raum durch den Beschleunigungssensor registriert werden. Die Aktivierung erfolgt durch die Parameterangaben `active` und `enabled`. Die Datenquelle, wie im Beispielfall für Android, kann über das Schlüsselwort `source` vergeben werden. Das Attribut `follow` aktiviert die automatische Verfolgung der durch die Bewegung sich veränderten Nutzerposition (vgl. List. 4-7).

```
List. 4-7 <vehicle name="Local GPS" profilname="pedestrian" enabled="yes"
active="1" source="android:" color="#0000ff" follow="1">
```

Roadprofile

In der Sektion `roadprofile` wird das Profil des Straßen- und Wegenetzes definiert. Dabei werden alle Objekte und deren Ausprägungen aufgelistet und durch die Attribute `speed` und `route_weight` beschrieben (vgl. List. 4-8). Der Wert für `speed` gibt die Geschwindigkeitsklasse an, für die das Objekt ausgelegt ist. Das Schlüsselwort `route_weight` kennzeichnet die Gewichtung der Straßen für das Routing. Je höher die Angabe der Routengewichtung, umso höher der Vorrang der

Straße bei der Routenplanung. Dies gilt auch dann, wenn die Straßenlänge größer ist als für eine Route mit niedrigerer Gewichtung. Bevorstehende Benutzeraktionen, wie etwa Abbiegungen oder Passierpunkte, werden in drei verschiedene `announcement-level` untergliedert. Jede Stufe steht für eine festgelegte Entfernung (25m, 100m und 200m), bei der die Anweisung an den Nutzer weitergegeben wird, bevor das Ereignis eintritt (vgl. Kap. 3.4.1).

List 4-8

```
<roadprofile
item_types="street_0,street_1_city,living_street,street_service,
track_gravelled,track_unpaved" speed="10" route_weight="10">
<announcement level="0" distance_metric="25"/>
<announcement level="1" distance_metric="100"/>
<announcement level="2" distance_metric="200"/>
</roadprofile>
```

Navigation

Die Sektion `navigation` umfasst sämtliche Klassen, die in der Routenplanung berücksichtigt werden. Um nicht alle Straßentypen in die Berechnung einzubeziehen, werden wie schon bei `roadprofile` verschiedene `announce-level` (25m, 100m oder 200m) definiert, so dass sich die Anzahl an notwendigen Straßenklassen verringert (vgl. List. 4-9).

List 4-9

```
<navigation>
  <announcetype="street_0,street_1_city"
    level0="25" level1="100" level2="200" unit="m"/>

  <announcetype="street_2_city,street_3_city,street_4_city,ramp"
    level0="50" level1="200" level2="500" unit="m"/>

  <announcetype="highway_city,street_1_land,street_2_land,
    street_3_land,street_4_land" level0="100" level1="400"
    level2="1000" unit="m"/>

  <announcetype="street_n_lanes,highway_land"
    level0="300" level1="1000" level2="2000" unit="m"/>
</navigation>
```

Mapset

Die Sektion `mapset` beinhaltet die Kartengrundlage von Navit (vgl. List. 4-10). Neben der Aktivierung einer Karte durch das Schlüsselwort `enabled`, werden Angaben zum Format (`map type`) und zum Pfad des Speicherortes `data` verlangt.

List 4-10

```
<mapset enabled="yes">
  <map type="binfile" enabled="yes" data="/sdcard/navitmap.bin"/>
</mapset>
```

Layout

Die `layout`-Sektion stellt eine der umfangreichsten Parameter in der Konfigurationsdatei von Navit dar (vgl. List. 4-11). In dieser sind die Darstellungsoptionen aller Kartenobjekte definiert. Unterteilt in die geometrischen Grundformen Punkt, Linie und Fläche (`point`, `line`, `polygone`) werden Angaben zu Name (`name`), Farbe (`color`), Schriftart (`font`) und Schriftgröße (`text_size`) der einzelnen Objekte festgelegt. Die Angabe eines Wertes für das Attribut `order` beschreibt die Sichtbarkeit der Objekte innerhalb 18 verfügbarer Zoomstufen.

List. 4-11

```
<layout name="Car" color="#ffefb7" font="Liberation Sans">
  <layer name="polygons" enabled="yes">
    <itemgra item_types="poly_land" order="0-">
      <polygon color="#ffefb7"/>
      <polyline color="#ffefb7"/>
      <text text_size="5"/>
    </itemgra>
    <itemgra item_types="poly_water" order="0-">
      <polygon color="#82c8ea"/>
      <polyline color="#5096b8"/>
      <text text_size="5"/>
    </itemgra>
  </layer>
</layout>
```

4.2.2. Positionierung & Tracking

Die Tracking-Option in Navit erlaubt es, die zurückgelegte Wegstrecke in NMEA, GPX oder im Textformat zu speichern und bei Bedarf am Bildschirm anzeigen zu lassen.

NMEA

Die Grundlage für die Integration von GPS-Positionsdaten in Navit bildet das *National Marine Electronics Association Protokoll*²⁷ (NMEA). Die Zeichencodierung erfolgt im ASCII-Format und ist in verschiedene Datensätze unterteilt. Der NMEA-Standard basiert auf dem WGS84-Referenzsystem und liefert Positionsdaten, Notation und eine auf UTC (Weltzeit) basierte Uhrzeitangabe (TÖNNIS, 2006).

- **Der GPRMC-Datensatz** (*Recommended minimum specific GPS/Transit data*) ist das Minimum, das ein GPS-Empfänger ausgeben sollte.
- **Der GPGGA-Datensatz** (*Global Positioning System Fix Data*) ist einer der wichtigsten Datensätze des NMEA-Standards. Darin enthalten sind Zeit, Position sowie Qualität der Messung.
- **Der GPGSA-Datensatz** (*GPS DOP and active satellites*) enthält die Informationen über die PRN-Nummern (Signalkodierung) der Satelliten.

²⁷ <http://www.nmea.org/>, Aufruf am: 15.11.2011

GPX

Das *GPS eXchange Format* (GPX) ist ein offenes XML-Schema zur Speicherung von GPS-Daten. Navit bietet die Möglichkeiten durch Aktivierung der Track-Log-Funktion, die Wegstrecke, die ein Nutzer zurückgelegt hat, im GPX-Format zu speichern. Für den Fall, dass Routenbeschreibungen aus anderen Quellen übernommen werden, müssen diese zuvor durch das Programm `gpx2navit_txt` in das Navit-TXT-Format konvertiert werden (HAASE & FEILNER, 2010).

Track-Log

In der `<trk>` Sektion von Navit sind Angaben zu Position, Zeit, Geschwindigkeit und Kurs sowie zu Messwerten von Kompass und Beschleunigungssensor enthalten (vgl. List. 4-12). Diese Angaben dienen als Grundlage für die Registrierung und Nachverfolgung der Lage und werden in Echtzeit von der jeweiligen Sensorquelle empfangen und anschließend verarbeitet. Die Sektion ist in einzelne Segmente unterteilt, beginnend mit dem Schlüsselwort `<trkseg>`. Die Sensormesswerte befinden sich in der Trackpoint-Sektion und sind durch das Schlüsselwort `<trkpt>` gekennzeichnet. Die Position wird durch die beiden Bezeichner `lat` (Breitengrad) und `lon` (Längengrad) angegeben. Dabei ist die Voraussetzung, dass alle Angaben im weltweit gültigen WGS84 Koordinatensystem geführt werden. Die Angabe der Zeit wird ebenfalls aus den NMEA-Daten entnommen und ist durch das Schlüsselwort `<time>` gekennzeichnet. Die beiden nachfolgenden Schlüsselwörter `<course>` und `<speed>` beinhalten den Kurswinkel und die Geschwindigkeit, die aus den einzelnen GPS-Messungen ermittelt wurden. Das `<extensions>` Segment beinhaltet die Messwerte externer Sensoren. Zu Beginn dieser Sektion steht der Ausdruck `<navit:compass>`, der im Folgenden die zur Orientierung notwendigen Messwerte der Raumwinkel enthält. Analog dazu sind die Angaben des Beschleunigungssensors aufgelistet und durch das Schlüsselwort `<navit:accel>` gekennzeichnet.

```
<trkpt lat="52.408455" lon="12.977412">
  <time>2010-03-29T10:59:50Z</time>
  <course>124.8</course>
  <speed>0.00</speed>
  <extensions>
    <navit:compass:x>8.962189</navit:compass:x>
    <navit:compass:y>0.149824</navit:compass:y>
    <navit:compass:z>1.076007</navit:compass:z>
    <navit:accel:x>-49.625000</navit:accel:x>
    <navit:accel:y>11.687500</navit:accel:y>
    <navit:accel:z>-6.000000</navit:accel:z>
    <navit:filename>pedestrian</navit:filename>
    <navit:radius>192.00</navit:radius>
  </extensions>
</trkpt>
```

List. 4-12

4.2.3. Bildaufbau & Präsentation

Der Bildaufbau umfasst die einzelnen Schritte, die notwendig sind, um ein Objekt auf dem Bildschirm abzubilden. Die Berechnung des Bildes ist abhängig von den Aufnahmefaktoren (Brennweite und Größe des Objektivs und des Bildsensors), sowie den Präsentationsfaktoren (Abmessung und Auflösung des Bildschirms). Der Prozess des Bildaufbaus ist in der Graphikpipeline beschrieben und wird wie folgt untergliedert (FOLEY et al., 1993; AKENINE-MÖLLER et al., 2008, vgl. Abb. 4-6).

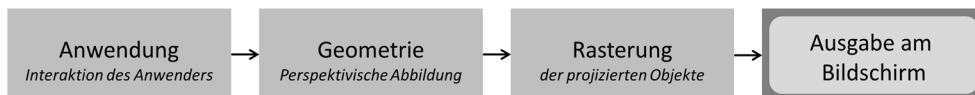


Abb. 4-6: Graphikpipeline, Quelle: (AKENINE-MÖLLER et al., 2008)

Bildberechnung

Mit der Initialisierung des RealityView werden die Abbildungsfaktoren der geräte-spezifischen Aufnahme- und Ausgabeparameter bestimmt. Anschließend wird die Lage des Kamerastandpunktes sensorisch erfasst und in ein globales Koordinatensystem transformiert. Im Anschluss daran wird ausgehend vom Standpunkt des Nutzers der Routenverlauf auf Sichtverdeckung durch Hindernisse überprüft und die Schnittpunkte mit der Sichtlinie berechnet. Daraufhin kann die perspektivische Abbildung der virtuellen Route vor der Videobildszene erfolgen. Das Ergebnis der Bildberechnung bildet eine durch virtuelle Objekte erweiterte Realität (vgl. Abb. 4-7).

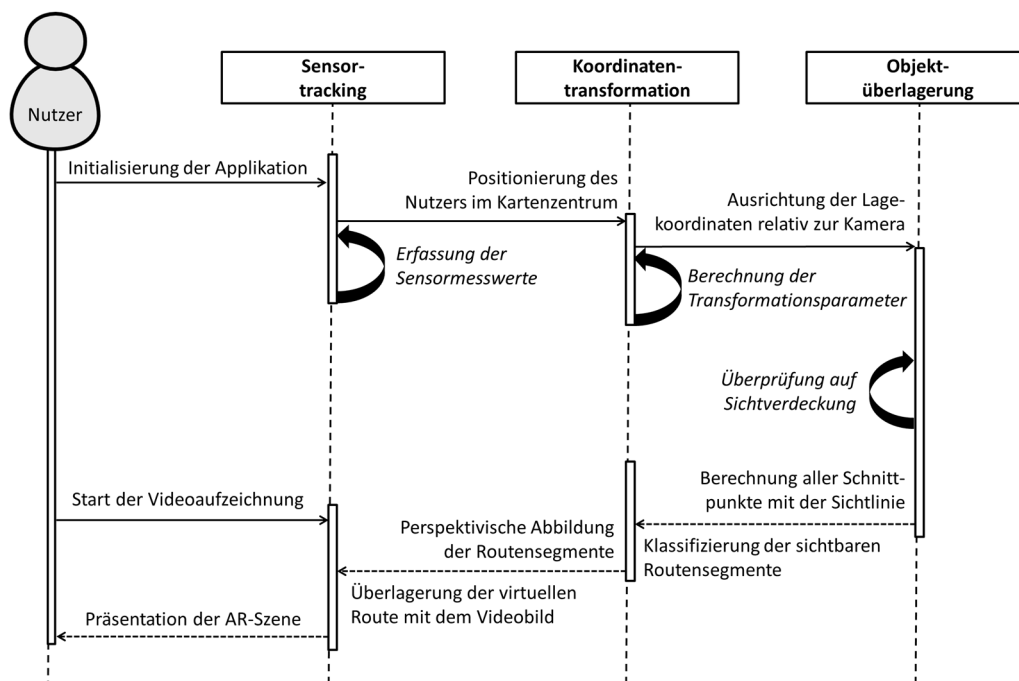


Abb. 4-7: Sequenzdiagramm der Bildberechnung

Geometrische Projektion

Die **geometrische Projektion** ist die Abbildung von $n+1$ Dimensionen auf n (oder weniger) Dimensionen. In der Regel werden die Objekte einer dreidimensionalen Bildszene auf einer zweidimensionalen Bildebene abgebildet. Geometrische Projektionen lassen sich anhand ihrer Projektionsstrahlen klassifizieren und können in Parallel- und Zentralprojektion unterschieden werden (DOMIK, 2012).

- Die **Parallelprojektion (Orthogonalprojektion)** beschreibt die Darstellung, bei der sich das Projektionszentrum im Unendlichen befindet und die Projektionsstrahlen zueinander parallel verlaufen.
- Bei der **Zentralprojektion** schneiden sich die Projektionsstrahlen in einem gemeinsamen Projektionszentrum, so dass es zu einer perspektivischen Verzerrung weit entfernter Objekte kommt.

„Der Grund der Perspektive liegt in der Physiologie des Auges“ (JOHANNSON, 2012:72) und der Tatsache, dass sich Licht geradlinig in Strahlen ausbreitet. Beim Betrachten einer Straße (vgl. Abb. 4-8) werden die Randpunkte (a,b,c,d) durch das menschliche Auge wahrgenommen und treffen, nachdem die Sehstrahlen den Fokuspunkt passiert haben, auf die Netzhaut des Auges (a',b',c',d'). Dabei liegen die projizierten Punktepaare, die weiter entfernt sind (a',b'), dichter zusammen als jene, die näher sind (c',d'). Die Kanten der Straße laufen aufeinander zu und fallen, nach einer bestimmten Entfernung, in einem Punkt zusammen.

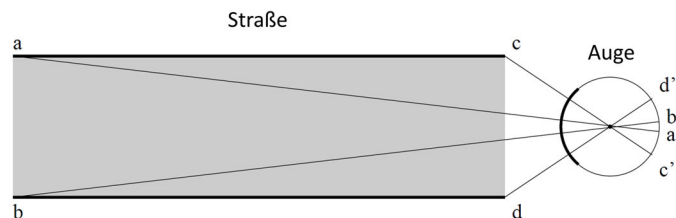


Abb. 4-8: Wahrnehmung des menschlichen Auges, Quelle: (JOHANNSON, 2012)

Der **Viewport** (Darstellungsfeld) ist der Sichtbereich einer virtuellen Kamera auf eine Bildszene und wird durch eine perspektivische Transformation im Raum abgebildet. Das Sichtvolumen ist beschränkt durch den Öffnungswinkel sowie der vorderen und hinteren Clipping-Ebene und bildet einen Pyramidenstumpf, an dessen Spitze sich der Betrachter befindet (BOLTES, 2011; FOLEY et al., 1997, vgl. Abb. 4-9).

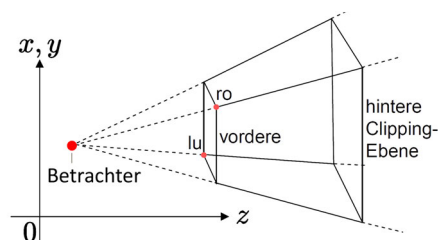


Abb. 4-9: Sichtvolumen eines Viewports, Quelle: (BOLTES, 2011)

Koordinatentransformation

Um die visuelle Illusion aus der Kombination von virtueller und realer Welt für den Betrachter aufrecht zu erhalten, besteht die Hauptaufgabe eines AR-Systems in der lückenlosen Erfassung der Lage und Ausrichtung von virtueller und realer Kamera (VALLINO, 1998; CAWOOD & FIALA, 2007).

- Die **virtuelle Kamera** definiert den Bildausschnitt der virtuellen Welt und ergibt sich aus dem Sichtbereich, der durch den Viewport begrenzt ist.
- Die **reale Kamera** ermöglicht die Wiedergabe der Realität, deren Sichtbereich durch die Kameraparameter definiert wird.

Optische Trackingverfahren erfassen visuell die Koordinaten von Passmarken relativ zur Kameraausrichtung, um diese anschließend in ein globales Koordinatensystem zu transformieren (MALIK, 2002). Das Ziel ist es, die beteiligten Koordinatensysteme durch unterschiedliche Transformationen zu vereinheitlichen. Der Transformationsprozess im RealityView arbeitet nach dem gleichen Prinzip, allerdings entfällt die Transformation von Objekt- nach Weltkoordinaten, da die Sensormesswerte von Kompass und G-Sensor bereits als Weltkoordinaten vorliegen (vgl. Abb. 4-10).

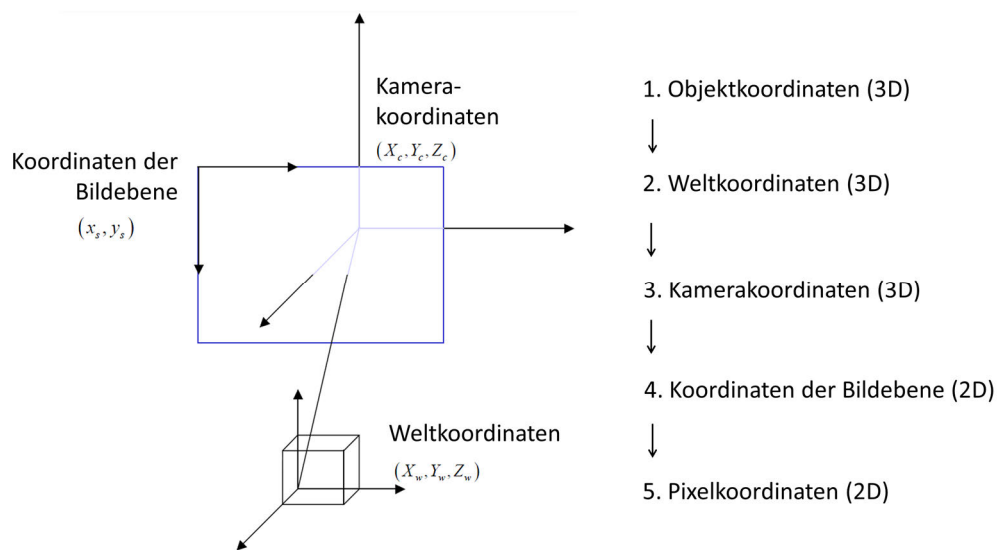


Abb. 4-10: Koordinatentransformation, Quelle: (EKENGREN, 2009)

- Die **Objekt-zu-Welt Transformation** überführt die Position und Orientierung eines Objektes in ein globales Weltkoordinatensystem ausgehend davon, dass jedes virtuelle Objekt in einem eigenen Koordinatensystem vorliegt.
- Die **Welt-zu-Kamera Transformation** definiert die Lage der Kamera, die zur Aufnahme der Realität dient, um einen Punkt in der realen Welt ausgehend vom Ursprung des Kamerakoordinatensystems zu beschreiben.
- Die **Kamera-zu-Bildebene Transformation** überführt 3D-Kamerakoordinaten auf eine 2D-Ebene, so dass diese anschließend am Bildschirm präsentiert werden können.

Abbildungsfaktoren

Die Bestimmung der Abbildungsfaktoren ist notwendig, um die gerätespezifischen Aufnahme- und Ausgabeparameter für die Bildberechnung zu berücksichtigen. Die Abbildungsfaktoren ergeben sich aus den Angaben zum Abbildungsmaßstab, der Brennweite und dem Skalierungsfaktor und sind wie folgt definiert.

1. **Der Abbildungsmaßstab** ist das Verhältnis zwischen der Größe eines Objektes am Bildschirm und dessen realer Größe. Dazu wird die Seitenlänge des Objektes in der Realität mit der Anzahl der Pixel am Monitor ins Verhältnis gesetzt.
2. **Die Brennweite** bezeichnet den Abstand zwischen Linse und Aufnahmeebene (Brennpunkt). Um die Brennweite einer Kamera zu erhalten, ist neben dem Abstand und der Größe eines zu betrachtenden Gegenstandes das Format des Bildsensors (CCD-Sensor) erforderlich.
3. **Der Skalierungsfaktor** ist das Verhältnis von Länge und Abstand eines Objektes zur Bildschirmauflösung. Die Berechnung erfolgt mittels Strahlensatz, indem der Abstand und die Größe der vorderen und hinteren Seite eines Objektes mit dessen Länge am Bildschirm in ein Verhältnis gesetzt werden.

Zur Bestimmung der Abbildungsfaktoren des Prototyps wurde ein Würfelmodell mit einer Seitenlänge von 10x10 cm konstruiert. Auf Grundlage dieser Berechnung war es möglich, die geräteabhängigen Abbildungsfaktoren des Prototyps zu bestimmen und bei der Bildberechnung zu berücksichtigen (vgl. Abb. 4-11).

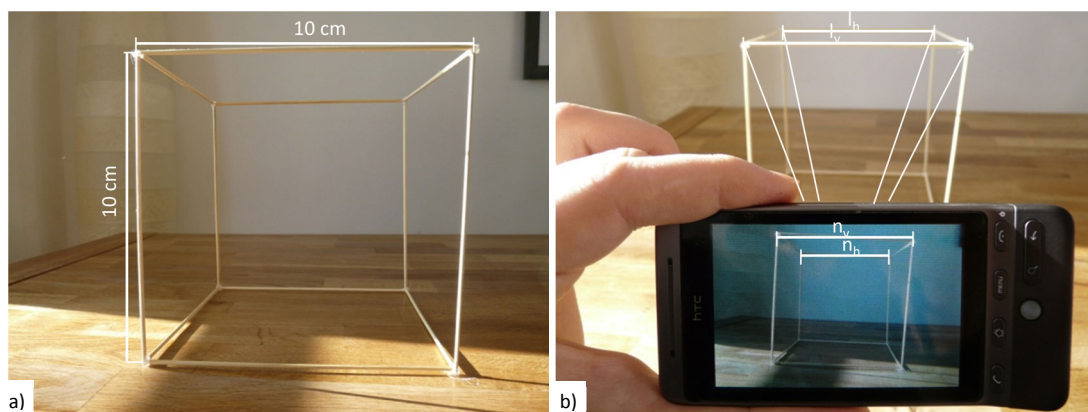


Abb. 4-11: Bestimmung der Abbildungsfaktoren, am Modell (a), am Prototyp (b)

Die Berechnung der Abbildungsfaktoren des Prototyps erfordert Angaben zu den Aufnahmeparametern der Auflösung des Kamerachips (5 Megapixel = 2560 x 1920 Bildpunkte) und zu den Präsentationsparametern durch Abmessung der Bildschirmdiagonalen (3,2 Zoll Display = 320 x 480 Bildpunkte) sowie der realen Größe eines Referenzobjektes (Würfel mit Seitenlänge = 10cm). Auf Grundlage dieser Ausgangswerte war es möglich, eine Verhältnisgleichung zu formulieren, die zur Berechnung der Abbildungsfaktoren führt.

Gegeben sind die Seitenlänge des Würfels (l), die Anzahl der Pixel des Bildsensor (n_c), die Anzahl der Pixel des Objekts (n_o), die Breite des Bildsensor in Millimeter (b_c) und die Breite des Objekts auf dem Bildsensor (b_o) sowie der Abstand der hinteren Würfelseite (d_h) und der vorderen Würfelseite (d_v) (vgl. Abb. 4-12):

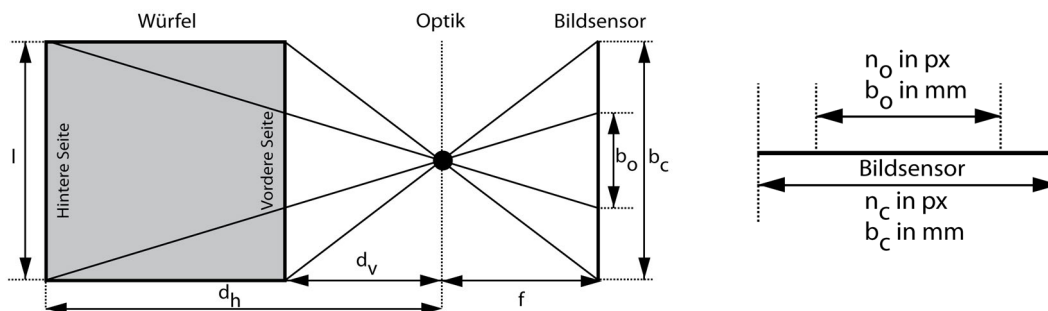


Abb. 4-12: Darstellung und Berechnung des Würfelmodells (a), des Bildsensors (b)

Voraussetzung: Es gilt das Verhältnis von der Anzahl der Pixel des Objekts (n_o) zur Anzahl der Pixel des Bildsensor (n_c) und der Breite des Objekts auf dem Bildsensor (b_o) zu Breite des Bildsensor in Millimeter (b_c)

$$\frac{b_c}{n_c} = \frac{b_o}{n_o} \Rightarrow b_o = \frac{b_c}{n_c} n_o \quad (4-5)$$

Im Weiteren gilt das Verhältnis von Breite des Würfels (l) zu Abstand des Würfels (d) und Breite des Objekts auf dem Bildsensor (b_o) zu Brennweite der Kamera (f).

$$\frac{l}{d} = \frac{b_o}{f} \quad (4-6)$$

Der Abstand der hinteren Würfelseite (d_h) ergibt sich aus dem Abstand der vorderen Seite (d_v) und der Seitenlänge des Würfels (l).

$$d_h = d_v + l \quad (4-7)$$

Gesucht wird der Skalierungsfaktor (k).

Herleitung: Durch Einsetzen von (4-5) in Gleichung (4-6) ergibt sich:

$$\frac{l}{d} = n_o \frac{b_c}{n_c f} \quad (4-8)$$

wobei der Skalierungsfaktor (k) definiert wird durch:

$$\frac{1}{k} = \frac{b_c}{n_c f} \quad (4-9)$$

Durch Einsetzen von Gleichung (4-9) in (4-8) ergibt sich:

$$\frac{l}{d} = \frac{n_o}{k} \quad (4-10)$$

Durch Einsetzen ergibt sich die Anzahl der Pixel der vorderen (n_v) und hinteren (n_h) Würfelseite wie folgt:

$$n_h = \frac{l}{d_h} k_h \quad (4-11) \quad \text{sowie} \quad n_v = \frac{l}{d_v} k_v \quad (4-12)$$

Durch umstellen der Gleichung (4-7) nach (d_v) ergibt sich:

$$d_v = \frac{l k}{n_v} \quad \text{wobei} \quad k = \frac{n_h d_h}{l} \quad \text{daraus folgt} \quad d_v = \frac{n_h d_h}{n_v} \quad (4-13)$$

Durch Einsetzen der Gleichung (4-13) in (4-12) ergibt sich:

$$d_v = \frac{n_h(d_v + l)}{n_v}$$

$$d_v n_v = n_h(d_v + l)$$

$$d_v(n_v - n_h) = n_h l$$

Daraus folgt:

$$d_v = \frac{n_h l}{n_v - n_h} \quad (4-14)$$

Aus der Gleichung für den Skalierungsfaktor:

$$k = \frac{n_v d_v}{l}$$

und Einsetzen der Gleichung (4-14) ergibt sich:

$$k = \frac{n_v n_h l}{l(n_v - n_h)}$$

Somit gilt die Gleichung für den Skalierungsfaktor (k) wie folgt:

$$k = \frac{n_v n_h}{n_v - n_h} \quad (4-15)$$

Koordinatentransformation in Navit

Die Koordinatentransformation von Navit ist in der Funktion `transform` definiert. Zur Vereinfachung der Berechnung wird von den Kartenkoordinaten der aktuelle Standort des Nutzers abgezogen und das Ergebnis für die weitere Berechnung verwendet (vgl. List. 4-13).

```
List. 4-13  xc==t->map_center.x;
           yc==t->map_center.y;
```

Der z-Wert steht für die Höhe der virtuellen Kamera über Grund (`hog`) und ist als Konstante mit einem Wert von 2 m in der `pedestrian.c` definiert (vgl. List. 4-14).

```
List. 4-14  transform_set_hog(trans, 2);
```

Die Berechnung der Lagekoordinaten relativ zur Kameraausrichtung erfolgt mittels einer 3x3 Matrix, mit der die Kartenkoordinaten (3D) multipliziert werden, um die Bildschirmkoordinaten (2D) zu berechnen. Die daraus resultierenden Transformationsparameter werden in der Variable `t` gespeichert (vgl. List. 4-15).

```
List. 4-15  out->xc=x*t->im00+yc*t->im01+zc*t->im02;
           out->yc=x*t->im10+yc*t->im11+zc*t->im12;
           out->zc=x*t->im20+yc*t->im21+zc*t->im22;
```

Da die ganzzahlige 3x3 Matrix nicht geeignet ist die Koordinaten zu unterteilen, werden im nächsten Schritt die Lagekoordinaten durch den Skalierungsfaktor `scale_shift` geteilt. Der Maßstabsbezug wird in Form der Variablen `xc` und `yc` berücksichtigt (vgl. List. 4-16).

```
List. 4-16  xc >>= t->scale_shift;
           yc >>= t->scale_shift;
```

Die perspektivische Abbildung der Koordinaten `xc` und `yc` erfolgt durch:

$$x_c = \frac{x_b}{z_b} * x_{scale} \quad y_c = \frac{y_b}{z_b} * y_{scale} \quad (4-16)$$

Der Faktor `xscale` und `yscale` ergibt sich aus der Berechnung von Brennweite der Kameraoptik und der Auflösung des Bildschirms bzw. der Kamera (vgl. List. 4-17).

```
List. 4-17  xc=(long long)xcn*t->xscale/zc;
           yc=(long long)ycn*t->yscale/zc;
```

Objektverdeckung

Das Problem der perspektivischen Abbildung liegt in der Überlagerung von nahen Objekten vor denen, die weiter in der Ferne liegen und diese somit verdecken. Um den natürlichen Eindruck für den Nutzer zu erhalten, ist es erforderlich, die virtuelle Route an die Kamerabildszene anzupassen, indem der Routenabschnitt, der von einem vorgelagerten Objekt verdeckt wird, nicht sichtbar ist (vgl. Abb. 4-13).

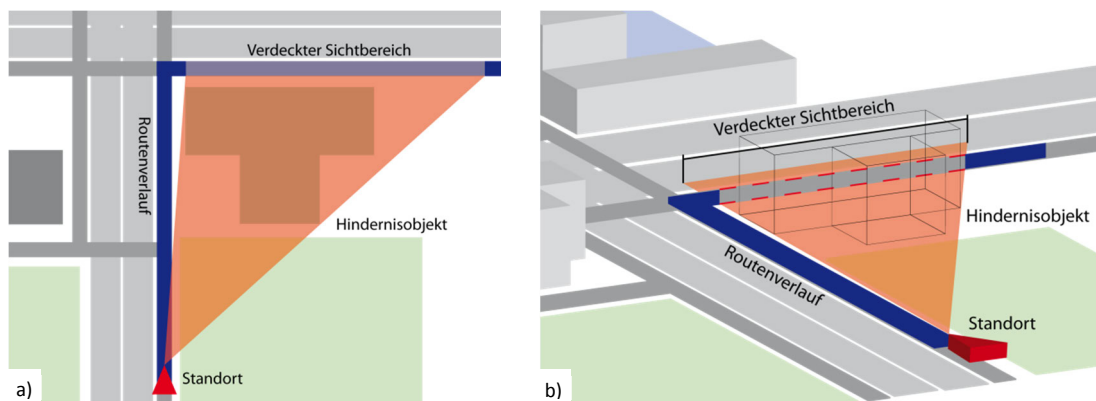


Abb. 4-13: Schematische Darstellung der Sichteinschränkung, Draufsicht (a), Schrägansicht (b)

Der Algorithmus, der für die Berechnung der Objektüberlagerung zum Einsatz kommt, arbeitet nach dem Prinzip von *Raytracing* (FOLEY et al., 1997). Ausgehend vom Betrachtungsstandpunkt des Nutzers werden innerhalb des Sichtbereichs Strahlen ausgesendet und anschließend auf Schnittpunkte mit Hindernissen untersucht. Die dabei ermittelten Schnittpunkte unterteilen die Route in einzelne Segmente, die entweder sichtbar oder nicht sichtbar sind (KLUGE & ASCHE, 2008).

Im ersten Schritt zur Berechnung der Objektverdeckung besteht in der Konstruktion einer **BoundigBox** durch die Funktion `map_route_occluded_bbox`. Dieses minimal umschließende Rechteck grenzt den Untersuchungsraum ein und ist als Variable `zfar` in der `transform.c` auf 300m Tiefe beschränkt (vgl. List. 4-18).

```
List. 4-18 t->zfar=300*t->znear;
```

Im nächsten Schritt wird in der Funktion `map_route_occluded_buildings_free` eine Liste aller Hindernisse (Gebäude) freigegeben, die im Weiteren durch die Funktion `map_route_occluded_get_buildings` alle Gebäude des aktuellen Kartenausschnitts zurückliefert. Diese Gebäude werden weiterhin durch die Funktion `intersect` auf eine mögliche Sichtverdeckung untersucht, indem die Sichtachsen (`visible_line`) auf mögliche Schnittpunkte mit Hindernisobjekten geprüft werden. Anschließend werden die Koordinaten, an denen die Route unterteilt wird, durch die Funktion `map_route_occluded_coord_get` übergeben. Am Ende wird der Speicher durch die Funktion `map_route_occluded_destroy` für einen erneuten Durchlauf freigegeben (vgl. List. 4-19).

List. 4-19

```

static int
intersect(struct coord *p1, struct coord *p2, struct coord *p3, struct
coord *p4, struct coord *i)
{
double num=(p4->x-p3->x) * (p1->y-p3->y) - (p4->y-p3->y) * (p1->x-p3->x);
double den=(p4->y-p3->y) * (p2->x-p1->x) - (p4->x-p3->x) * (p2->y-p1->y);
    if (num < 0 && den < 0)
        {
            num=-num;
            den=-den;
        }
    if (i)
        {
            i->x=p1->x+(num/den) * (p2->x-p1->x)+0.5;
            i->y=p1->y+(num/den) * (p2->y-p1->y)+0.5;
        }
    if (num < 0 || den < 0)
        return -1;
    if (num > den)
        return 257;
    return 256*num/den;
}

```

Die `intersect` Funktion in der `pedestrian.c` berechnet den Schnittpunkt zwischen der Geraden mit den Punkten `p1/p2` und der Geraden mit den Punkten `p3/p4`. Als Ergebnis wird der Wert `i` und ein Rückgabewert zur Lage von `i` auf der Geraden `p1/p2` zurückgeliefert (vgl. Tab. 4-1).

Rückgabewert	Beschreibung
-1	Schnittpunkt liegt außerhalb von p1
0	Schnittpunkt liegt auf p1
1...255	Schnittpunkt liegt zwischen p1 und p2
256	Schnittpunkt liegt auf p2
257	Schnittpunkt liegt außerhalb von p2

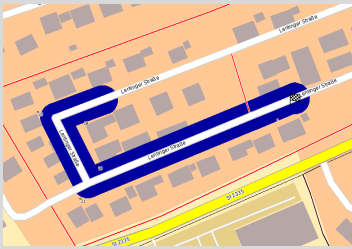
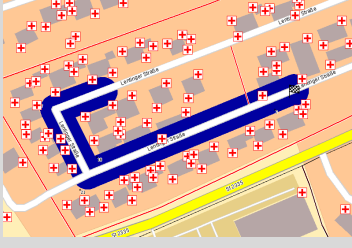
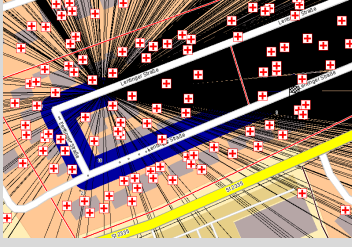

Tab. 4-1: Aufschlüsselung der Rückgabewerte

Das Ergebnis der `intersect`-Funktion kann einer von fünf Fallunterscheidungen zugeordnet werden.

- **not clipped**
Das durch die Koordinatenpaare `p1-p4` beschriebene Routensegment wird nicht unterteilt.
- **start clipped**
Das Routensegment bildet einen Anfangspunkt.
- **end clipped**
Das Routensegment bildet einen Endpunkt.
- **both clipped**
Das Routensegment bildet Anfangs- und Endpunkt zusammen.
- **invisible**
Das Routensegment ist nicht sichtbar.

Routenanpassung

Die Routenanpassung ermittelt ausgehend von der Position des Nutzers alle Schnittpunkte der Sichtachsen mit einem Hindernis und sortiert diese in Abhängigkeit zur Entfernung des Nutzers. Für den Fall, dass innerhalb des sichtbaren Bereichs die Überlagerung der Hindernisobjekte endet, wird der Routenverlauf an dieser Position fortgesetzt (vgl. die nachfolgenden Erläuterungen).

1		<p>Die Ausgangssituation beschreibt die Karte mit dargestellter Route und allen als Hindernis definierten Objekten.</p>
2		<p>Im zweiten Schritt werden, ausgehend vom Nutzerstandort, alle außenliegenden Kanten der Hindernisobjekte berechnet. Diese werden im weiteren Verlauf durch Linien mit dem Standort verbunden und bilden die Sichtlinien des Nutzers.</p>
3		<p>Im nächsten Schritt wird die Route auf Schnittpunkte mit den Sichtlinien untersucht und alle möglichen Schnittpunkte erfasst. Dabei werden auch die Entfernungen zum Hindernis beachtet, da es vorkommt, dass der Routenverlauf von unterschiedlich weit entfernten Hindernissen verdeckt wird.</p>
4		<p>Die daraus resultierenden Routensegmente werden nun auf deren Sichtbarkeit vom Nutzerstandort aus klassifiziert. Schwarze Segmente sind komplett sichtbar, graue Segmente sind teilweise sichtbar, weiße Segmente sind nicht sichtbar und werden komplett durch Hindernisse verdeckt.</p>
5		<p>Die Route wird im letzten Schritt an den Schnittpunkten mit den Sichtlinien unterteilt und nur der komplett sichtbare Teil bleibt erhalten. Das Ergebnis beschreibt die am aktuellen Standort sichtbaren Routenausschnitte unter Beachtung aller im Datenmaterial vorhandenen Hindernisobjekte.</p>

4.3. Prototyping-Prozess

Der **Prototyping-Prozess**²⁸ ist untergliedert in exploratives, evolutionäres, experimentelles Prototyping. Die Explorationsphase ist gekennzeichnet durch die Definition der Prototypenbauform und Anordnung der Komponenten. Evolutionäres Prototyping liefert erste Ergebnisse in Form eines Softwareprogramms, das bereits verschiedene Grundfunktionalitäten beinhaltet und die Machbarkeit der Konzeptstudie belegt. Die praxistaugliche Umsetzung der Ergebnisse erfolgt in Form einer zweiten Prototypengeneration, der auf Erfahrungen und Erkenntnisse der Explorationsphase aufbaut.

4.3.1. Bauformen eines AR-Systems

Der Aufbau eines AR-Navigationssystems ist abhängig von der Zusammenstellung der Hardware-Komponenten und dem Verfahren zur Integration realer Bilddaten. Die Bauform variiert nach der Tragevorrichtung, mit der die Hardware und der Nutzer verbunden sind und wird daher in nutzergebundene und nutzerungebundene Verfahren unterschieden (KIYOKAWA, 2007).

- **Nutzerungebundene Systeme** basieren auf kompakten und mobilen Endgeräten, wie etwa Smartphones, Tablets oder PDA's, und bildet das dem Prototyp zu Grunde liegende Verfahren (vgl. Abb. 4-14a).
- **Nutzergebundene Systeme** zeichnen sich durch eine am Kopf des Probanden verbundene Tragevorrichtung aus und werden als *Head Mounted Displays* (HMD) bezeichnet (vgl. Abb. 4-14b). HMD's ermöglichen eine maximale Bewegungsfreiheit und kommen vorrangig in AR-Anwendungen zum Einsatz, bei denen die Realität durch virtuelle Objekte erweitert wird, anstatt sie zu ersetzen (ROLLAND & FUCHS, 2001).

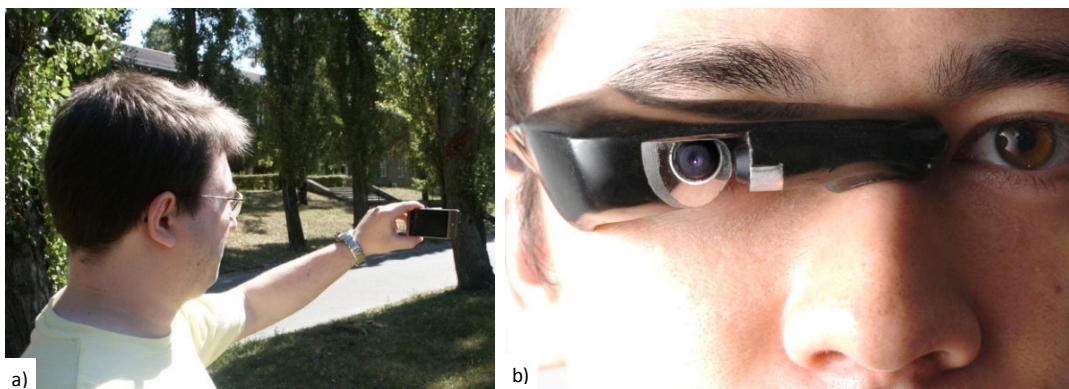


Abb. 4-14: Bauformen, Smartphone (a), Head Mounted Display (b), Quelle: (EYETAP, 2012)

²⁸ <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/WSO1/SWT/Prototyping.pdf>, Aufruf am: 23.11.2011

Optical & Video See Through Verfahren

Zusätzlich zur Bauform der Hardware-Komponenten ist das zum Einsatz kommende Verfahren zur Integration der realen Umwelt ein wesentliches Kriterium von AR-Navigationssystemen. Unterschieden werden dabei Optical- und Video-See-Through-Verfahren. Der Prototyp basiert auf letzterem und verwendet eine digitale Kamera für die Aufnahme der Bilddaten.

Optical-See-Through-Verfahren basieren auf Integration äußerer Umwelteinflüsse in Echtzeit. „A see-through HMD is one device used to combine real and virtual.“ (AZUMA, 1997:10). Ähnlich einer durchsichtigen Brille lassen sich virtuelle Informationen durch Reflektion auf die transparente Oberfläche projizieren (vgl. Abb. 4-15). Der Vorteil besteht in der verringerten Latenzzeit zwischen Messung der Kopfposition und der Darstellung virtueller Objekte. Ebenfalls von Vorteil ist die nicht an die Auflösung eines Bildschirms gebundene Schärfe und Qualität der Darstellungsszene. Anfällig ist diese Bauweise für unterschiedliche Lichtverhältnisse, die besonders bei starker Sonnenstrahlung virtuelle Objekte transparent abbilden (AZUMA, 1997).

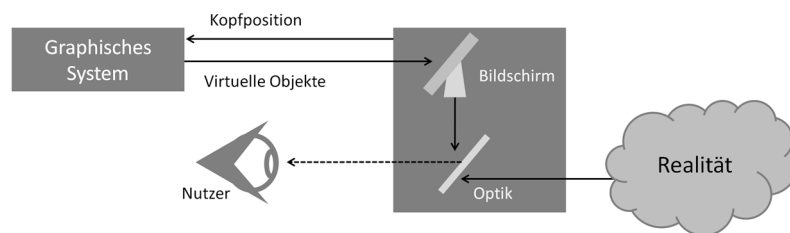


Abb. 4-15: Optical See Through, Quelle: Erweitert nach (VALLINO, 1998)

Video-See-Through-Verfahren basieren auf Integration der realen Umwelt durch Bildsensoren, die am Helm oder in einem externen Gerät verbaut sind. Durch einen Monitor ist der Nutzer in der Lage, die Erweiterte Realität zu beobachten (vgl. Abb. 4-16). Der Vorteil dieser Bauweise liegt in der Einbeziehung einer Videosequenz, deren Bildausschnitt exakt auf den virtuellen Sichtbereich der Navigationsszene angepasst werden kann (FORSYTH & PONCE, 2002). Ein Nachteil des Verfahrens ist die Störanfälligkeit bei Ausfall einer der Komponenten, da ohne Kamera oder Bildschirm die Erweiterung der Realität nicht erfolgen kann (ZLATANOVA, 2002; VALLINO, 1998).

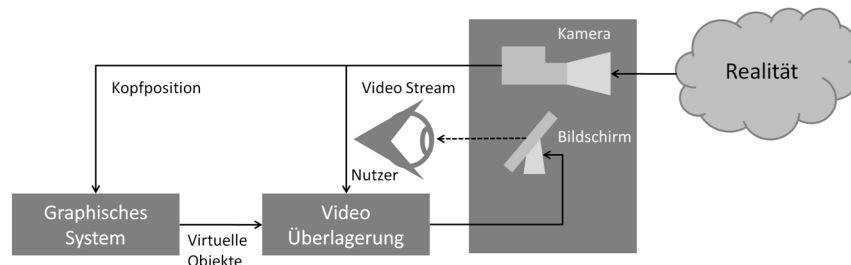


Abb. 4-16: Video See Through, Quelle: Erweitert nach (VALLINO, 1998)

4.3.2. Prototypengenerationen

Während der Entwicklungsphase des RealityView-Prototyps wurden zwei unterschiedliche Prototypengenerationen implementiert. Die erste Generation bestand aus einem **Ultra Mobile PC (UMPC)**, der durch externe Komponenten eigenständig erweitert wurde. Nach erfolgreichem Abschluss der Implementierung stand fest, dass für die Evaluation des Prototyps eine zweite Generation notwendig war, die vor allem in den Merkmalspunkten Größe, Gewicht und Mobilität einen Vorteil erbringen sollte. Die technische Spezifikation sowie die Bezeichnungen der einzelnen Bauteile sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst. Sofern nicht gesondert darauf hingewiesen wird, bezieht sich der im Folgenden verwendete Ausdruck Prototyp auf die zweite Prototypengeneration.

Spezifikationen	Prototyp 1	Prototyp 2
Hersteller	Wibrain	HTC
Modell	B1	Hero
Betriebssystem	Linux Ubuntu 8.04	Android 1.5
Maße	192 x 82 x 28 mm	112 x 56.2 x 14.35 mm
Gewicht	490 Gramm	135 Gramm
Displaydiagonale	4,8"	3,2"
Auflösung	1024x600	320x480
Prozessor	1,2 MHz VIA Prozessor	Qualcomm® MSM7200A™, 528 MHz
Arbeitsspeicher	1024 MByte RAM	288 MByte RAM
Kamera	VGA, 0,3MP/640x480	5MP/1920 x 2560
Kompass/Magnetfeldsensor	Wintec WSG-1000 (extern)	Asahi Kasei's AK8973
Satellitenempfänger	Wintec WSG-1000 (extern)	GPS SIRF Star III (nicht bestätigt)
Beschleunigungssensor	EZ-Tilt 1000 (extern)	Bosch Sensortec's 3-axis BMA150

Tab. 4-2: Spezifikationen der Prototypengenerationen, Quelle: (WIBRAIN, 2010; HTC, 2011)

Experimenteller Prototyp

Die erste experimentelle Prototypengeneration besteht aus einem Linux-basierten Ultra-Mobile-PC der Firma Wibrain. Als Bildsensor dient eine VGA-Kamera mit 0,3 Megapixeln Auflösung, die ursprünglich auf den Nutzer ausgerichtet war und erst nach Umbau für die Aufzeichnung der Umgebung zu gebrauchen war. Als Systemplattform wurde das Linux basierte Ubuntu-Betriebssystem in der Version 8.04 (Hardy Heron) verwendet. Das externe Modul Wintec-WSG 1000 beinhaltet sowohl den GPS-Empfänger als auch den elektronischen Kompass und wurde über den USB-Port angeschlossen. Der Neigungssensor wurde einzeln als Modul beschafft und in ein dafür passendes Gehäuse verbaut, das über die USB Schnittstelle mit dem UMPC verbunden ist. Der UMPC und alle externen Komponenten sind auf einer speziell dafür konstruierten Befestigung montiert (vgl. Abb. 4-17a-c). Dabei wurde festgestellt, dass die externen Komponenten möglichst weit vom UMPC entfernt verbaut sein müssen, um das Messergebnis der Sensoren durch Signalinterferenzen nicht zu verfälschen.



Abb. 4-17: Erste Prototypengeneration, UMPC (a), Kompass & GPS (b), Neigungssensor (c)

Zweite Prototypengeneration

Die zweite Prototypengeneration basiert auf einem handelsüblichen Smartphone des taiwanesischen Herstellers HTC²⁹ (vgl. Abb. 4-18). Als Systemplattform dient das quelloffene Betriebssystem Android in der Version 1.5. Der Vorteil von der Auswahl eines Smartphones als Prototyp besteht in der großen Verbreitung dieser Systeme und in der kompakten Bauweise, die alle Hardware-Komponenten beinhaltet. Das HTC-Smartphone hat bereits intern eine Kamera und einen GPS-Empfänger verbaut und verfügt zudem über einen Beschleunigungs- und Magnetfeldsensor.



Abb. 4-18: Zweite Prototypengeneration, Quelle: (HTC, 2011)

²⁹ <http://www.htc.com/de/>, Aufruf am: 11.6.2011

4.3.3. Sensorkomponenten

Ein Sensor ist ein Bauteil zur Messung einer bestimmten Werteigenschaft. Es folgt eine Auflistung aller Sensoren der Prototypen und deren technische Spezifikation.

Magnetfeldsensor

Für den Wintec³⁰ WSG 1000-GPS-Empfänger in der ersten Prototypengeneration liegen keine weiteren Informationen bezüglich des verwendeten Sensormoduls vor. Der magnetische Messbereich hat laut Datenblatt des Herstellers eine Größe von +/- 300 Mikro-Tesla bei einer Auflösung von < 0,6 Mikro-Tesla/Anzahl. Im zweiten Prototyp ist ein Modul der Firma Asahi Kasei mit der Bezeichnung AK8973 im Einsatz. Laut Datenblatt³¹ des Herstellers handelt es sich beim AK8973 um einen 3-Achsen Magnetfeldsensor, der alle drei Achsen und die Temperatur als 8bit Wert ausgibt.

GPS-Empfänger

Der GPS-Empfänger im Wintec WSG-1000 basiert laut Beschreibung auf einem U-blox Antaris 4 Chipsatz mit 16 Empfangskanälen. Im HTC-Hero ist ein SiRFstar³² Chipsatz mit der Bezeichnung GPS30F SiRFstar III verbaut³³. Dieser verfügt über bis zu 20 Empfangskanälen und eine gerundete Genauigkeit von 5 m. Beide Empfängerchips besitzen die übliche Empfangsfrequenz von 1575,42 MHz und nutzen den L1- sowie den C/A-Empfangscode. Beide Empfänger besitzen eine vergleichbare Aktualisierungszeit sowohl im Warm- als auch im Kaltstart (1s/34s) und nutzen zur Kommunikation das NMEA 0183-Protokoll.

Neigungsmodul/Beschleunigungssensor

Der Lagesensor im ersten Prototyp ist ein Neigungsmodul der Firma AOSI mit der Bezeichnung EZ-Tilt 1000. Nach offiziellen Angaben im Datenblatt³⁴ verfügt dieser über einen zweiachsigen Messbereich und einer Rs232-Schnittstelle. Mit einer Bereichsgröße von -70° bis +70° monoton und einer Auflösung von 8 Bit bei einer Wiederholbarkeit von 2 Bit können Winkel im vollen Messbereich der beiden Neigungsachsen gemessen werden. Im HTC-Smartphone ist ein BMA-150 Triaxial-Acceleration-Sensor der Firma Bosch integriert. Der BMA 150 Sensor ist nach offizieller Beschreibung³⁵ ein 3-Achsen Sensor und hat eine Bandbreite von 25-1500Hz. Als Schnittstelle kommt ein I²C Bus System zum Einsatz.

³⁰ http://www.wintec-gps.de/wintec_wsg-1000.php, Aufruf am: 13.11.2011

³¹ <http://www.asahi-kasei.co.jp/akm/en/product/ak8973nbs/ak8973nbs.html>, Aufruf am: 13.11.2011

³² <http://www.orcam.eu/GPS30FSiRFstarIIIbasedOEMGPSreceiver.htm>, Aufruf am: 18.11.2011

³³ http://compare.setooz.com/mobileinfo/HTC_Hero, Aufruf am: 20.04.2012

³⁴ <http://www.aositilt.com/Ez1000eval45.htm>, Aufruf am: 13.11.2011

³⁵ <http://www.bosch-sensortec.com/content/language4/downloads/BST-BMA150-DS000-06.pdf>, Aufruf am: 21.11.2011

Sensorfehler

Sensorfehler entstehen durch konstruktionsbedingte Eigenschaften der Hardware und treten bei der Verarbeitung von Messwerten auf (FELIZ et al., 2009).

- **Rauscheffekte** entstehen durch die elektromechanischen Eigenschaften der Bauteile.
- **Biasfehler** werden hervorgerufen durch Temperaturschwankungen, fehlerhafte Kalibrierung oder bei Vibrationen der Bauteile.
- **Diskretisierungsfehler** treten auf, wenn die Auflösung der Sensoren nicht mit der zu erwartenden Genauigkeit der Messwerte übereinstimmt.

Sensorfehler können statisch (ohne Bewegung) oder dynamisch (in Bewegung) auftreten und sind wie folgt definiert (SCHMIDT, 2010).

- **Statische Fehler** (vgl. Abb. 4-19) beschreiben sämtliche Fehler, die auftreten, wenn keine Bewegung des Objektes erfolgt. Optimal müsste ein virtuelles Objekt dann lagerichtig, entzerrt und in der richtigen Größe vor der realen Bildszene erscheinen. Eine Korrektur der Objektposition erfolgt nur, wenn sich die Position des Betrachtungsstandpunktes ändert (HOLLOWAY, 2001; AZUMA, 1997).



Abb. 4-19: Statischer Fehler des RealityView in Ruhephase

- **Dynamische Fehler** (vgl. Abb. 4-20) bezeichnen sämtliche Abweichungen zwischen virtuellem Objekt und realer Bildszene, die während einer Bewegung auftreten. Den größten Einfluss bei dynamischen Fehlern hat die Latenzzeit. Dieses Maß steht für die Dauer der Registrierung der Geräteausrichtung und die anschließende Darstellung am Bildschirm (MALIK, 2002; AZUMA, 1997).



Abb. 4-20: Dynamischer Fehler des RealityView in einer Bewegungsphase

4.3.4. Sensortest

In einer separaten Testreihe wurden die Werte des Beschleunigungssensors im HTC-Hero Prototyp näher untersucht und anschließend mit einem Referenzdatensatz verglichen. Als Datengrundlage und Referenz zur eigenen Messung dienen die Untersuchungsergebnisse von Schmidt (2010). Dieser vergleicht in einer eigenen Testreihe drei verschiedene Inertialsensoren und untersucht deren Fehlergröße zum einen in Ruhelage und zum anderen bei Bewegung um eine der drei Achsen. Ziel war es, die Genauigkeit und daraus resultierend den Anteil der Hardware am Gesamtfehler zu bestimmen.

Die Aufgabe bestand darin herauszufinden, wie stark die einzelnen Messergebnisse der Sensoren schwanken, wenn keine Bewegung stattfindet (Test in Ruhelage) und bei Bewegung um eine der drei Achsen (Test bei Bewegung). Um die Ergebnisse der Sensoren des Prototyps graphisch auszuwerten, wurde die kostenfreie und im Android Market erhältliche Applikation *Test and Plot*³⁶ in der Version 2.4.4. verwendet. Die Applikation stellt die einzelnen Messreihen von Beschleunigung, Orientierung und magnetischer Feldstärke graphisch dar. Zudem gibt die Anwendung die Größe der maximalen Wertunterschiede an.

Test in Ruhelage

Für den Test in Ruhelage wird das Gerät nicht bewegt, so dass die Erdbeschleunigung nur in Richtung der Z-Achse wirken kann. Das Ziel ist es, natürliche Schwankungen (Biaswerte) zu erkennen, die nicht durch Bewegungen hervorgerufen werden. Die Erdbeschleunigung g beträgt in Äquatornähe ungefähr $9,78 \frac{m}{s^2}$ und ist bereits in den Messdaten der Sensoren enthalten. Die maximale Abweichung der Beschleunigung in Richtung der X und Y-Achse fällt in beiden Untersuchungen etwa gleich groß aus und liegt bei $0,1 \frac{m}{s^2}$ (X) bzw. $0,08 \frac{m}{s^2}$ (Y). Im Gegensatz zum Referenzdatensatz, bei dem die Größe der Erdbeschleunigung durch die Orientierungsdaten des Gerätes entfernt wurde, ist in Abb. 4-21 zu sehen, dass die Abweichung der Z-Achse zwischen $9,85$ und $10,0 \frac{m}{s^2}$ liegt (SCHMIDT, 2010).

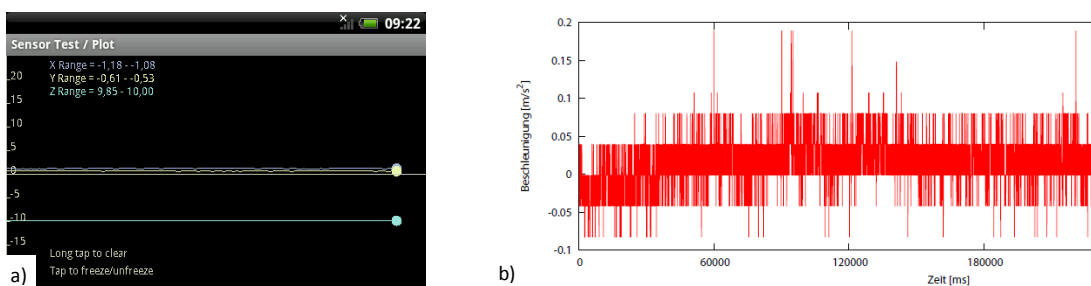


Abb. 4-21: Test Ruhelage, Eigene Untersuchung (a), Referenzwerte Z-Achse (b), Quelle: (SCHMIDT, 2010)

³⁶ <http://www.androidpit.de/de/android/market/apps/app/com.golborne.android.SensorTest/Sensor-Test-and-Plot>, Aufruf am: 25.11.2011

Test in Bewegung

Für den Test bei Bewegung wurde der Prototyp erstens entlang der positiven X-Achse und zweitens entlang der negativen X-Achse bewegt. Der Test wurde in fünf Ruhe- und vier Bewegungsphasen unterteilt. Der Versuchsaufbau und die Ergebnisse der Referenzwerte ließen sich nicht ohne weiteres reproduzieren, was vermutlich auf die nicht vorhandene Kompensationen für die Ausrichtung zurückzuführen ist.

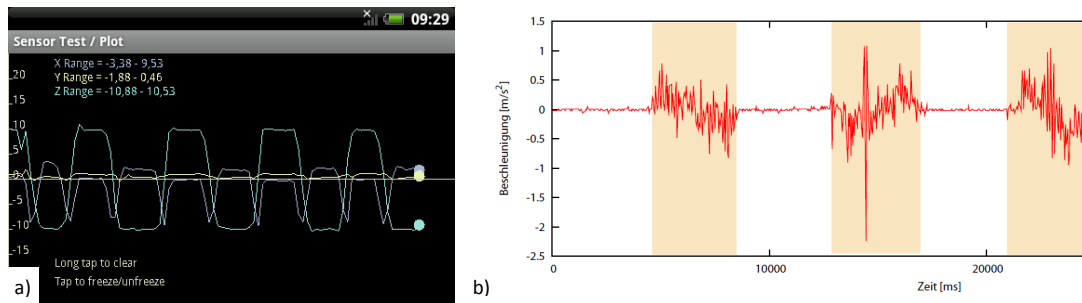


Abb. 4-22: Sensor Test in Bewegung (a), Referenzwerte X-Achse (b), Quelle: (SCHMIDT, 2010)

In Abbildung 4-22 sind die Beschleunigungswerte der X-Achse aus beiden Messungen gegenübergestellt. Diese liegen bei $-3,38 \frac{m}{s^2}$ (Ruhephase) und $9,53 \frac{m}{s^2}$ (Bewegung). Abschließend erfolgt auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse von Schmidt (2010) ein Vergleich zwischen dem HTC-Hero und zweier weiterer Sensoren, dem Sparkfun 6DOF v4 und dem XSens MTi-G. Alle drei Sensoren wurden zur gleichen Zeit und mit gleicher Beschleunigung um die X-Achse gedreht. Dabei wurde festgestellt, dass der HTC-Hero ein vergleichbares Ergebnis wie der XSens ausgab, während der Sparkfun zu hohe Beschleunigungswerte lieferte (vgl. Abb. 4-23).

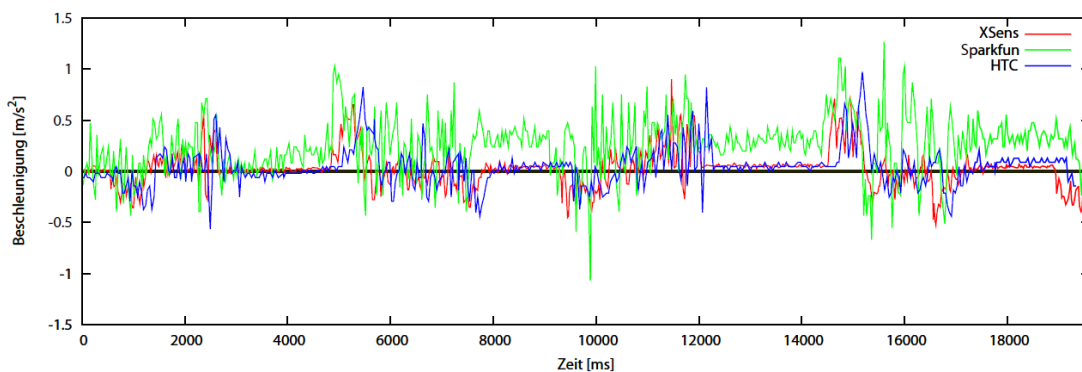


Abb. 4-23: Vergleichsgrundlage, Quelle: (SCHMIDT, 2010)

Fazit

Die Testreihe bestätigt das Ergebnis von Schmidt (2010) und kommt zu dem Schluss, dass die Sensoren im HTC-Hero Prototyp stabile Werte liefern und sich der Biaswert in der Ruhephase nur geringfügig ändert. Allerdings besitzt der HTC-Hero zwei wesentliche Nachteile. Zum einen verfügt dieser über kein eigenes Gyroskop und zum anderen ist die Updaterate der Messwerte zu gering.

4.4. RealityView-Prototyp

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Navigationsprototyp trägt die Bezeichnung *RealityView*. Die Basis bildet eine freie und quelloffene Navigationsplattform, die für die Navigation von Fußgängern modular erweitert wurde. Das Ergebnis ist ein Navigationsprototyp, in dem die Ansicht einer zweidimensionalen Bildschirmkarte im Grundriss mit der Darstellung einer erweiterten Realität im Aufriss kombiniert wird.

4.4.1. Graphische Benutzeroberfläche

Eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) hat die Aufgabe, die Interaktion mit einer Anwendung, wie etwa einem Computer, Smartphone oder PDA, zu ermöglichen und dient als Schnittstelle zwischen Nutzer und System. Die Interaktion mit der GUI im RealityView erfolgt durch die berührungsempfindliche Oberfläche des Bildschirms (GORDON, 2011; HEIDMANN, 2007).

GUI-Objekte

Innerhalb des RealityView kommen verschiedene GUI-Objekte für die Systemsteuerung und als Navigationshilfe zum Einsatz. Für die Navigation wurde die Anzahl der GUI-Objekte reduziert, um die Bildschirmkarte bzw. die AR-Darstellung graphisch nicht zu überladen (GALITZ, 2007; GORDON, 2012). Zum Einsatz kommen:

- **Schaltflächen** dienen zum Aufruf einer bestimmten Systemfunktion und sind im Prototyp zum Aufruf des Hauptmenüs integriert bzw. ermöglichen den Wechsel des Maßstabes in der Bildschirmkarte.
- **Widgets** bezeichnen graphische Darstellungskomponenten (*On Screen Display*, vgl. Kap. 4.2.1), die in einer Anwendungsoberfläche eingebunden sind und einen spezifischen Zustand beschreiben. Im Prototyp sind verschiedene Widgets zur Anzeige der Position und Richtung sowie der Handlungsanweisung implementiert.
- Die **Übersichtskarte** ist eine kleinmaßstäbige, generalisierte Karte der Umgebung, in deren Mitte sich die Position des Nutzers befindet. Neben Position und Route sind in einer Übersichtskarte auch Straßen, Wege und interessante Kartenpunkte (POI) verzeichnet.
- Die **Statusanzeige** ermöglicht die text- und ziffernbasierte Vermittlung von Informationen über den aktuellen Status, die Position und den Routenverlauf. Darüber hinaus lassen sich durch den Einsatz von Symbolgraphiken einfache Kommandos für den Nutzer darstellen.
- Die **Routendarstellung** bildet den Kern eines Navigationssystems. Abhängig von der zum Einsatz kommenden Navigationsansicht beschreibt die Route den Pfad, dem ein Nutzer folgen muss, um an den Zielpunkt zu gelangen.

Aufbau & Menüstruktur

Die Menüstruktur des RealityView ist hierarchisch gegliedert und thematisch zusammengefasst. Der Aufbau basiert auf einer Auswahl graphischer Symbole, die durch eine textbasierte Funktionsbeschreibung ergänzt werden. Die Symbole sollen dem Benutzer die Auswahl erleichtern und eine schnellere und unmissverständliche Zuordnung ermöglichen. Sämtliche Einstellungen und Funktionen der Navigationsplattform Navit lassen sich somit aufrufen und konfigurieren. Das Menüsystem des RealityView trägt die Bezeichnung `internalGUI` und setzt sich zusammen aus den Auswahloptionen Aktion, Einstellung, Werkzeuge, Route und Impressum. Dazu zählen neben der Zieleingabe auch Funktionen, wie etwa die Suche nach interessanten Kartenpunkten oder Zusatzfunktionen, zur Anzeige der Position bekannter Nutzer (vgl. Abb.4-24a).

Das RealityView-Modul wird im Hauptmenü unter `plugin/pedestrian` aktiviert. Die Einstellung hat Auswirkung auf die Navigationsansicht und bewirkt, dass bei der Routenberechnung nur Wege für Fußgänger berücksichtigt werden. Sämtliche Einstellungen lassen sich nachträglich in der Konfigurationsdatei von Navit anpassen bzw. ergänzen (vgl. Kap. 4.2.1). Die Eingabe des Zielortes kann auf eine von drei unterschiedlichen Arten erfolgen:

- Die erste Form erfolgt durch Eingabe der Koordinaten des Zielortes.
- Die zweite Form beschreibt die Möglichkeit, den Zielort adressbasiert durch Auswahl von Ort, Straße und Hausnummer auszuwählen.
- Die dritte Form wird durch Auswahl eines interessanten Kartenpunktes (POI), ermöglicht, der sich in der Nähe des Nutzerposition befindet oder diesen selbst darstellt.

Darüber hinaus bietet Navit die Möglichkeit über *Bookmarks* (Lesezeichen) eigene Ziele zu verwalten bzw. auf eine Liste der letzten Ziele zuzugreifen und bei Bedarf zu aktivieren (vgl. 4-24b).

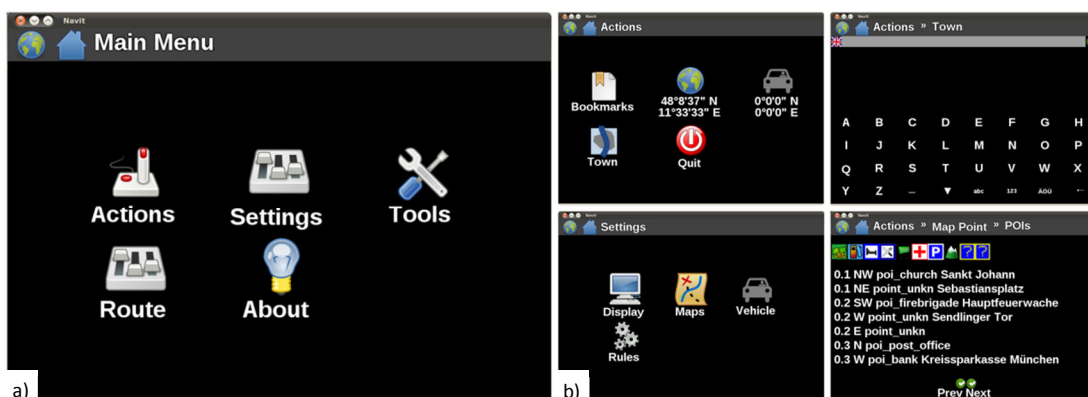


Abb. 4-24: Menüstruktur von Navit, Hauptmenü (a), Zieleingabe (b), Quelle: (NAVIT-PROJECT, 2012)

4.4.2. Aufbau der Benutzeroberfläche

Der Aufbau einer graphischen Benutzeroberfläche und die Anordnung der Elemente eines Navigationssystems sind ausschlaggebend für die Akzeptanz der Anwendung beim Benutzer (KRAY & BAUS, 2003; NIVALA, 2005). Im Gegensatz zu Navigationssystemen hat die Computerspiel-Branche langjährige Erfahrung und besitzt großes Potential im Umgang mit Navigationselementen (MALONE, 1980; DARKEN & SIBERT, 1993). Daraus ergibt sich die Frage, wie sich das Potential von Computerspielen nutzen lässt, um dieses auf die Navigation von Fußgängern zu übertragen.

Gamification

Auf dem *Games for Change Festival 2011* hielt der US-Amerikaner Al Gore einen Vortrag über „*Games are the new normal*“. Er bestätigt damit den Trend, den das Marktforschungsunternehmen Gartner (2011) in seinem 2011 erschienenen Report veröffentlichte. Demnach werden bis 2015 mehr als 50% aller organisatorischen Arbeiten in Unternehmen *gamifiziert* (GAMIFICATION, 2012). Das Wort **Gamification** beschreibt den Einsatz von Videospiele-Konzepten in der Realität, um die Interaktion zwischen Nutzer und System einfach und verständlich umzusetzen. „*Gamification is an informal umbrella term for the use of video game elements in non-gaming systems to improve user experience (UX) and user engagement.*“ (DETERDING et al., 2011:2425)

Computerspiele

Aktuelle Computerspiele simulieren vergleichbare Bedingungen, wie sie auch in der Realität gefunden werden können. Passanten und Straßenverkehr, wechselnde Wetterbedingungen und Tag/Nacht-Zyklen sind nur einige Beispiele des hohen Detailgrades, den sogenannte Open World Spiele auszeichnet (NOHR, 2010; RICHTER, 2010). Ohne integriertes Navigationssystem wären die Spieler hilflos und dem Prozess von *Trial & Error* (Versuchen & Scheitern) unterworfen. Daher haben Designer und Entwickler von Computerspielen verschiedene Methoden erarbeitet, um Spieler innerhalb virtueller Welten intuitiv und zielgerecht zu navigieren (vgl. Abb. 4-25).

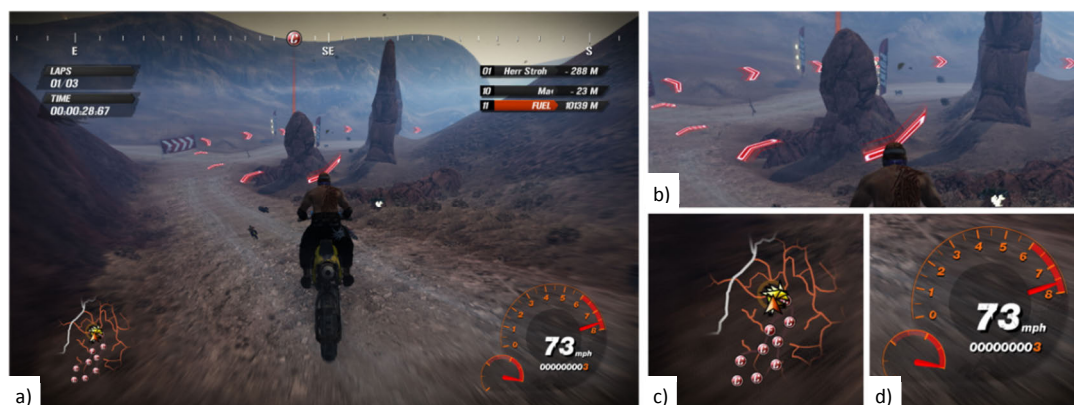


Abb. 4-25: Auswahl verschiedener Navigationsmethoden in Computerspielen, Codemasters/Fuel (a), Virtual Cable (b), Übersichtskarte (c), Text- & Symbolanzeigen (d), Quelle: (CODEMASTERS, 2011)

Zielführung-Untersuchung

In einer praktischen Untersuchung, die der Autor betreute, wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Auswahl und Kombinationen verschiedener Navigationsmethoden auf die Navigation besitzen (GOËE et al., 2011). Die Aufgabe bestand darin, einen Zielpunkt durch die Zuhilfenahme verschiedener Navigationsmethoden aus Computerspielen so schnell wie möglich zu erreichen (RICHTER, 2010). Dazu wurde die Dauer bis zum Erreichen eines Referenzpunktes gemessen und die Navigationsmethode anschließend in einem Fragebogen bewertet (vgl. Tab. 4-3).

	Untersuchung 1			Untersuchung 2		
	Printkarte	Bildschirmkarte	Wegepunkte & Kompass	Virtual Cable	Virtual Cable, & Übersichtskarte	Printkarte & Kompass
Zeit (Ø)	00:54 min.	01:55 min.	00:47 min.	02:20 min.	03:38 min.	02:32 min.
Wertung	51/60	53/60	52/60	43,5/60	46,5/60	48,5/60

Tab. 4-3: Ergebnis der Zielführung-Untersuchung, Quelle: (GOËE et al., 2011)

In **Untersuchung 1** lag der Schwerpunkt auf dem Vergleich kartographischer Navigationsmethoden. Auf Grund der Vollbildarstellung der Bildschirmkarte ist die zeitgleiche Wahrnehmung der Anweisung und des Umgebungsgeschehens nicht möglich und hatte die längste Zeitdauer zur Folge. Allerdings wurde festgestellt, dass die Bildschirmkarte in der Nutzerbewertung am besten abschnitt. Die Kombination aus Wegpunktdarstellung und einem Kompass ergab die kürzeste Zeitspanne und lag in der Nutzerbewertung nur knapp hinter der Bildschirmkarte. Die Printkarte lag in der Zeitdauer im Mittelfeld und wurde in der anschließenden Bewertung von vielen Nutzern als ein bekanntes und vertrautes Navigationsverfahren bewertet.

In **Untersuchung 2** wurde das Navigationsverfahren Virtual Cable in Kombination mit einer Übersichtskarte bzw. mit der Kombination aus einer Printkarte und einer Kompassdarstellung untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Probanden mit dem Virtual Cable am schnellsten den Testlauf absolvierten, obwohl dieses in der Bewertung am schlechtesten abschnitt. Die Kombination aus Virtual Cable und Übersichtskarte ergab die größte Zeitspanne, lag jedoch in der Nutzerbewertung noch vor dem Einzelverfahren. Der Einsatz einer Printkarte mit Kompassdarstellung schnitt in der Bewertung am besten ab und benötigte im Durchschnitt nur wenig mehr Zeit zum Erreichen des Zielpunktes als mit dem Virtual Cable.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass der Einsatz verschiedener Navigationsmethoden mit redundanten Inhalten einen negativen Einfluss auf die Zeit besitzen. Daraus folgt, dass der Einsatz von nur einer primären Navigationsmethode in Kombination mit einer Navigationshilfe, wie etwa einer Übersichtskarte, sinnvoll ist. Auffallend war, dass kartographische Navigationsverfahren in der Bewertung besser abschnitten, obwohl diese im direkten Vergleich keinen messbaren Vorteil ergaben. Daher erscheint es sinnvoll, dem Nutzer sowohl kartographische als auch erweiterte Navigationsverfahren, wie etwa das Virtual Cable, zur Verfügung zu stellen und die Entscheidung, wann welches Verfahren zum Einsatz kommt, ihm zu überlassen.

4.4.3. Navigationsansichten des RealityView

Die graphische Benutzeroberfläche des RealityView-Prototyps ist untergliedert in die beiden Navigationsansichten erweiterte Realität (1) und Bildschirmkarte (2). Ein Wechsel der Ansicht erfolgt durch die Veränderung der Lage des Geräts. Die AR-Ansicht wird aktiviert, sobald das Gerät in Querformat gehalten wird. Der Wechsel in die Kartenansicht erfolgt durch Ausrichtung des Gerätes parallel zur Erdoberfläche.

- (1) Die erweiterte Realität (AR-Ansicht) wird gebildet aus der Überlagerung einer virtuellen Routendarstellung (*Virtual Cable*) vor dem Livebild der Kamera.
- (2) Die Bildschirmkarte (Kartenansicht) basiert auf einer zweidimensionalen Karte der Umgebung, in deren Mitte sich die Nutzerposition befindet und die durch interessante Kartenpunkte (POI) ergänzt werden kann.

Aufbau der Navigationsansichten

Der grundlegende Unterschied zwischen der Ansicht einer erweiterten Realität und einer Bildschirmkarte liegt im Darstellungsverfahren. Die Entscheidung, welche der beiden zum Einsatz kommt, liegt beim Benutzer und kann jederzeit gewechselt werden. Der Aufbau und die Zusammenstellung der graphischen Benutzeroberfläche des RealityView setzt sich aus unterschiedlichen GUI-Objekten zusammen und ist wie folgt untergliedert (vgl. Abb. 4-26).



Abb. 4-26: Aufbau der graphischen Benutzeroberfläche, Quelle: (NAVIT-PROJECT, 2012)

Anwendungsszenario

Das nachfolgende Anwendungsszenario liefert eine praktische Beschreibung der Umsetzungsergebnisse. Am Beispiel eines Protagonisten, der mit Hilfe des Prototyps eine Route plant, die aus zwei einzelnen Etappenzielen besteht, soll gezeigt werden, wie der RealityView im Alltag zum Einsatz kommen könnte (vgl. Abb. 4-27).

1 Zielortbestimmung

Das System fordert den Nutzer auf, einen Zielort zu bestimmen. Als Eingabeparameter stehen zur Auswahl die Eingabe der Zielkoordinaten, die Eingabe einer Adresse bestehend aus Ort, Straße und Hausnummer oder die Auswahl von interessanten Kartenpunkten (POI).

2 Routenberechnung

Der Protagonist entscheidet sich für die schnellste Verbindung. Das System berechnet die Route und präsentiert diese auf dem Bildschirm. Zusätzlich enthält die Karte Informationen über Dauer, Richtung sowie die Entfernung bis zum Zielpunkt.

3 Präsentation

Durch Ausrichtung des Gerätes in den *Landscape-Modus* wird dem Nutzer das aktuelle Livebild der Kamera präsentiert, das zusätzlich eine verkleinerte Übersichtskarte und den Straßennamen enthält.

4 Anweisung

Am linken Außenrand des Bildschirms erscheint eine Pfeilgraphik, die den Nutzer auffordert, sich in Pfeilrichtung zu drehen. Bereits während der Drehung erscheint die virtuelle Routendarstellung des *Virtual Cable* lagerichtig vor der Kamerabildszene.

5 Handlung

Die Darstellung der Route endet abrupt an einer Hauskante, indem diese nach rechts abknickt und dann verschwindet. Der Nutzer sucht am Bildschirm markante Punkte, wie etwa Beschilderungen oder parkende Fahrzeuge, um sich zu orientieren und den Routenverlauf auf die Realität zu beziehen, und setzt seine Bewegung fort.

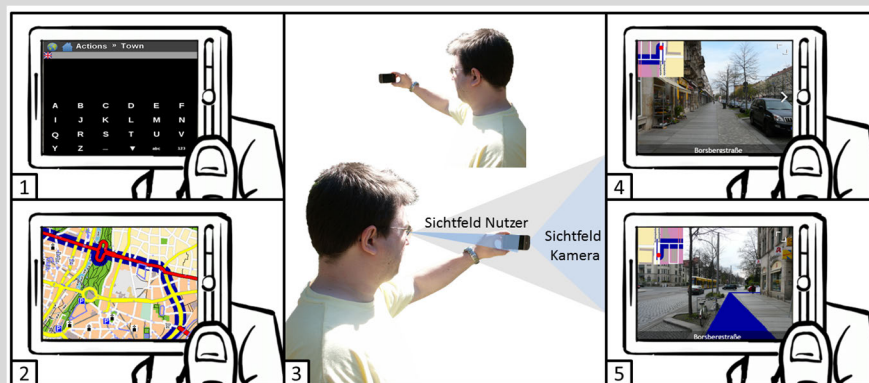


Abb. 4-27: Anwendungsszenario, Quelle: Erweitert nach (Google, 2012)

4.5. Zusammenfassung

Aus der konzeptionellen Grundlage des RealityView wurden zunächst Anforderungen und schließlich eine prototypische Anwendung auf Basis von Augmented Reality abgeleitet. Der aus dem zuvor beschriebenen Konzept hervorgegangene Navigationsprototyp mit der Bezeichnung RealityView basiert auf einer freien und quelloffenen Navigationsplattform und wurde für die Fußgängernavigation modular erweitert. Das Ergebnis ist ein smartphonebasierter Navigationsprototyp, in dem die Ansicht einer zweidimensionalen Bildschirmkarte mit der Darstellung einer erweiterten Realität kombiniert wird.

- Zu Beginn wurden die Vorzüge der Android-Systemplattform herausgestellt und der Aufbau sowie die Konfiguration der Navit-Navigationsplattform erläutert.
- Die Implementierung umfasst den Bildaufbau und die Präsentation der virtuellen Bildszene und beinhaltet neben der Koordinatentransformation auch die Anpassung der Route an vorhandene Sichteinschränkungen.
- Im Vergleich zweier Prototypengenerationen wurde deutlich gemacht, dass die Umsetzung und Implementierung des Navigationskonzeptes möglich ist. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines Anwendungsszenarios versucht einen praktischen Anwendungsfall zu beschreiben.

Anhand der Entwicklung und Implementierung des RealityView-Prototyps konnte gezeigt werden, dass die Konzeption eines Navigationssystems auf Basis von Augmented Reality umsetzbar ist. Die erfolgreiche Integration des RealityView in die Navigationsplattform Navit und die anschließende Implementierung auf die Android-Systemplattform belegen, dass es möglich ist, kartographische Darstellungen mit einer erweiterten Realität zu kombinieren und umzusetzen. Allerdings belegen die Ergebnisse auch die Schwachstellen dieses neuartigen Ansatzes. Die Hardware, insbesondere die Sensoren, sind ein Grund für die ungenaue Erfassung der Lage von sich bewegenden Objekten und führen zu einer fehlerhaften Darstellung der Bildszene. Eine weitere Schwachstelle ist die Qualität der Kartengrundlage, vorrangig hierbei die freien Daten des OpenStreetMap-Projektes, die noch nicht den für die Navigation von Fußgängern erforderlichen Ansprüchen genügen.

Während der Umsetzungs- und Implementierungsphase wurden zudem Schwächen des RealityView Konzeptes deutlich. Ein wesentliches Problem ist, dass die Überlagerung eines virtuellen Objektes nur für einen bestimmten Bildausschnitt gültig ist und beim Wechsel des Betrachtungsstandpunktes eine erneute Anpassung (Registration) erfordert, um die Illusion aus realer und virtueller Welt für den Betrachter aufrecht zu erhalten. Die Integration des RealityView-Prototyps konnte im zurückliegenden Kapitel erfolgreich abgeschlossen werden, wird aber bis zum Ende des Projektzeitraums den prototypischen Statuts beibehalten.

5. Untersuchung & Wertung

„Die Evaluation von Benutzerschnittstellen soll die Bewertung von Systemen bezüglich ihrer für den Benutzer relevanten Gestaltungsgüte ermöglichen.“ (FÄHNRIK, 1987:211) Das Ziel einer Evaluation besteht darin, Projekte oder Produkte transparent und datengestützt zu beschreiben und im Anschluss daran zu bewerten. Die Untersuchung und Bewertung der Forschungsergebnisse erfolgt auf Grundlage der prototypischen Umsetzung des RealityView, der den Gegenstand der folgenden Evaluationsverfahren darstellt (vgl. Tab. 5-1).

ID	Verfahren	Evaluationsart	Beschreibung	Umfang
1	Qualitativ	Befragung	Experteninterview	4/4
2	Qualitativ	Blickerfassung	Eye-Tracking-Teststudie	3/3
3	Quantitativ	Fragebogen	System Usability Scale (SUS)	78/227
4	Quantitativ	Fragebogen	System Usability Scale (SUS)	3/3

Tab. 5-1: Überblick über die Evaluationsverfahren

Die qualitative Evaluation des Prototyps erfolgt durch die Befragung von Experten unterschiedlicher Fachrichtungen in einem leitfadengestützten Interview. Mittels einer Online-Umfrage auf den Projektseiten der Navigationsplattform wurde über einen Zeitraum von 24 Monaten der Prototyp quantitativ evaluiert. Zusätzlich dazu wird in einer Pilot-Studie die Blickbewegung von Probanden während der Navigation mit dem RealityView aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Dabei wurden die Probanden gebeten, den Fragebogen der Online-Umfrage zu beantworten, um die Ergebnisse beider Umfragen im Anschluss daran zu vergleichen.

5.1. Experteninterview

Das Ziel eines Interviews ist es, Meinungen und Aussagen von Experten unterschiedlicher Fachrichtungen über das Forschungsthema Fußgängernavigation sowie über den Aufbau und die Funktionalität des RealityView Prototyps zu erhalten. Das Ergebnis der Befragung soll einen Beitrag dazu leisten, das Konzept des Prototyps zu bewerten und einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen zu geben.

5.1.1. Leitfragen

Der Kommunikationsprozess im Experteninterview war gekennzeichnet durch kulturell geprägte Umgangsformen und Normen. Dazu gehört, dass ein Befragter die Aussage ohne Begründung verweigern durfte. Weiterhin gab es im Dialog eine feste Rollenverteilung, die angab, wer der Fragende und wer der zu Befragende war. Der Dialog der Fragestellung war auf ein bestimmtes Ziel gerichtet und wurde durch den Leitfaden vorgegeben (GLÄSER & LAUDEL, 2009).

Aufbau

Um die Neutralität der Fragen zu gewährleisten und um Suggestivfragen, die bereits eine Antwort beinhalten, zu vermeiden, wurden alle Fragen in einem Leitfaden zusammengefasst (BROSIUS & KOSCHEL, 2003). Neben handschriftlichen Notizen wurde zur Dokumentation der Gespräche ein Diktiergerät verwendet, dessen Aufzeichnung im Anschluss an die Befragung der Auswertung zu Grunde lag. Der Aufbau des Fragebogens ist in drei Hauptkapitel mit jeweils sieben Fragen untergliedert.

- (1) Entwicklung von Fußgängernavigationssystemen
- (2) Potentiale und Chancen von Augmented Reality
- (3) Umsetzung und Funktionalität des RealityView-Prototyps

Auswahl der Experten

Um ein breites Spektrum an fachbezogenen Aussagen zu erhalten, wurden bei der Auswahl der Interviewpartner unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen berücksichtigt. Die Auswahl umfasste die Fachrichtungen Softwaretechnik, Mathematik, Verkehrswissenschaften und Medienwissenschaften. (vgl. Tab. 5-2).

Nr.	Name	Fachrichtung	Zugehörigkeit
1	Dr. Stephan Günzel	Medienwissenschaftler	Universität Potsdam
2	Prof. Dr. Barbara Lenz	Verkehrswissenschaftlerin	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Berlin
3	Birgit Kwella, Dr. Matthias Schmidt	Mathematikerin und Softwareentwickler	Fraunhofer Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik FIRST, Berlin

Tab. 5-2: Auswahl der Experten

5.1.2. Auswertung

Die Auswertung des Experteninterviews erfolgt untergliedert in die drei Fragenkomplexe (1) Entwicklung, (2) Umsetzung und (3) Funktionalität. Zusätzlich dazu wurden in einem vorangestellten Teil das Potential und die Entwicklung von Fußgängernavigationssystemen bewertet (vgl. A. 5-5).

Fragenkomplexe

In Komplex 1 ist das Ziel der Befragung, Aussagen über den aktuellen Entwicklungsstand von Navigationssystemen zu erhalten (Frage 1,2,3), den Unterschied zwischen Fußgänger- und Fahrzeugnavigationssystemen festzustellen (Frage 4,5) und den Einfluss des Nutzers auf diese Systeme zu bestimmen (Frage 6,7).

Komplex 2 ist gekennzeichnet durch die Thematik Augmented Reality und dem daraus resultierenden Einfluss der Präsentationsform auf die Fußgängernavigation. Der Inhalt des Kapitels konzentriert sich auf die Chancen und zukünftigen Einsatzgebiete der AR-Technologie (Frage 8,14), die Anwendung und Bedienung von AR-basierter Hardware für die Navigation (Frage 9,10,12) und die Vor- bzw. Nachteile von AR gegenüber herkömmlichen Navigationsverfahren (Frage 11,13).

In Komplex 3 liegt der Schwerpunkt auf der Umsetzung und Implementierung des RealityView-Prototyps. Ziel ist es, Aussagen über den Einsatz verschiedener Präsentationsformen innerhalb der AR-Darstellung (Frage 16,17), die Qualität und Aufbereitung von Geodaten (Frage 18,19) und die Wegsuche unter Berücksichtigung von Benutzerprofilen (Frage 15,20) zu erhalten. Im Anschluss daran wird auf die zukünftige Entwicklung von Navigationssystemen eingegangen (Frage 21).

Potentiale und Chancen

Das wirtschaftliche Potential von Fußgängernavigationssystemen bewerteten alle drei Experten als zukunftsorientiert und wachsend. [1] sieht den Markt noch als zu stark von Fahrzeugnavigationssystemen dominiert. In Zukunft werden sich die Kriterien zur Routenplanung laut [2] von bisher „objektiven Faktoren“ wie Entfernung oder Zeit auf „subjektive Empfindungen“ wie etwa Sicherheit oder Attraktivität der Route wandeln.

Entwicklung

Den Einsatz der AR-Technologie befürworteten einheitlich alle Experten und begründeten ihre Aussage durch die realitätsgetreue Darstellung und verbesserte Orientierung für den Nutzer. [2] ergänzte diesen Standpunkt und zählte zusätzlich die der Zielgruppe von Fußgängern angepasste „natürliche Geschwindigkeit“ und den damit vertrauten „Detailgrad der Umwelt“ auf. [1] wies auf die Gefahr hin, dass der zunehmende Einsatz von AR-Navigationsverfahren dazu führt, dass der Mensch das Lesen von Karten verlernen könnte und die Pflege und Aktualisierung bisheriger Kartenbestände nicht im vollen Umfang gegeben ist.

Umsetzung

Die Hürde zum Erlernen des Umgangs der AR-Technologie empfanden alle Experten einstimmig niedrig und beschrieben den Prototyp im Bezug auf die Bedienung als [1] „sehr intuitiv“. Dagegen vermisst [3] die Kombination mit sprachbasierten Anweisungen, die nach Meinung des Experten das Verständnis der Navigationsanweisung vereinfacht und den Prozess der Informationsverarbeitung für den Nutzer verkürzt. Den Einsatz einer erweiterten Realität für die Navigation von Fußgängern bewertete [3] besser als den Einsatz einer virtuellen Realität. [1] begründete dies damit, dass die virtuelle Realität zu stark in einer „Parallelwelt erscheint“, anstatt die Informationen in die „Realität einzubetten“.

Funktionalität

Zur Auswahl der Navigationskomponenten des Prototyps sah [3] die Einbeziehung einer Übersichtskarte als sehr wichtig an, da diese die Orientierung und somit den Überblick über den Routenverlauf kennzeichnet. [2] reduzierte die Komponenten nur auf die Einbeziehung einer Übersichtskarte, während [1] die Darstellung des Straßennamens als „Rückversicherung für den Nutzer“ in der Realität als grundlegend erachtete. Die Navigationsform des Virtual Cable bewertete [1] als „intuitiv und plausibel“. Eine ähnliche Ansicht vertrat [2] und begründete diese damit, dass der Aufmerksamkeitsbereich des Nutzers nicht „unnötig überlastet“ wird. [3] wies darauf hin, dass sich die Navigationsform an die persönlichen Vorlieben des individuellen Menschen anpassen muss und über das Benutzerprofil adaptiert werden kann.

Zusammenfassung

Die wesentlichsten Aspekte der im Prototyp implementierten Funktionalitäten wurden durch die Ergebnisse des Experteninterviews bestätigt. Insbesondere sprachen sich alle Experten einstimmig für den Einsatz einer erweiterten Realität für die Navigation von Fußgängern aus und begründeten dies durch die intuitive Bedienung und den im Gegensatz zu einer virtuellen Realität hohen Detailgrad der Umwelt. Der Mangel an einer qualitativ ausreichenden und öffentlich zugänglichen Kartengrundlage im Allgemeinen sowie die hardwareseitige Einschränkungen der Sensoren im Speziellen sind wesentliche Faktoren, die dazu führten, dass der RealityView im Rahmen dieser Arbeit nicht über den Stand eines Prototyps hinaus umgesetzt werden konnte.

Die Aussagen der Experten bestätigen das Konzept des RealityView in einer ersten Stufe, weisen aber darauf hin, dass die Nutzergruppe Fußgänger in Zukunft noch weiter unterteilt werden kann und eine individuelle Navigationsdienstleistung erfordert. Gleichzeitig gibt es Ergänzungen, die besagen, dass sich der Einsatzbereich von Navigationssystemen in Zukunft auch auf Innenbereiche von Gebäuden erweitert und diese nahtlos mit der Außenwelt verbindet. Der Einsatz von Augmented Reality für die Navigation bildet dabei nur den Anfang einer ganzen Reihe von Neuerungen für Navigationssysteme. Allerdings laut Aussage der Experten ein Anfang, der in die richtige Richtung zu gehen scheint.

5.2. Online-Umfrage

Nach Abschluss der Implementierungsphase des RealityView-Prototyps wurde die aktuelle Version für das Android-System auf der Projektseite³⁷ von Navit zum Download angeboten. Gleichzeitig wurden die Nutzer gebeten, an einer Online-Umfrage teilzunehmen. Die frühzeitige Veröffentlichung der Ergebnisse schien eine gute Gelegenheit, um einerseits auf das Projekt aufmerksam zu machen und andererseits einen großen Teil der Nutzer zur Teilnahme an der Umfrage zu bewegen.

5.2.1. System Usability Scale

Der **System Usability Scale** (SUS) ist ein kurzer und kompakter Fragebogen, der eine allgemeine Einschätzung sowie subjektive Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit eines Produktes ermöglicht (SAURO, 2012). Erstmals unter dieser Bezeichnung wurde der Fragebogen 1986 von John Brooke veröffentlicht und wurde bis heute in über 600 Publikationen³⁸ verwendet. „*The System Usability Scale (SUS) is a simple, ten-item scale giving a global view of subjective assessments of usability.*“ (BROOKE, 1996:3)

Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit von Geräten und Produkten wird als *usability* bezeichnet und steht im Verhältnis von Wirkung und Aufwand sowie der Zufriedenheit des Nutzers bei der Bedienung. Der Begriff setzt sich zusammen aus den Worten *use* (benutzen) und *ability* (Fähigkeit). Darunter versteht man die Fähigkeit, etwas intuitiv und ohne Probleme zu benutzen. „*Usability means that the people who use the product can do so quickly and easily to accomplish their own tasks.*“ (DUMAS & REDISH, 1999:4)

Die Norm EN ISO-9241³⁹ trägt den Titel *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion* und beschreibt die Richtlinie der Interaktion zwischen Nutzer und Computer. Diese Norm definiert die Gebrauchstauglichkeit als das Ausmaß, „*in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Kontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.*“ (ISO, 2012).

Die Leitkriterien⁴⁰ der Gebrauchstauglichkeit sind definiert als:

- Die **Effektivität** zur Lösung einer Aufgabe.
- Die **Effizienz** der Handhabung des Systems.
- Die **Zufriedenheit** der Nutzer einer Software.

³⁷ http://wiki.navit-project.org/index.php/Navit_with_Augmented_Reality, Aufruf am: 21.6.2011

³⁸ <http://www.measuringusability.com/>, Aufruf am: 9.2.2012

³⁹ <http://www.iso.org/>, Aufruf am: 2.2.2012

⁴⁰ <http://www.handbuch-usability.de/iso-9241.html>, Aufruf am: 9.2.2012

Aufbau

Der Fragebogen ist in 10 Aussagen untergliedert, deren Wertebereich zwischen 0-100 Punkte liegen kann (vgl. Abb. 5-1). Die Bewertungsgrundlage bildet die *Likert-Skala*⁴¹, die in fünf Wertstufen unterteilt ist. Um zu untersuchen, wie eine Testperson auf eine bestimmte Aussage reagiert, wurde der Bewertungsschlüssel in zustimmend (Antwort 5) und ablehnend (Antwort 1) untergliedert. Die Formulierung der Fragen wechselte zwischen positiven und negativen Aussagen, um einerseits die Neutralität des Fragebogens zu gewährleisten und andererseits zu verhindern, dass Testpersonen willkürlich bewerten. Um eine Vielzahl an Nutzern unterschiedlicher Herkunft zu befragen, wurde die Fragestellung im Test sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache formuliert (vgl. A.5-1).

	Strongly disagree		Strongly agree	
1. I think that I would like to use this system frequently				
	1	2	3	4

Abb. 5-1: Auszug aus dem SUS Fragebogen, Quelle: (BROOKE, 1996)

Bewertung

Aufgrund der abwechselnden positiven und negativen Aussagenformulierung ist die Berechnung eines neutralen Bewertungsmaßstabs notwendig. Der SUS-Fragebogen ermöglicht die Berechnung des SUS-Score, der es gestattet, das Ergebnis unabhängig von der Formulierung der Aussage zu bewerten. Der Wert des SUS-Score ergibt sich durch die Unterteilung der Aussagen in gerade (negative) und ungerade (positive) Gruppen. Der SUS-Score wird in folgenden Schritten berechnet (vgl. 5-1):

- (1) Die Summe einer jeden Aussage wird berechnet. Der Wertebereich einer Aussage kann zwischen 0 und 4 liegen.
- (2) Dem Wert einer ungeraden Aussage wird ein Zähler abgezogen.
- (3) Der Wert einer geraden Aussage wird vom Ausgangswert 5 subtrahiert.
- (4) Im Anschluss daran erfolgt die Multiplikation der Summe mit dem Wert 2,5.
- (5) Das Ergebnis ist ein neutraler Score mit einem Wertebereich von 0 bis 100 Punkten.

$$SUS\ Score = 2,5 * \sum (f_2 - 1) + \sum (5 - f_1) \quad (5-1)$$

f_1 = gerade Frage
 f_2 = ungerade Frage

⁴¹ <http://www.socialresearchmethods.net/kb/scallik.php>, Aufruf am: 12.2.2012

5.2.2. Auswertung

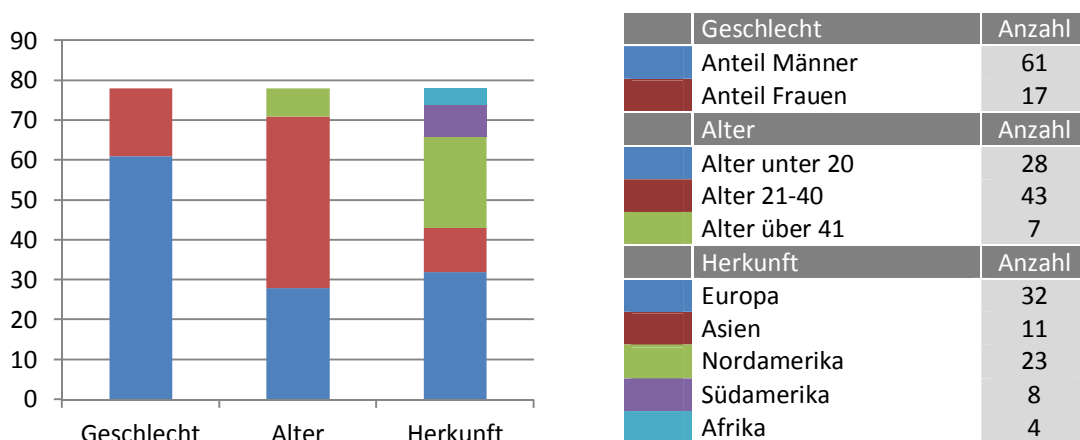
Nach Ablauf des Umfragezeitraumes von 24 Monaten (Januar 2010 - Dezember 2011) hatten insgesamt 227 Personen an der Online-Umfrage teilgenommen. Nur knapp ein Drittel aller Personen, die an der Umfrage teilnahmen, beendete diese erfolgreich, so dass von der ursprünglichen Gesamtanzahl 227 nur 78 Ergebnisse (ca. 35%) erfolgreich ausgewertet werden konnten.

Personenbezogene Angaben

Vor der Beantwortung des SUS-Fragebogens wurden die Kandidaten nach Angaben zu ihrer Person, Alter, Herkunft sowie der zu Grunde liegenden Hardware gebeten.

- Informationen über **Alter und Geschlecht** ermöglicht die Zuordnung der Antworten zu einer spezifischen Nutzergruppe.
- Die Angaben der **Staatsangehörigkeit und Muttersprache** der Testperson halfen, eventuelle Sprachprobleme und Qualitätsunterschiede in der OSM-Kartengrundlage auszuschließen.
- Gerätebezogene Angaben zu **Hardware und Betriebssystem** ermöglichte Aussagen über die Güte und technische Entwicklung.

Mit insgesamt 61 männlichen und 17 weiblichen Kandidaten lag der Anteil männlicher Probanden klar vor denen der Frauen. Die Auswertung der Altersklassen ergab eine Anzahl von 28 Personen in der Gruppe der bis 20-Jährigen, 43 Personen der 21-40-Jährigen und 7 in der Gruppe der 41 und mehr Jahre alten Personen. Das Ergebnis der geographischen Herkunft der Kandidaten klassifiziert nach Kontinenten lag bei 32 Europäern, davon 18 Personen aus Deutschland, 4 Personen aus Afrika, 8 Personen aus Südamerika, 23 Personen aus Nord- und Mittelamerika und 11 Personen aus Asien. Die gerätebezogenen Angaben zu Hardware und Betriebssystem konnte nicht in der Auswertung berücksichtigt werden, da nicht bei allen Antworten der Gerätetyp bzw. die Systemversion ermittelt werden konnte. Zusammengefasst ergibt sich somit folgende Aufteilung der Probanden (vgl. Tab. 5-3).



Tab. 5-3: Aufschlüsselung personenbezogener Angaben

Auswertung SUS-Score

Die Ergebnisse der Auswertung von arithmetischen Mittel und SUS-Score sind in Abb. 5-2 gegenüber gestellt (vgl. A.5-2). Gut zu erkennen ist das Sägezahnmuster der Diagrammbalken des Mittelwerts (rote Färbung) gegenüber dem neutralen SUS-Score (blaue Färbung). Diese charakteristische Darstellung ist zurückzuführen auf die abwechselnd positive und negative Aussagenformulierung.

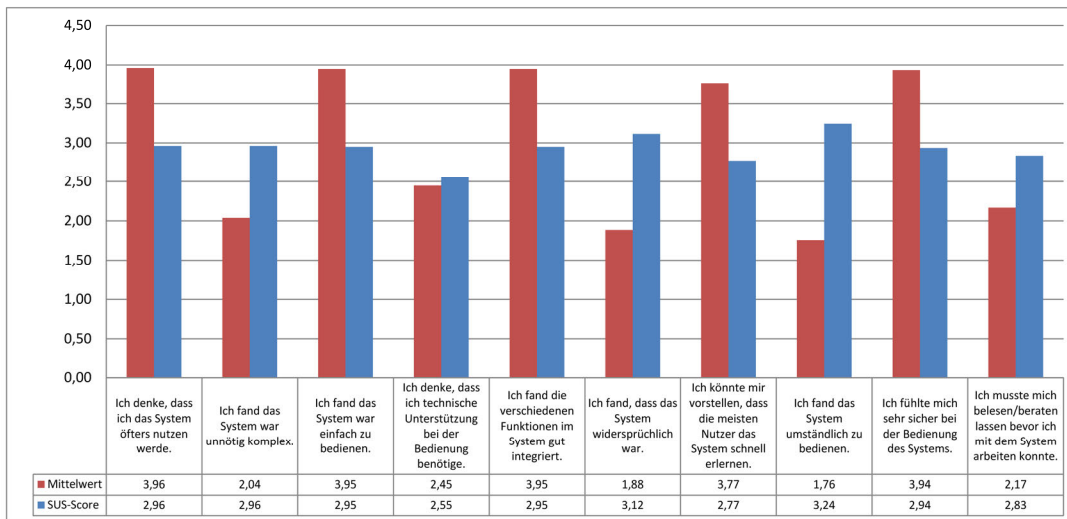


Abb. 5-2: Auswertung des System Usability Scale (vgl. Kap. 5.2.1)

Die erste Aussage „Ich denke, dass ich das System öfters benutzen würde“ wurde von 69% aller Antworten als zustimmend (Antwort 4) bzw. sehr zustimmend (Antwort 5) bewertet. Nur 8% aller Antworten lehnten diese Aussage ab. Gleichzeitig schlossen sich nur 9% aller Probanden der Aussage 10 an „Ich musste mich belesen/beraten lassen bevor ich mit dem System arbeiten konnte“.

Auffallend war, dass mehr als die Hälfte aller Befragten (71,8%) die dritte Aussage „Ich fand das System war einfach zu bedienen.“ befürworteten (Antwort 4/5). Bestätigt wird das Ergebnis in Aussage 8 „Ich fand das System umständlich zu bedienen.“, die 83% der Befragten ablehnten (Antwort 2) oder sehr ablehnten (Antwort 1).

Die Integration der verschiedenen Funktionen des Prototyps in Aussage 5 befürworteten 70% (Antworten 4/5) aller Antworten. Die Bestätigung dazu liefert Aussage 2 „Ich fand das System war unnötig komplex.“, die von 70% (Antworten 1/2) abgelehnt wurde.

Die Sicherheit bei der Bedienung des Prototyps in Aussage 9 bewerteten 73% (Antworten 4/5) aller Nutzer. Bekräftigt wird das Ergebnis durch Aussage 6 „Ich fand, dass das System widersprüchlich war.“, denen 79% (Antworten 1/2) aller Nutzer nicht zustimmten.

Ergebnis

Das Ergebnis des SUS-Score liegt bei 73 von 100 möglichen Punkten (vgl. A.5-3). Demnach wurde der RealityView-Prototyp von fast 3/4 aller Befragten positiv bewertet. Auffallend war, dass ein Großteil der rekursiv gestellten Aussagen, die sowohl positiv wie auch negativ formuliert wurden, verhältnismäßig homogene Antworten erhielten. Ein Grund dafür, dass das Ergebnis der Evaluation positiv ausgefallen ist, liegt vermutlich im Konzept zur Bedienung und Anwendung der AR-Ansicht begründet. Diese Vermutung bestätigt die Aussage 4 „Ich denke, dass ich technische Unterstützung bei der Bedienung benötige.“, die nur 9% (Antwort 5) aller Befragten als Antwort gaben. Bestätigt wird das Ergebnis in Aussage 7 „Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Nutzer das System schnell erlernen.“, die 68% (Antwort 4/5) aller Probanden wählten.

Zusammenfassung

Die Frage „Was ist ein guter SUS-Score?“ beantwortete Sauro (2012) mit einem Durchschnittswert von 68 Punkten, der sich aus dem Ergebnis von über 500 Studien gebildet hat. Dieser Wert bildet die Grenze zwischen über- und unterdurchschnittlicher Bewertung eines Produktes. Obwohl der SUS-Score zwischen 0 und 100 Punkten liegen kann, ist er nicht gleichbedeutend mit einem Prozentsatz. Der Grund für diese Abweichung liegt im nicht linearen Verlauf der Bewertungskurve des SUS-Score (vgl. Abb. 5-3). Ein Gesamtwert von 73 Punkten im SUS-Score entspricht demnach nicht einem Anteil von 73 %, sondern ungefähr einem Prozentsatz von 65%. In Schulnoten ausgedrückt würde dieser Wert einer 2 (aus dem amerikanischen B) entsprechen. Im Ergebnis kann die Untersuchung zusammengefasst werden mit der Aussage, dass der überdurchschnittlich größere Teil der Probanden mit der Bedienung und Anwendung des Prototyps zufrieden ist und somit die anfangs gestellte Bedingung einer intuitiven und leicht verständlichen Navigationsanwendung für Fußgänger erfolgreich umgesetzt werden konnte.

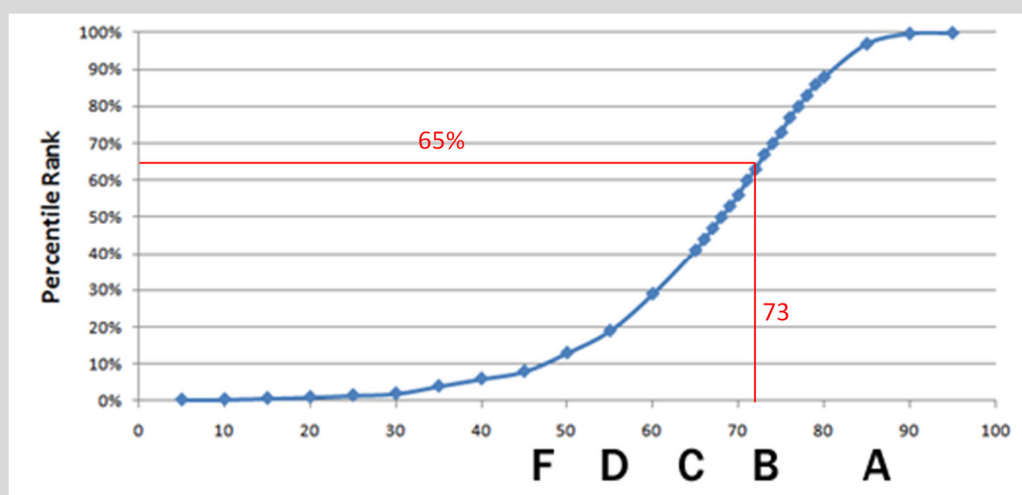


Abb. 5-3: Prozentualer Bezug des SUS-Score, Quelle: (SAURO, 2012)

5.3. Eye-Tracking-Testreihe

Derzeit existiert kein Evaluationsverfahren, um die anfangs gestellte Vermutung zu validieren, dass der Einsatz einer erweiterten Realität dem Nutzer dabei hilft die Navigationsanweisung auf die Realität zu beziehen und umzusetzen. Daher wird in diesem Kapitel der Aufbau und die Durchführung einer informellen Testreihe beschrieben, die es ermöglicht, die Blickbewegung eines Nutzers während der Navigation mit dem Prototypen zu erfassen und im Anschluss daran auszuwerten.

5.3.1. Technologische Grundlagen von Eye-Tracking

Eye-Tracking ist eine berührungsfreie und videobasierte Technologie, die es ermöglicht, die Augenbewegung und Dauer der Fokussierung eines Probanden zu erfassen, graphisch aufzubereiten und im Anschluss daran auszuwerten. Eine am Kopf befestigte Kamera, die dem Sichtfeld des Probanden entspricht, zeichnet ein Video auf, das in Echtzeit (online) oder im Anschluss daran (offline) die Analyse der Bewegungspfade ermöglicht. Mit Hilfe eines *Head-mounted Eye-Tracker* kann das Verfahren auch außerhalb von Gebäuden zum Einsatz kommen (DUCHOWSKI, 2007).

Tracking-Prozess

Vor Beginn einer Eye-Tracking-Untersuchung muss das System auf den Probanden kalibriert werden (vgl. Abb. 5-4). Dafür wird durch Fixation mehrerer Passpunkte die Pupillenposition des Testkandidaten gespeichert. Danach erfolgen die Messung des Pupillenzentrums und die Positionierung des Reflexionspunktes. Den Abschluss bilden die Messung der Blickachse und das Abspeichern der Informationen in die Datenbank des Steuerrechners. Der Tracking-Prozess setzt sich aus folgenden Einzelschritten zusammen (SAREIKA, 2005; NAMAHN, 2012):

- (1) Kalibrierung der Augenposition des Probanden
- (2) Aufhellung der Augen, um die Pupillenposition festzustellen
- (3) Messung des Pupillenzentrums
- (4) Aufsuchen des Reflexionspunktes
- (5) Messung der Blickachse

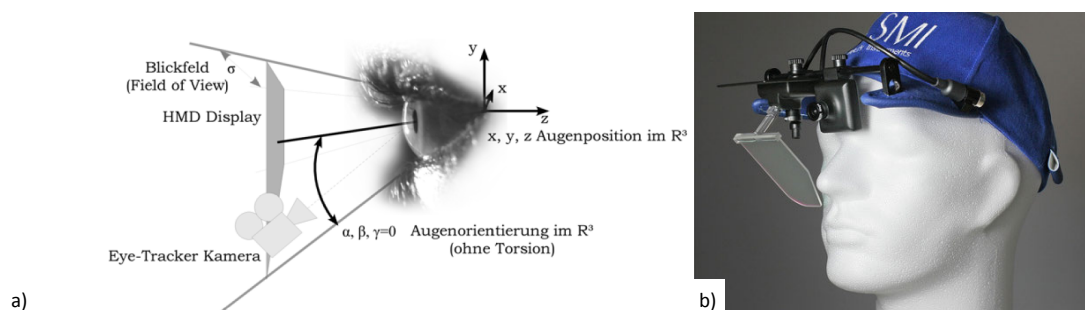


Abb. 5-4: Schematische Darstellung eines EyeTrackers (a), Head-mounted Eye Tracker (b), Quelle: (SAREIKA, 2005; SMI-VISION, 2012)

Zielstellung der Untersuchung

Um sich zu orientieren oder einen Weg zu beschreiben, nutzen Menschen bedeutende, natürliche, gebaute oder kulturell geprägte Orientierungspunkte -sogenannte Landmarken (GOLLEDGE, 1999). Landmarken sind strategische Blickpunkte „auf die man sich während einer Route zu- oder von ihnen wegbewegt, oder Zwischenpunkte entlang des Weges, die zur Entscheidungsfindung beitragen.“ (ELIAS, 2006:16). Unterscheiden lassen sich Landmarken in ihrer Größe und Dimension, der Häufigkeit des Vorkommens und der Entfernung zum Betrachter (GALLER, 2002; LÜBKE, 2004; WEISSENSTEINER & WINTER, 2004).

Mit Hilfe von Eye-Tracking lassen sich die Betrachtungsdauer und der Pfad einer Augenbewegung analysieren. Zusätzlich dazu kann durch die Auswertung der Videoaufzeichnung die Auswahl markanter Objekte in der realen Umgebung erfolgen. Das Ziel der durchgeführten Eye-Tracking Pilot-Studie lag darin, festzustellen, welche Beziehung ein Benutzer zwischen Navigationsanweisung und Realität aufstellt und welche Objekte oder Landmarken dabei als Referenzpunkte zum Einsatz kommen.

Die Fragestellung, die sich in Bezug auf die Navigation daraus ableitet, ist, ob durch den Einsatz realer Bildinformationen in Form einer erweiterten Realität der Abstraktionsprozess für den Nutzer verringert werden kann oder ob eine klassische Navigationsform, wie etwa die Kartendarstellung, besser geeignet ist. Um dies zu beantworten, wurde untersucht, welche der beiden Ansichtsformen, AR oder Karte, von Probanden auf unterschiedlichen Stationen während der Navigation häufiger und länger eingesetzt wurden und welche Rolle die reale Umgebung dabei einnimmt.

Aufbau der Untersuchung

Der Einsatz der Eye-Tracking-Technologie in Bezug auf die Navigation von Fußgängern ermöglicht eine praxistaugliche Bewertung des RealityView-Prototyps unabhängig von der subjektiven Bewertung eines Probanden.

Die Eye-Tracking-Ausrüstung wurde von der Fachhochschule Potsdam bereitgestellt und der Testlauf auf dem Campusgelände durchgeführt. Der Vorteil war zum einen das verminderte Verkehrsaufkommen auf dem Campusgelände und zum anderen die Tatsache, dass Wege oder Straßen mittig gelaufen werden konnten. Alle Probanden waren mit dem Testgelände vertraut, hatten jedoch im Vorfeld keine Informationen über den Routenverlauf. Die Gesamtlänge des Testlaufs betrug ca. 500m und beinhaltete mehrere Abbiegesituationen.

Der Aufbau der Untersuchung bestand aus den drei Teilen (1) Einleitung, (2) Testlauf und (3) Fragebogen. Im ersten Teil wurden den Testkandidaten das Projekt und die Bedienung des Prototyps erläutert. Der zweite Teil bestand in der Durchführung des Testlaufs. Abschließend wurden die Probanden gebeten, ihre Erfahrungen und Eindrücke im SUS-Fragebogen (vgl. Kap. 5.2.1) wiederzugeben.

Ausrüstung

Der Aufbau des von der Firma SMI entwickelten Eye-Trackers, iView-X HED⁴², besteht aus zwei Kameramodulen, die an einem Helm befestigt sind. Eine nutzerzentrierte Kamera dient zur Erfassung der Augenbewegung des Probanden. Zusätzlich dazu wird das Sichtfeld des Probanden durch eine Blickfeldkamera aufgezeichnet. Beide Kameramodule sind auf einer Tragevorrichtung am Kopf befestigt. Die aufgezeichneten Informationen werden in einem Steuerrechner gespeichert (vgl. Abb. 5-5).

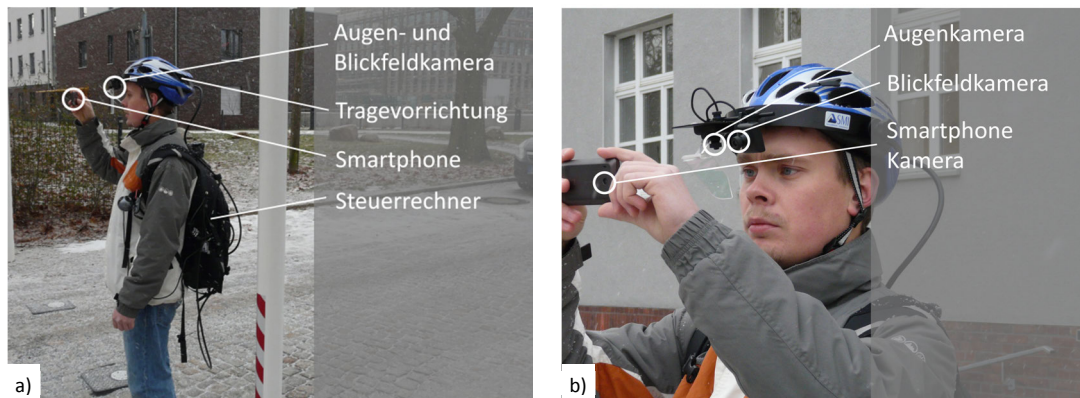


Abb. 5-5: Aufbau der Eye-Tracking Ausrüstung, Tragevorrichtung (a), Kameramodule (b)

Die visuelle Auswertung der Eye-Tracking-Daten erfolgt auf Basis der vom Hersteller mitgelieferten Videoanalysesoftware SMI-BeGaze⁴³ in Version 2.4. Das Programm ermöglicht die zeitgesteuerte Visualisierung der Blickbewegung und präsentiert die Augenbewegung als virtuellen Pfad bzw. die Dauer der Fokussierung an Ruhepunkten durch ein in der Größe variablen Kreis vor der Videobildszene (vgl. Abb. 5-6).

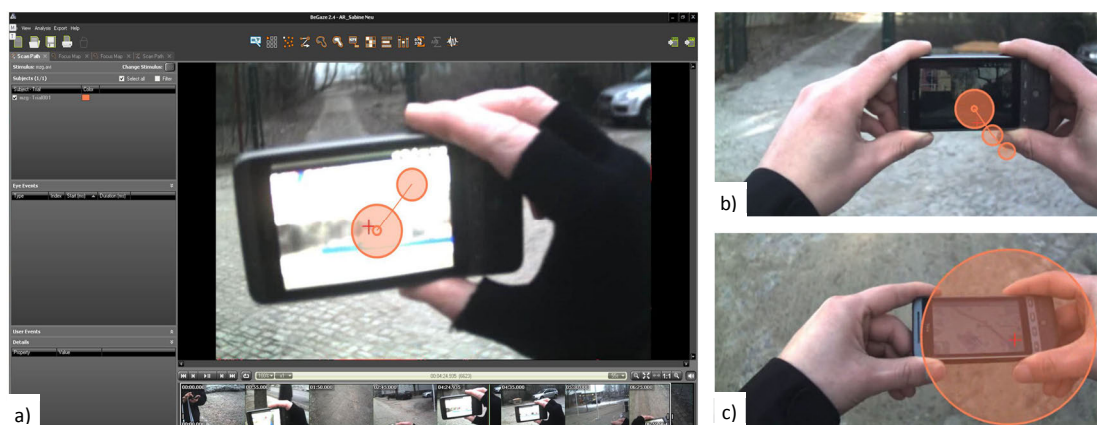


Abb. 5-6: Visuelle Auswertung der Eye-Tracking Daten, SMI-BeGaze (a), Augenbewegung (b), Ruhepunkt (c)

⁴² <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/iview-x-hed.html>,
Aufruf am: 13.1.2012

⁴³ <http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/begaze-analysis-software.html>,
Aufruf am: 13.1.2012

5.3.2. Auswertung

Aufgrund der umständlichen Kalibrierung und des immensen Zeitaufwands für die Durchführung der Messreihe ließ sich insgesamt nur eine Pilotstudie mit einem Umfang von drei Probanden realisieren. Trotz der geringen Anzahl an Probanden zeichnete sich nach Auswertung aller Untersuchungsergebnisse ein weitestgehend homogenes Bild ab, dass auf eine gleiche Verteilung und damit Allgemeingültigkeit der Untersuchung schließen lässt (KLUGE & ASCHE, 2012).

Messtationen

Um die einzelnen Testläufe miteinander zu vergleichen, wurden entlang der Teststrecke verschiedene Messtationen definiert, an denen die Betrachtungsdauer der Navigationsansichten (AR oder Karte) bzw. markanter Objekte in der Umgebung gemessen wurde. Auf Grundlage dieser Daten soll überprüft werden, welche Art von Beziehung ein Nutzer zwischen der Abbildung auf dem Bildschirm und der Realität herstellt. Folgende Messtationen wurden ausgewählt (vgl. Abb. 5-7).

- (1) **Markante Gebäude** lassen sich besonders gut durch deren Nutzungsart, wie etwa Geschäfte oder Restaurants bzw. der Gebäudefassade, unterscheiden.
- (2) **Parkende Fahrzeuge** stellen temporäre Referenzpunkte dar, die sich durch ihre Eigenschaften, wie etwa Hersteller, Modell und Farbe, unterscheiden lassen.
- (3) **Schilder und Hinweistafeln** sind zumeist gut sichtbar, können aber nur durch ihren semantischen Inhalt voneinander unterschieden werden.
- (4) **Der Zielpunkt** bildet den Abschluss und wird graphisch hervorgehoben.

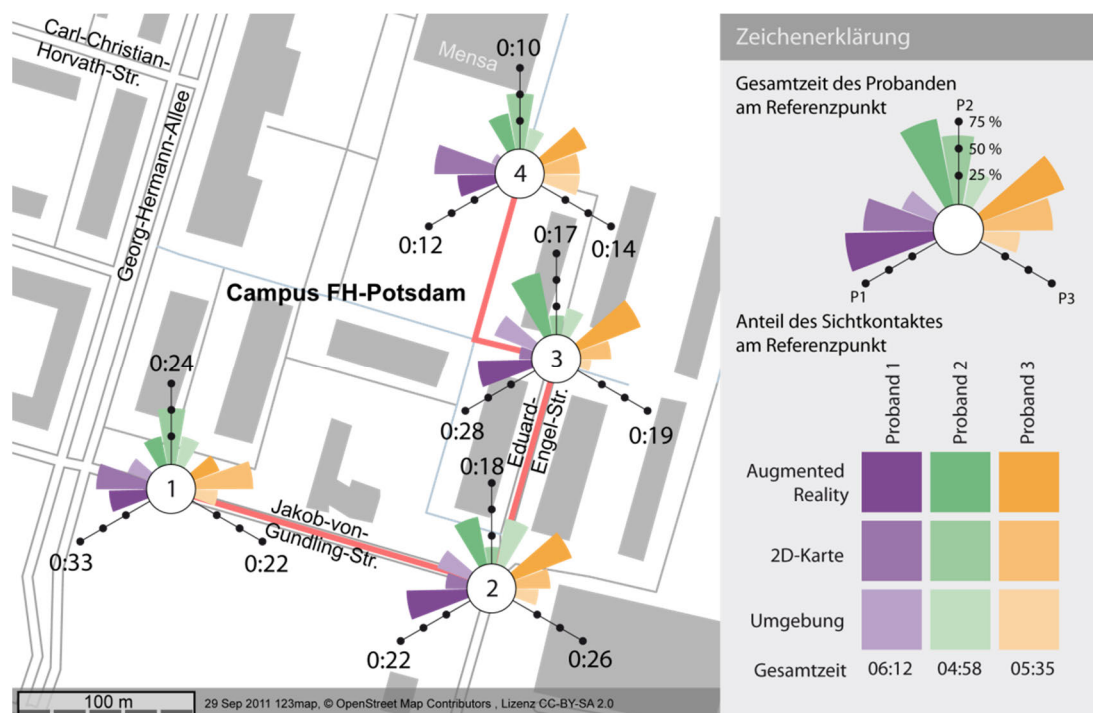


Abb. 5-7: Kartenskizze und Zeichenerklärung des Eye-Tracking Testlaufs, Quelle: (KLUGE & ASCHE, 2012)

Auswertung

Bis auf eine Ausnahme ergab die Auswertung der Betrachtungsdauer an den einzelnen Messstationen ein identisches Ergebnis (vgl. Tab. 5-4). In den meisten Fällen favorisierten die Nutzer die AR-Ansicht an Entscheidungspunkten, an denen es mehr als nur eine Möglichkeit gab, weiter zu gehen. Im Gegensatz dazu wurde die Kartenansicht häufiger in der Bewegungsphase zwischen zwei Entscheidungspunkten sowie zu Beginn und am Ende der Teststrecke verwendet. Alle Probanden bezogen die Anweisung der AR-Ansicht auf die Realität, indem sie markante Objekte auf dem Bildschirm mit denen in der Umwelt verglichen. Die am häufigsten zum Einsatz kommende Navigationsstrategie bestand darin, dem Verlauf des *Virtual Cable* zu folgen und die aktuelle Position mit dem Zielpunkt in der Kartendarstellung zu vergleichen. Abschließend konnte festgestellt werden, dass die AR-Ansicht dem Probanden auf Grund des höheren Detailgrades und der realistischeren Darstellung an Entscheidungspunkten einen Vorteil verschafft. Im Gegenzug gestattet die Kartenansicht einen besseren Überblick über die Gesamtsituation und ermöglicht dem Probanden, die aktuelle Position mit dem Zielpunkt zu vergleichen.

	Proband 1	Proband 2	Proband 3
Gesamtzeit (hh:mm:ss)	00:06:12	00:04:58	00:05:35
Station 1	33s (33%, 45% , 21%)	24s (25%, 50% , 25%)	22s (23%, 59% , 18%)
Station 2	22s (55% , 18%, 27%)	18s (44% , 17%, 39%)	26s (54% , 27%, 19%)
Station 3	28s (50% , 14%, 36%)	17s (59% , 18%, 24%)	19s (63% , 26%, 11%)
Station 4	12s (33%, 58% , 8%)	10s (30%, 50% , 20%)	14s (43% , 29%, 29%)

Tab. 5-4: Gesamtdauer des Blickkontakts an den Messstationen (AR, Karte, Umgebung), (vgl. A.5-4)

Gemäß der Zielstellung, die dieser Untersuchung zu Grunde liegt, lässt sich nach Auswertung der Messergebnisse folgendes zusammenfassen (KLUGE & ASCHE, 2012):

- (1) Es wurde festgestellt, dass alle Probanden an den einzelnen Messstationen die Navigationsanweisung auf dem Bildschirm mit markanten Objekten in der realen Umgebung in Bezug setzten.
- (2) Diese Erkenntnis beruht auf der Tatsache, dass an allen vier Stationen die Probanden die reale Umgebung mit einbezogen, häufiger jedoch, wenn zuvor die AR-Darstellung zum Einsatz kam.
- (3) Die Kartenansicht wurde vorrangig zwischen zwei Entscheidungspunkten und während einer Bewegungsphase aufgerufen.
- (4) Zugleich nutzten die Probanden die Information aus der Kartenansicht vorrangig, um sich zu vergewissern, in welcher Richtung und Entfernung der Zielpunkt liegt.
- (5) Abschließend ließ sich durch Auswertung der Messergebnisse zeigen, dass die Kombination von Bildschirmkarte und AR-Darstellung vom Nutzer akzeptiert wurde und situationsgerecht zum Einsatz kam.

Fragebogenauswertung

Zusätzlich zur Eye-Tracking Untersuchung wurden die Probanden gebeten, den bereits in der Online-Umfrage angewandten SUS-Fragebogen auszufüllen (vgl. Kap. 5.2.1). Der Grund für die Befragung lag in den veränderten Testbedingungen. Anders als bei der Online-Umfrage bekam jeder Proband vor Beginn der Anwendung eine Einweisung in die Bedienung und Funktionalität des Prototyps. Im Weiteren fand der Testlauf unter gleich bleibenden Bedingungen statt und es wurde sichergestellt, dass das zu Grunde liegende Kartenmaterial im Testgebiet den notwendigen qualitativen Anforderungen für Fußgänger entsprach.

Die Befragung der Probanden in Kombination mit der Eye-Tracking Untersuchung ist notwendig, weil nur dadurch die Erfahrungen und Eindrücke eines Nutzers festgestellt werden kann. Während mittels Eye-Tracking die qualitative Bewertung auf Grundlage der Augenbewegung untersucht wird, ermöglicht der Fragebogen, die Reaktion des Nutzers und somit dessen subjektives Empfinden zu beurteilen. Erst durch die Kombination von quantitativen und qualitativen Evaluationsverfahren gelingt es, die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse zu verifizieren.

Zusammenfassung

Die Fragebogenauswertung der Eye-Tracking-Untersuchung ergab ein besseres Ergebnis als bei der Online-Umfrage und kam auf einen mittleren SUS-Score von 75,8 von möglichen 100 Punkten (vgl. Abb. 5-8). Auffallend war, dass alle Testpersonen einstimmig der dritten Aussage „*Ich fand das System war einfach zu bedienen.*“ sehr zustimmten. Gleichzeitig verwarfen zwei von drei Testpersonen die vierte Aussage „*Ich denke, dass ich technische Unterstützung bei der Bedienung benötige.*“ Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Forderungen nach einer der natürlichen Fortbewegung und Sichtweise von Fußgängern gerechten Navigation erfüllt wurde.

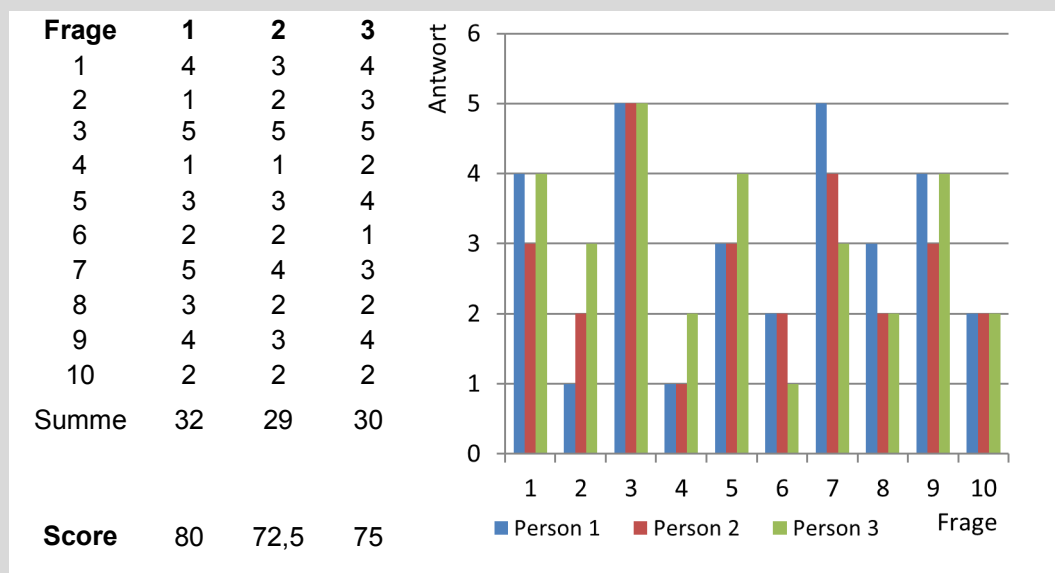


Abb. 5-8: Ergebnis der Fragebogenauswertung des Eye-Tracking-Testlaufs, Quelle: (Kluge & Asche, 2012)

5.4. Zusammenfassung

Die Untersuchung und Bewertung des RealityView erfolgte auf Grundlage verschiedener quantitativer und qualitativer Evaluationsverfahren. Neben einer Nutzerumfrage auf der Projektwebsite wurden Wissenschaftler in einem Experteninterview, zum Aufbau und der Umsetzung des Prototyps befragt. Zusätzlich wurde in einer Teststudie die Augenbewegung von Probanden verfolgt und analysiert, um die Auswahl markanter Objekte, auf die sich die Navigationsanweisung bezieht, zu untersuchen. Das Ergebnis bestätigt die Hypothese, dass der Einsatz einer erweiterten Realität für die Fußgängernavigation möglich ist und darüber hinaus von der Nutzergruppe akzeptiert wird.

Um quantitativ aussagekräftige Daten zu erhalten, wurden in einer Online-Umfrage über einen Zeitraum von 24 Monaten insgesamt 78 Personen sowohl auf Deutsch wie auch auf Englisch zur Bedienung und Anwendung des Navigationsprototyps befragt. Betrachtet man die ausgewerteten Ergebnisse der Umfrage, ist festzustellen, dass ein großer Teil der befragten Nutzer mit der Gebrauchstauglichkeit des RealityView-Navigationsprototyps zufrieden ist. Um den wissenschaftlichen Qualitätskriterien gerecht zu werden, wurde der Fragebogen durch Anwendung eines neutralen Score berechnet, dessen Ergebnis mit der Schulnote Gut zu bewerten ist.

Die qualitative Bewertung der Forschungsergebnisse erfolgte auf Grundlage von drei Experteninterviews mit Wissenschaftlern verschiedener Fachbereiche. Grundsätzlich kann das Ergebnis, das im Rahmen der Befragung gewonnen wurde, als sehr positiv bewertet werden. Es wurde ausdrücklich daraufhin gewiesen, dass der Einsatz einer erweiterten Realität für die Navigation von Fußgängern sinnvoll ist und die prototypische Umsetzung des RealityView überzeugt.

Aufgrund der anfangs formulierten Hypothese, dass die Erweiterung der Realität einen Fußgänger unterstützt die Navigationsanweisung auf die Realität zu beziehen und umzusetzen, wurde in einer Eye-Tracking-Teststudie die Augenbewegung von Probanden während der Navigation mit dem RealityView-Prototyp verfolgt und analysiert. Neben der Tatsache, dass Fußgänger markante Objekte nutzen, um sich zu orientieren, wurde festgestellt, dass der Einsatz einer erweiterten Realität es ermöglicht, die Anweisungshandlung auf markante Objekte der Umwelt zu beziehen, an denen sich Fußgänger orientieren können, um die Handlung umzusetzen.

6. Schlussfolgerung

Eines der zentralen Anliegen dieser Arbeit bestand in der konzeptionellen Entwicklung und prototypischen Umsetzung eines Fußgängernavigationssystems. Die daraus resultierenden Forschungsergebnisse sollen im Folgenden zusammengefasst und in Bezug auf die Fragestellung bewertet werden. Der wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit wird erläutert und zukünftige Forschungsfelder benannt. Den Abschluss bilden eine Diskussion, die im Rahmen der durchgeführten Experteninterviews aufkam, und der Ausblick auf die zukünftige Entwicklung von Augmented Reality.

6.1. Zusammenfassung

Das Konzept dieser Arbeit knüpft am aktuellen Forschungsstand an und untersucht den Einsatz eines kombinierten Darstellungsverfahrens für die Fußgängernavigation, das der natürlichen Fortbewegung und Sichtweise der Nutzergruppe gerecht wird. Der zentrale Schwerpunkt liegt in der Kombination aus Realität und virtueller Realität zu einer gemeinsamen Ansicht, die durch eine virtuelle Routendarstellung erweitert wird. Die Anpassung der virtuellen Bildszene erfordert ein komplexes Datenmodell, das dem Betrachter verborgen bleibt und sensorisch erfasst und ausgerichtet wird. Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Navigationsprototyp trägt die Bezeichnung *RealityView* und basiert auf einer freien und quelloffenen Navigationsplattform, in der die beiden Ansichtsformen einer zweidimensionalen Bildschirmkarte im Grundriss mit der Darstellung einer erweiterten Realität im Aufriss kombiniert werden. Die Evaluation des Prototyps bestätigt den konzeptionellen Ansatz und belegt, dass der Einsatz von Augmented Reality für die Fußgängernavigation möglich ist und von der Nutzergruppe akzeptiert wird.

Forschungsergebnisse

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Untersuchung der Annahme, dass der Einsatz kartographischer und erweiterter Darstellungsverfahren der natürlichen Bewegung und Sichtweise eines Fußgängers gerecht wird und diesen dabei unterstützt, die Navigationsanweisung auf die reale Umwelt zu beziehen und umzusetzen. Auf Grundlage dieser Hypothese ließen sich verschiedene Forschungsfragen ableiten (vgl. Kap. 1.3), auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

- *Welche Vorteile ergeben sich aus der Kombination von erweiterter Realität und kartographischer Darstellung für die Navigation von Fußgängern?*

Fußgänger nutzen markante Bezugspunkte, um die eigene Position zu finden und die Navigationsanweisung in der Realität umzusetzen. Die Kombination aus realer und kartographischer Darstellung ermöglicht den Bezug zur Umwelt, ohne dass der Überblick über die Umgebungssituation verloren geht.

- *Welche Nachteile ergeben sich aus der Kombination von erweiterter Realität und kartographischer Darstellung für die Navigation von Fußgängern?*

Im Gegensatz zu kartenbasierten Darstellungsverfahren erfordert der Einsatz einer erweiterten Realität keine Abstraktion zwischen Umwelt und Modell. Die Position ist dank der perspektivischen Ansicht gleich dem Kamera-standpunkt und bezieht die Navigationsanweisung auf die Realität. Dadurch verkürzt sich die Weitsicht der AR-Darstellung und muss durch den Wechsel in die Kartendarstellung im Grundriss ausgeglichen werden.

- *Welche Anweisungsmethoden sind geeignet, um einen Fußgänger auf Grundlage einer erweiterten Realität zu navigieren?*

Die Besonderheit an der Darstellung einer erweiterten Realität für einen Fußgänger ist die vertraute Ansicht im Aufriss und der Realitätsgehalt der Abbildung. Eine zusätzliche Anweisung ist nicht notwendig, da der Routenverlauf selbst die geeignetste Form darstellt und für jedermann verständlich ist. Die Darstellung einer virtuellen Route (Virtual Cable) vermittelt die Anweisungshandlung auf eine subtile Art, die ohne Umschreibung auskommt und der ein Nutzer nur folgen muss, um das Ziel zu erreichen.

- *Welche Anforderungen und Voraussetzungen in Bezug auf die Hard- und Software sind notwendig, um ein AR-Navigationssystem umzusetzen?*

Neben hardwareseitigen Vorgaben, in Bezug auf Größe, Gewicht und Auswahl der Sensorkomponenten, hat die Qualität der Datengrundlage einen entscheidenden Einfluss auf die Darstellung der erweiterten Realität. Darüber hinaus ist die Lageabweichung zwischen virtuellem Objekt und Realität abhängig von der Latenzzeit, die maßgeblich von der Bildwiederholfrequenz und der Rechenleistung des Prozessors beeinflusst wird.

Wissenschaftlicher Beitrag

Diese Arbeit beschreibt einen bisher nicht verfügbaren Ansatz zur Verknüpfung von realer und virtueller Welt für die Navigation von Fußgängern. Die gewonnenen Ergebnisse leisten einen Beitrag, der sich in den aktuellen Stand der Wissenschaften integriert und diesen in unterschiedlichen Bereichen erweitert und wesentliche instrumentelle Defizite bestehender Navigationsverfahren aufzeigt.

Das Konzept, das dieser Arbeit zu Grunde liegt, kombiniert die Visualisierungstechnologie Augmented Reality mit einem Navigationssystem in einer bisher nicht bekannten Weise und schafft eine Plattform, um Fußgänger situationsgerecht und nutzergruppenspezifisch zu navigieren. Die Umsetzung der Ergebnisse in Form eines Prototyps verknüpft unterschiedliche Präsentations- und Anweisungsmethoden miteinander und untersucht deren Eigenschaften in Bezug auf den Einsatz und die Anwendung im Rahmen eines smartphonebasierten Navigationssystems.

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Navigationsprototyp RealityView bildet die Grundlage umfangreicher Evaluationen durch Benutzer und Experten verschiedener Fachrichtungen und ermöglicht die Bewertung des konzeptionellen Ansatzes. Diese Ergebnisse leisten einen maßgeblichen Beitrag zur Optimierung und Verbesserung zukünftiger Entwicklungen.

Zukünftige Forschungsfelder

Über die wissenschaftlichen Beiträge hinaus besteht nach Ansicht des Autors ein weiterer Untersuchungsbedarf in folgenden Forschungsfeldern:

- (1) **Die Datengrundlage** ist nach wie vor eines der wichtigsten Kriterien, das über die Qualität und Güte der Navigation entscheidet und wird sich in Zukunft auf nutzerspezifische Objekte von Fußgängern erweitern.
- (2) **Die Hardware und Sensoren** bilden die zentrale Plattform eines AR basierten Navigationssystems und haben entscheidenden Anteil an der Qualität und Güte und folglich an der Akzeptanz seitens der Nutzergruppe.
- (3) **Die Personalisierung der Nutzergruppe** ist entscheidend, um ein System spezifisch an die individuellen Bedürfnisse eines Benutzers anzupassen. Sowohl adaptierbare Lösungen, wie etwa Benutzerprofile, als auch adaptive und damit automatisierte Strategien werden dabei einbezogen.
- (4) **Die Erweiterung der visuellen Sinneseindrücke** des Nutzers ist eines der zentralen Anliegen, auf das in dieser Arbeit Bezug genommen wurde. Nach den bisherigen Erkenntnissen werden in Zukunft auch andere menschliche Sinneswahrnehmungen davon in stärkerem Maße betroffen sein.
- (5) **Der Einsatzbereich** zukünftiger Navigationssysteme für Fußgänger wird in zunehmendem Maße auf die Innenbereiche von öffentlichen Gebäuden oder Umsteigebauwerken erweitert und erfordert Lösungen und Strategien, die einen nahtlosen Übergang vom Außen- in den Innenbereich ermöglichen.

6.2. Diskussion

Das folgende Kapitel beinhaltet einen thematischen Abriss, in der die Auffassung des Autors mit den Meinungen der Experten⁴⁴ des durchgeführten Interviews (vgl. Kap. 5.1) verglichen wird. Gruppirt wurden die Aussagen bezüglich der Themenschwerpunkte Nutzergruppen, Einsatzbereiche und Qualitätsanforderungen.

Nutzergruppe

Diskussionsbedarf besteht nach Ansicht des Autors in der Akzeptanz des AR-basierten RealityView-Prototyps bei der Nutzergruppe Fußgänger. Auf die Frage nach Aufteilung der Nutzergruppe von Fußgängern warnte [3] davor, die Differenzierung nicht „zu weit voran zu treiben“, da dadurch die Gefahr wachse, dass die Nutzergruppe zu klein wird, so dass das Projekt wirtschaftlich nicht mehr tragfähig ist. Gleichzeitig wies [2] darauf hin, dass sich der Anwendungsbereich von Fußgängernavigation zukünftig vergrößert und auch kleinere Nutzergruppen, wie die der Mobilitätseingeschränkten Nutzer, die eine „individuelle Anpassung der Informationen“ bedürfen, zukünftig vertreten sein werden.

Einsatzbereiche

Der Einsatzbereich des RealityView-Prototyps umfasst ausschließlich die Bewegung im freien Gelände. Zur Erweiterung des Aktionsbereichs der Navigation auf die Innenräume von Gebäuden sprachen sich alle Experten positiv aus. [3] wies darauf hin, dass Indoornavigation zukünftig auch Flächen in die Navigation einbezieht, während [2] auf die Problematik der unterschiedlichen Ebenen innerhalb von Gebäuden verwies, die berücksichtigt werden müssen. [1] bekräftigte die Möglichkeit zur Erweiterung der Navigation in Gebäuden mit der Begründung auf das für Fußgänger „angepasste Verhalten“. Die Alltagstauglichkeit von AR im Außenbereich sieht [3] nicht gefährdet, solange alternative Darstellungsformen existieren, die bei schlechten Sichtverhältnissen zur Verfügung stehen. Ebenfalls als unproblematisch sieht [2] den Einsatz von AR-Technologie, solange eine „Rückfallebene“ existiert, die zu jeder Zeit als Alternative zur Verfügung steht.

Qualitätsanforderungen

Einen entscheidenden Anteil am Erfolg zukünftiger Entwicklungen hat die zu Grunde liegende Hardware und Datengrundlage. Besonders zu erwähnen ist die Auflösung und die Fehlertoleranz der Sensoren und die daraus resultierende Latenzzeit. Der Toleranzbereich des Positionierungsverfahrens für Fußgängernavigation sollte laut [2] einen Wert von „10m unter Einbeziehung von Optimierungsverfahren“, wie MapMatching, nicht überschreiten. Ein Optimierungsbedarf besteht vor allem in den zu Grunde liegenden Geodaten, vornehmlich denen des OSM-Projektes, die laut [3] bisher für Fußgänger nur „bedingt tauglich“ sind.

⁴⁴ Aufschlüsselung der Interviewpartner (vgl. Kap. 5.1), [1] - Günzel, [2] - Lenz, [3] - Kwella & Schmidt

6.3. Ausblick

Mobilität ist für den modernen Menschen die Basisvoraussetzung zur Bewältigung des täglichen Lebens und „wird in Zukunft alle Formen des Lebens und Arbeitens in der vernetzten Welt in einem weitaus stärkeren Maße beeinflussen als schon heute absehbar“ (HEIDMANN & HERRMANN, 2003:121).

Hype Cycle

Ein Maß für die Erwartung zukünftiger Prognosen ist der **Hype Cycle**⁴⁵. Dieser Zyklus beschreibt den Erfolg eines Produktes oder einer Technologie in Form einer Kurve, die im Verlauf der Zeit die Erwartung der Nutzergruppe in das Produkt darstellt. Nach einer steil ansteigenden Anfangsphase, die im Massenmedien Hype endet, folgt ein Abstieg, der sich allmählich normalisiert (vgl. Abb. 6-1). Der Bezug des Hype Cycle auf die Technologie von Augmented Reality in den Jahren 2008 bis 2011 durchschreitet die Einzeletappen des Anstieges (*On the Rise*) bis zur Spitze (*At the Peak*) und befindet sich im Jahre 2011 am Abstieg der Entwicklung. Dies ist dadurch begründet, dass seitens der Nutzer zu hohe Erwartungen in die Technologie gesetzt werden, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht zufriedenstellend erfüllt werden können. Vermutlich wird Augmented Reality in den kommenden Jahren den typischen Rücklauf gemäß des Hype-Cycle durchschreiten, bevor sich diese allmählich erholt und schließlich normalisiert.

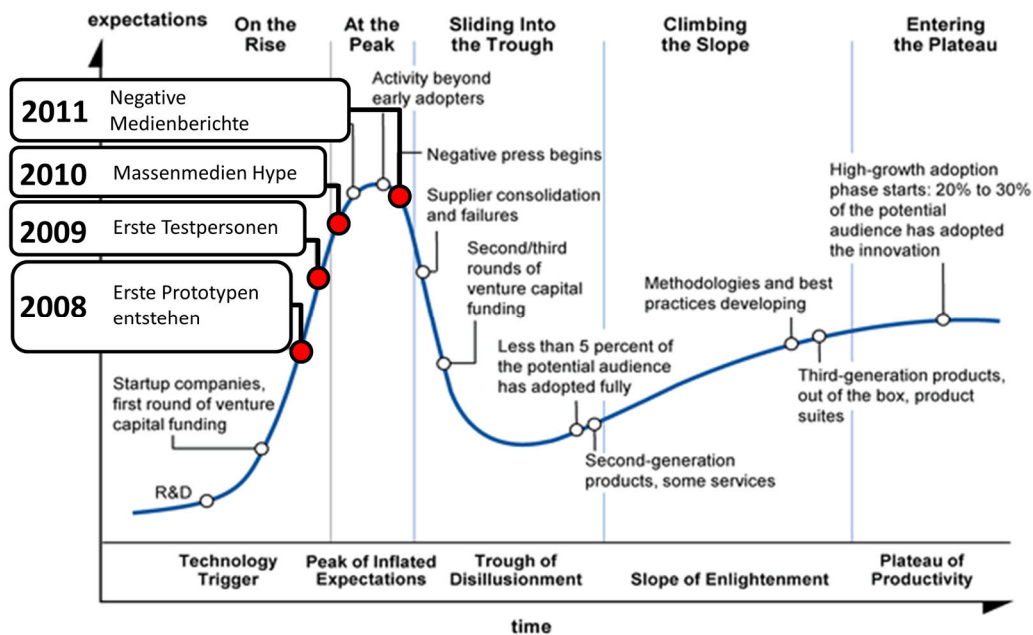


Abb. 6-1: Verlauf des Hype-Cycle für Augmented Reality, Quelle: (GARTNER, 2012)

⁴⁵ <http://www.gartner.com/technology/home.jsp>, Aufruf am: 24.1.2012

Wie und in welchem Maße das Anwendungsfeld der Fußgängernavigation auf Basis von Augmented Reality von der Entwicklung des Hype Cycle betroffen sein wird, kann nicht vollständig geklärt werden. Die Euphorie, die der Technologie von Augmented Reality derzeit entgegengebracht wird, ist in erster Linie auf den Medienhype zurückzuführen. Die Erwartungen der Nutzer sind dabei sehr stark auf die zu Grunde liegende Hardware fokussiert und werden maßgeblich durch deren zukünftige Entwicklung beeinflusst. Der Trend nach einer allgegenwärtigen Navigation für Fußgänger wird bestehen bleiben und mobile Systeme zukünftig „in jeder Situation des beruflichen und persönlichen Lebens den Zugriff auf relevante Informationen und Rechnerunterstützung bereitstellen“ (HEIDMANN & HERRMANN, 2003:130).

Fazit

Ob Fußgänger, wie anfangs beschrieben, in Zukunft auf die Frage „Wohin soll ich gehen?“ die Antwort erhalten „Folgen Sie nur dem Licht. Die Fahrkarte wird solange glimmen wie Sie in die richtige Richtung gehen.“ (ASIMOV, 1951:7 ff. zit. nach DOWNS & STEA, 1982:181), kann nicht endgültig geklärt werden. Fest steht, dass die Erweiterung der Realität für die Navigation von Fußgängern möglich ist. Darüber hinaus bestätigen die Ergebnisse dieser Arbeit und die Aussagen von Experten aus unterschiedlichen Fachbereichen das Konzept des Prototyps und bescheinigen diesem gute Chancen, in naher Zukunft eine ernstzunehmende Alternative zu bisherigen Navigationsverfahren zu sein.

Quellenverzeichnis

- AKENINE-MÖLLER, T., HAINES, E. & HOFFMAN, N. (2008) Real-Time Rendering, Wellesley, AK Peters.
- ALLEN, G. (1999) Spatial Abilities, Cognitive Maps, and Wayfinding Bases for individual Differences in spatial Cognition and Behavior, In: GOLLEDGE, R. (Hrsg.) Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 46-80.
- ANDROID (2012) Android [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.android.com/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- ARTHUR, P. & PASSINI, R. (1992) Wayfinding, Ontario, Canada, McGraw-Hill Ryerson.
- ASCHE, H. (2011) DFG-Graduiertenkolleg Sichtbarkeit und Sichtbarmachung, Potsdam, Universität Potsdam.
- ASCHE, H. & HERRMANN, C. (2003) Vorwort zu Web.Mapping 2, In: ASCHE, H. & HERRMANN, C. (Hrsg.) Web.Mapping 2. Heidelberg, Wichmann, V-VI.
- AZUMA, R. (1997) A Survey of Augmented Reality. Presence. Teleoperators and Virtual Environments, 6, 4 (August 1997), 355-385.
- AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S. & MACINTYRE, B. (2001) Recent advances in augmented reality. IEEE computer graphics and applications, 21, 34-47.
- BAUER, M. (1997) Vermessung und Ortung mit Satelliten, Heidelberg, Wichmann.
- BECKER, A. (2011) Innenansichten Die Architektur von Android. c't - Zeitschrift für Computer und Technik, 04/2011, 122-127.
- BENKER, U. (2007) GPS auf Outdoor-Touren, München, Bruckmann.
- BENTHIN, F. (2010) Mit Tux auf Streife. Linux User, 11/2010, 36-40.
- BERNSTEIN, D. & KORNHAUSER, A. (1998) Map matching for personal navigation assistants. In: (Hrsg.) *Proceedings of the 77th annual meeting of the Transportation Research Board*. Washington D.C., 11-15.
- BIEBER, R., GERLACH, P., KLINKE, R., SCHEIBNER, K., SCHULZE, M., ZIEGLER, S. & KLUGE, M. (2011) Fußgängerbezogene Datenaufbereitung in OpenStreetMap. In: FOSSGIS e.V. (Hrsg.) *FOSSGIS*. Heidelberg, 168-177.
- BILLINGHURST, M. & WEGHORST, S. (1995) The Use of Sketch Maps to Measure Cognitive Maps of Virtual Environments. In: SOCIETY, I. C. (Hrsg.) *Proceedings of Virtual Reality Annual International Symposium*. Washington DC, 40-47.
- BLANKENBACH, J. (2007) Handbuch der mobilen Geoinformation, Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag.
- BOLLMANN, J. & KOCH, W. (2005) Lexikon der Kartographie und Geomatik in zwei Bänden, zweiter Band Karto bis Z, Heidelberg, Berlin, Spektrum Akademischer Verlag.
- BOLTES, M. (2011) Wissenschaftliche Visualisierung [online] *Verfügbar auf:* <http://www2.fz-juelich.de/vislab/vorlesung/download/vorlesung/wv_v1.pdf>, *Letzter Aufruf am:* 18.04.2012.
- BROOKE, J. (1996) SUS: a "quick and dirty" usability scale, In: JORDAN, P. W., THOMAS, B., WEERDMEESTER, B. A. & MCCLELLAND, A. L. (Hrsg.) Usability Evaluation in Industry. London, Taylor and Francis, 189-194.
- BROSIOUS, H.-B. & KOSCHEL, F. (2003) Methoden der empirischen Kommunikationsforschung, Wiesbaden, Westdeutscher Verlag.

- BUTZ, A. (2009) Tracking - Einführung [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.medien.ifi.lmu.de/lehre/ss09/ar/AR-S09-02-Tracking.pdf>>, *Letzter Aufruf am:* 21.06.2011.
- CARUSO, M. J. (2000) Applications of magnetic sensors for low cost compass systems. In: IEEE (Hrsg.) *Proceedings of IEEE Positioning, Location and Navigation Symposium (PLANS)*. San-Diego, 177-184.
- CAWOOD, S. & FIALA, M. (2007) *Augmented Reality - A Practical Guide*, Pragmatic Bookshelf.
- CHEVERST, K. (2000) Developing a context-aware electronic tourist guide some issues and experiences. In: (Hrsg.) *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, 17-24.
- CHITTARO, L. & BURIGAT, S. (2004) 3D Location-pointing as a Navigation Aid in Virtual Environments, In: (Hrsg.) *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces - AVI '04*. New York, ACM Press, 267-274.
- CODEMASTERS (2011) Fuel [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.codemasters.com/fuel>>, *Letzter Aufruf am:* 05.06.2011.
- CORONA, B. & WINTER, S. (2001a) Guidance of car drivers and pedestrians. In: (Hrsg.) *Institut für Geoinformation*. Wien, Technische Universität Wien, ohne Seite.
- CORONA, B. & WINTER, S. (2001b) Navigation Information for Pedestrians from City Maps. In: KONECNY, M., FRIEDMANNOVA, L., GOLAN, J. & KOLAR, M. (Hrsg.) *GI in Europe: Integrative - Interoperable - Interactive. Proceedings of the 4th AGILE Conference on Geographic Information Science*. Masaryk University Brno, 189-197.
- DANIEL, M.-P. & DENIS, M. (1998) Spatial Descriptions as Navigational Aids: A Cognitive Analysis of Route Directions. *Kognitionswissenschaft*, 7, 45-52.
- DARKEN, R. & SIBERT, J. (1993) A Toolset for Navigation in Virtual Environments. In: HUDSON, S. E., PAUSCH, R., ZANDEN, B. & FOLEY, J. D. (Hrsg.) *UIST '93 6th annual ACM symposium on User interface software and technology* New York, 157-165.
- DÄBLER, R. (2002) Visuelle Kommunikation mit Karten, In: ENGELBERT, A. & HERLT, M. (Hrsg.) *Updates – visuelle Medienkompetenz*, 1-20.
- DE LANGE, N. (2002) *Geoinformatik in Theorie und Praxis*, Berlin, Springer.
- DETERDING, S., O'HARA, K., SICART, M., DIXON, D. & NACKE, L. (2011) Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts. In: (Hrsg.) *CHI 2011*. Vancouver, BC, Canada, ACM, 2425-2428.
- DIJKSTRA, E. W. (1959) A Note on two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik* 1, 269-271.
- DIJKSTRA, E. W. (1976) *A Discipline of Programming*, New York, Englewood Cliffs.
- DOMIK, G. (2012) Computergaphik [online] *Verfügbar auf:* <<http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/info-cd/vorlesungen/domik/computergrafik/main.htm>>, *Letzter Aufruf am:* 08.02.2012.
- DOWNES, R.-M. & STEA, D. (1982) *Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen*, New York, Harper & Row.
- DUCHOWSKI, A. T. (2007) *Eye tracking methodology: Theory and Practice*, London, Springer.
- DUMAS, J. S. & REDISH, J. C. (1999) *A practicle Guide to Usability Testing*, Exeter, Intellect Books.
- DURLACH, N. & MAVOR, A. (1995) *Virtual Reality: Scientific and Technological Challanges*, Washington, DC, National Academy Press.

- EKENGREN, B. (2009) Mobile Augmented Reality. Thesis, School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology Stockholm.
- ELIAS, B. (2006) Extraktion von Landmarken. Thesis, Fakultät Geodäsie und Geoinformatik, Universität Hannover.
- ELIAS, B. & SESTER, M. (2003) Landmarken für Wegbeschreibungen - Identifikation, Extraktion und Visualisierung. *Kartographische Nachrichten*, 02/03, 51-57.
- EYETAP (2012) EyeTap Personal Imaging Lab [online] *Verfügbar auf:* <<http://eyetap.org/>>, *Letzter Aufruf am:* 18.04.2012.
- FÄHNRICH, K.-P. (1987) Software-Ergonomie, Oldenbourg, München, Fraunhofer Publica.
- FELIZ, R., ZALAMA, E. & GARCIA-BERMEJO, J. G. (2009) Pedestrian tracking using inertial sensors. *Journal of Physical Agents*, 35-41.
- FOLEY, J., VAN DAM, A., FEINER, S. & HUGHES, J. (1997) *Computer Graphics*, Boston, Addison-Wesley.
- FOLEY, J. D., VAN DAM, A., FEINER, S. K., HUGHES, J. F. & RICHARD, L. P. (1993) *Introduction to Computer Graphics*, Boston, Addison-Wesley.
- FORSYTH, D. & PONCE, J. (2002) *Computer Vision: A Modern Approach*, Prentice Hall Professional Technical Reference
- GALITZ, W. O. (2007) *The Essential Guide to User Interface Design - An Introduction to GUI Design Principles and Techniques*, Indianapolis, Wiley Publishing.
- GALLER, I. (2002) Identifikation von Landmarks in 3D-Stadtmodellen. Thesis, Institut für Kartographie und Geoinformation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- GAMIFICATION (2012) Gamification Wiki [online] *Verfügbar auf:* <<http://gamification.org/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- GARTNER (2011) Gartner Analysts [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.gartner.com/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- GARTNER (2012) Gartner Analysts [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.gartner.com/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- GARTNER, G. & UHLIRZ, S. (2001) Cartographic Concepts for Realizing a Location Based UMTS Service. In: (Hrsg.) *Proc. of the ICA Beijing 2001*. Beijing, 3229-3238.
- GEESEN, D. (2008) Wegpunktnavigation für Fußgänger auf Basis von standardisierten Geodateninfrastrukturen. Thesis, Fakultät II – Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften, Universität Oldenburg.
- GLÄSER, J. & LAUDEL, G. (2009) *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*, Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- GOLLEDGE, R. (1999) Human Wayfinding and Cognitive Maps, In: GOLLEDGE, R. (Hrsg.) *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 5-45.
- GOOGLE (2012) Google Goggles [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.google.com/mobile/goggles>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- GORDON, J. (2011) How to Get Started in Android App Design [online] *Verfügbar auf:* <<http://mobile.tutsplus.com/tutorials/mobile-design-tutorials/how-to-get-started-in-android-app-design/>>, *Letzter Aufruf am:* 06.12.2011.

- GORDON, J. (2012) Mobile GUI Design [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.slideshare.net/jcegordon/mobile-gui-design-web-designer-magazine-article>>, *Letzter Aufruf am:* 14.02.2012.
- GOBE, S., KLEINE, I., PUSTLAUCK, F., SAUL, M. & KLUGE, M. (2011) Evaluation von Navigationsmethoden in Computerspielen. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.) *Angewandte Geoinformatik 2011*. Salzburg, Universität Salzburg, 868-873.
- GRABOWSKI, C., ZAMOJDO, T. & CARNES, J. (2011) MVS-Virtual Cable [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.mvs.net/>>, *Letzter Aufruf am:* 18.04.2012.
- GROSCH, T. (2008) *Augmentierte Bildsynthese*, Marburg, Der Andere Verlag.
- HAASE, T. & FEILNER, M. (2010) Richtungsweisend - Open-Source-Navigation mit Navit. *Linux-Magazin*, 07/10, 72-75.
- HAKE, G., GRÜNREICH, D. & MENG, L. (2002) *Kartographie*, Berlin, New York, Walter de Gruyter.
- HEIDMANN, F. (1999) *Aufgaben- und nutzerorientierte Unterstützung kartographischer Kommunikationsprozesse durch Arbeitsgraphik*. Thesis, Fachbereichs Geographie/Geowissenschaften, Universität Trier.
- HEIDMANN, F. (2007) Interfacedesign als Teil der Corporate Identity, In: BEYROW, M. (Hrsg.) *Corporate Identity und Corporate Design*. Neues Kompendium. Ludwigsburg, 108-117.
- HEIDMANN, F. & HERRMANN, F. (2003) Benutzerzentrierte Visualisierung raumbezogener Informationen für ultraportable mobile Systeme, In: DODT, J. & RASE, W. D. (Hrsg.) *Kartographische Schriften: Visualisierung und Erschließung von Geodaten*. Bonn, Kirschbaum Verlag, 121-131.
- HIGHTOWER, J. & BORRIELLO, G. (2001) A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing. *IEEE Computer Society* 34, 57-66
- HOLLOWAY, R. (2001) Registration Error Analysis for Augmented Reality Systems, In: BARFIELD, W. & CAUDELL, T. (Hrsg.) *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. Mahwah, Lawrence Erlbaum, 183-217.
- HOLONE, H., MISUND, G. & HOLMSTEDT, H. (2007) Users Are Doing It For Themselves: Pedestrian Navigation with user Generated Content. In: (Hrsg.) *Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*. New York, IEEE Press, 91-99.
- HTC (2011) HTC Hero [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.htc.com/de/>>, *Letzter Aufruf am:* 10.08.2010.
- ISO (2012) International Organization for Standardization [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.iso.org/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- JACOBI, D. (2009) *Identifikation und räumliche Lokalisierung skalierungsinvarianter Merkmale für die visuelle Navigation*. Thesis, Institut für Informatik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.
- JOHANNSON, K. (2012) Von der Zentralprojektion zur projektiven Geometrie [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.math.uni-frankfurt.de/~johannso/SkriptL2Geom/12geom8/12geom8.pdf>>, *Letzter Aufruf am:* 23.02.2012.
- KIYOKAWA, K. (2007) An Introduction to Head Mounted Displays for Augmented Reality, In: HALLER, M., BILLINGHURST, M. & THOMAS, B. (Hrsg.) *Emerging Technologies of Augmented Reality - Interfaces and Design*. IGI Global, 43-63.
- KLUGE, M. (2009) Fußgängeravigation: Reality View - der Einsatz von Computerspielenavigation in der realen Welt. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.) *Symposium für Angewandte Geoinformatik 2009*. Salzburg, Universität Salzburg, 394-403.

- KLUGE, M. (2010a) Augmented Reality basierte Fußgängernavigation. In: FOSSGIS e.V.(Hrsg.) *FOSSGIS*. Osnabrück, 74-76.
- KLUGE, M. & ASCHE, H. (2008) 3D Pedestrian Navigation - RealityView. In: GARTNER, G., LEITINGER, S. & REHRL, K. (Hrsg.) *5th International Symposium on LBS & TeleCartography*. Salzburg, CD-ROM.
- KLUGE, M. & ASCHE, H. (2012) Validating a smartphone-based pedestrian navigation system prototype An informal eye-tracking pilot test. In: MURGANTE, B., GERVASI, O., TAINAR, D. & APDUHAN, B. (Hrsg.) *International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA)*. Berlin, Heidelberg, Springer, 386-396.
- KLUGE, S. (2010b) Moderne Navigationssysteme [online] *Verfügbar auf:* <http://www-m6.ma.tum.de/foswiki/pub/M6/Lehrstuhl/SebastianKluge/Moderne_Navigationssysteme.pdf>, *Letzter Aufruf am:* 11.08.2011.
- KNEUBÜHL, F. K. (1990) Repetitorium der Physik, Stuttgart, Teubner.
- KOLBE, T. (2004) Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation. In: GARTNER, G. (Hrsg.) *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services & TeleCartography 2004* Wien, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermesungswesen und Geoinformation, 1-10.
- KOLBE, T., MIDDEL, A. & PLÜMER, L. (2004a) 3D-Kartographie für die Fußgängernavigation: Virtuelle Wegweiser in Panoramen, In: BKG (Hrsg.) *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*. Frankfurt a.M., Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, 1-15.
- KOLBE, T., SCHULZ, D. & PLÜMER, L. (2004b) 3D-Beschriftung von Wegevideos für die Fußgängernavigation, In: BKG (Hrsg.) *Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie*. Frankfurt a.M., Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, 1-10.
- KRAY, C. & BAUS, J. (2003) A survey of mobile guides. In: (Hrsg.) *Workshop on Mobile Guides at the Fifth International Symposium on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2003)*. Udine, 197-216.
- KRAY, C., LAAKSO, K., ELTING, C. & COORS, V. (2003) Presenting Route Instructions on Mobile Devices. In: JOHNSON, W. L., ANDRE, E. & DOMINGUE, J. (Hrsg.) *Proceedings of IUI 03*. Miami, ACM Press, 117–124.
- KRUMKE, O. & NOLTEMEIER, H. (2009) Graphentheoretische Konzepte und Algorithmen, Wiesbaden, Vieweg und Teubner.
- LOOSETOOTH (2012) Mental Map [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.loosetooth.com/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- LÜBKE, C. (2004) Extraktion von Landmarken aus ATKIS-Daten. Thesis, Institut für Kartographie und Geoinformatik, Universität Hannover.
- LYNCH, K. (1965) *Das Bild der Stadt*, Basel, Birkhäuser.
- MALAKA, R. & ZIPF, A. (2000) DEEP MAP—Challenging IT research in the framework of a tourist information system., In: FESENMAIER, D., KLEINE, S. & BUHALIS, D. (Hrsg.) *Information and Communication Technologies in Tourism 2000*. Barcelona, Springer, 15-27.
- MALIK, M. (2002) Robust Registration of Virtual Objects for Real-Time Augmented Reality. Thesis, Institute for Computer Science, Carleton University.
- MALONE, T. (1980) What makes things fun to learn? Heuristic for designing instructional computer games. *ACM SIGSMALL symposium*, 162-169.
- MAY, A., ROSS, T. & BAYER, S. (2003) Pedestrian Navigation Aids: Information Requirements and Design Implications. *Personal and Ubiquitous Computing*, 331-338.
- MEDNIEKS, Z., DORNIN, L., M., B. & N., M. (2011) *Programming Android*, Sebastopol, O'Reilly.

- MENG, L. & REICHENBACHER, T. (2005) Map-based Mobile Services, In: MENG, L., ZIPF, A. & REICHENBACHER, T. (Hrsg.) Map-based Mobile Services Theories, Methods and Implementations. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 1-10.
- MILGRAM, P. & KISHINO, F. (1994) A Taxonomy Of Mixed Reality Visual Displays. IECE Transactions on Information and Systems, 1321-1329.
- NAMAHN (2012) Using eye tracking for usability testing [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.namahn.com/resources/notes.htm>>, *Letzter Aufruf am:* 12.02.2012.
- NAVIT-MAPS (2012) Navit Planet Extractor [online] *Verfügbar auf:* <<http://maps5.navit-project.org/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- NAVIT-PROJECT (2012) Navit-Project [online] *Verfügbar auf:* <<http://wiki.navit-project.org/>>, *Letzter Aufruf am:* 18.04.2012.
- NEIS, P., ZIELSTRA, D., ZIPF, A. & STRUNCK, A. (2010) Empirische Untersuchungen zur Datenqualität von OpenStreetMap - Erfahrungen aus zwei Jahren Betrieb mehrerer OSM-Online-Dienste. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.) *Symposium für Angewandte Geoinformatik AGIT 2010*. Salzburg, Universität Salzburg, 420-425.
- NIVALA, A.-M. (2005) User-centred design in the development of a mobile map application. Thesis, Department of Computer Science and Engineering, Helsinki University of Technology.
- NOHR, R. F. (2010) The Naturalization of Knowledge Games between Common Sense and Specialized Knowledge, In: GÜNZEL, S., LIEBE, M. & MERSCH, D. (Hrsg.) *Logic and Structure of the Computer Game*. Potsdam, Potsdam University Press, 130-145.
- ORTAG, F. (2008) Präsentationsformen in der Fußgängernavigation, Saarbrücken, VDM Verlag.
- PAELKE, V., OPPERMAN, L. & REIMANN, C. (2008) Mobile Location-Based Gaming, In: MENG, L., ZIPF, A. & WINTER, S. (Hrsg.) Map-based Mobile Services. Berlin, Heidelberg, Springer, 310-334.
- PANORAMIO (2012) Die Welt entdecken [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.panoramio.com/photo/3934846>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- PLÜMER, L., SCHMITTWINKEL, T. & KOLBE, H. (2004) Mobile GIS für die Orientierung von Fußgängern in städtischen Umgebungen. In: (Hrsg.) *Tagungsband zum Symposium Praktische Kartographie 2004 in Königslutter*. Bonn, Kirschbaum Verlag, 1-13.
- PRZEMYSŁAW, B., POLANCZYK, M. & STRUMILLO, P. (2011) Fusion of Data from Inertial Sensors, Raster Maps and GPS for Estimation of Pedestrian Geographic Location in Urban Terrain. *Metrology and Measurement Systems*, 18, 145-158.
- RADOCZYK, V. (2003) Kartographische Unterstützungsmöglichkeiten zur Routenbeschreibung von Fußgängernavigationssystemen im In- und Outdoorbereich. Thesis, Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik, Technischen Universität Wien.
- RAMM, F. & TOPF, J. (2010) OpenStreetMap, Berlin, Lehmanns Media.
- REH, A. (2008) Graph-Matching-Algorithmen für den Aufbau von Navigationskarten. Thesis, Software Engineering, Fachhochschule Hagenberg.
- REHRL, K., HÄUSLER, E. & LEITINGER, S. (2010) Comparing the Effectiveness of GPS-Enhanced Voice Guidance for Pedestrians with Metric- and Landmark-Based Instruction Sets, In: FABRIKANT, S. I. (Hrsg.) *GIScience 2010*, LNCS 6292. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 189-203.
- REHRL, K., LEITINGER, S., GARTNER, G. & ORTAG, F. (2009) An Analysis of Direction and Motion Concepts in Verbal Descriptions of Route Choices, In: HORNSBY, K. S. (Hrsg.) *COSIT 2009*, LNCS 5756. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 471-488.

- REICHL, B. (2003) Potential verschiedener Präsentationsformen für die Vermittlung von Routeninformationen in Fußgängernavigationssystemen (FNS). Thesis, Institut für Kartographie und Geo-Medientechnik, Technische Universität Wien.
- REITMAYR, G. & SCHMALSTIEG, D. (2004) Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing. In: GARTNER, G. (Hrsg.) *Symposium Location Based Services and TeleCartography 2004*. Wien, 31-41.
- RIBO, M., LANG, P., GANSTER, H., BRANDNER, M., STOCK, C. & PINZ, A. (2002) Hybrid Tracking for Outdoor Augmented Reality Applications. *IEEE Computer Graphics and Applications Magazine*, 22, 54-63.
- RIBO, M., PINZ, A. & FUHRMANN, A. (2001) A new Optical Tracking System for Virtual and Augmented Reality Applications. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1932–1936.
- RICHTER, A. (2010) Klassifikation von Computerspielen, Potsdam, Universitätsverlag Potsdam.
- ROLLAND, J. P., DAVIS, L. D. & BAILLOT, Y. (2001) A survey of tracking technologies for virtual environments., In: BARFIELD, W. & CAUDELL, T. (Hrsg.) *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. Mahwah, Lawrence Erlbaum Assoc, 67-112.
- ROLLAND, J. P. & FUCHS, H. (2001) Optical versus Video See-Through Head-Mounted Displays, In: BARFIELD, W. & CAUDELL, T. (Hrsg.) *Fundamentals of wearable Computers and Augmented Reality*. Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 113-156.
- SAREIKA, M. (2005) Einsatz von Eye-Tracking zur Interaktion in Mixed Reality Umgebungen. Thesis, Medien- und Informationswesen, Fachhochschule Offenburg.
- SAURO, J. (2012) Measuring Usability [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.measuringusability.com/>>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- SAUTER, D. (1999) Institutionelle Hindernisse im Fuss- und Veloverkehr - Maßnahmen für eine neue Verkehrspolitik, Zürich, Fussverkehr Schweiz.
- SCHMID, W. (2000) Berechnung kürzester Wege in Straßennetzen mit Wegeverboten. Thesis, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Stuttgart.
- SCHMIDT, R. (2010) Implementierung eines Inertialnavigationssystems für mobile Geräte. Thesis, Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart.
- SCHUMANN, A. (2008) Ein einfach benutzbares mobiles Navigationssystem für Fußgänger. Thesis, Fakultät Technik und Informatik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.
- SESTER, M. (2004) Präsentation von Geodaten für ortsbezogene Anwendungen. Akademie der Geowissenschaften zu Hannover, 24, 60-65.
- SMI-VISION (2012) SMI Gaze & EYE Tracking Systems [online] *Verfügbar auf:* <<http://www.smivision.com/>>, *Letzter Aufruf am:* 13.02.2012.
- STEINICKE, F., BRUDER, G. & HINRICHS, K. (2009) A Virtual Body for Augmented Virtuality by Chroma-Keying of Egocentric Videos. In: (Hrsg.) *Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. 125-126.
- STREITZ, N. (1987) Die Rolle der Psychologie, In: FÄHNRIK, K.-P. (Hrsg.) *Software-Ergonomie*. Oldenburg, Oldenburg Verlag, 43–53.
- THOMAS, C. & SCHWEIZER, T. (2003) Zugang zum öffentlichen Verkehr: Der Fussverkehr als «First and Last Mile». *Strasse und Verkehr*, 10, 16-19.
- TÖNNIS, S. (2006) Zielführung in der Fahrzeug-Navigation mittels Mixed Reality. Thesis, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Universität Hannover.

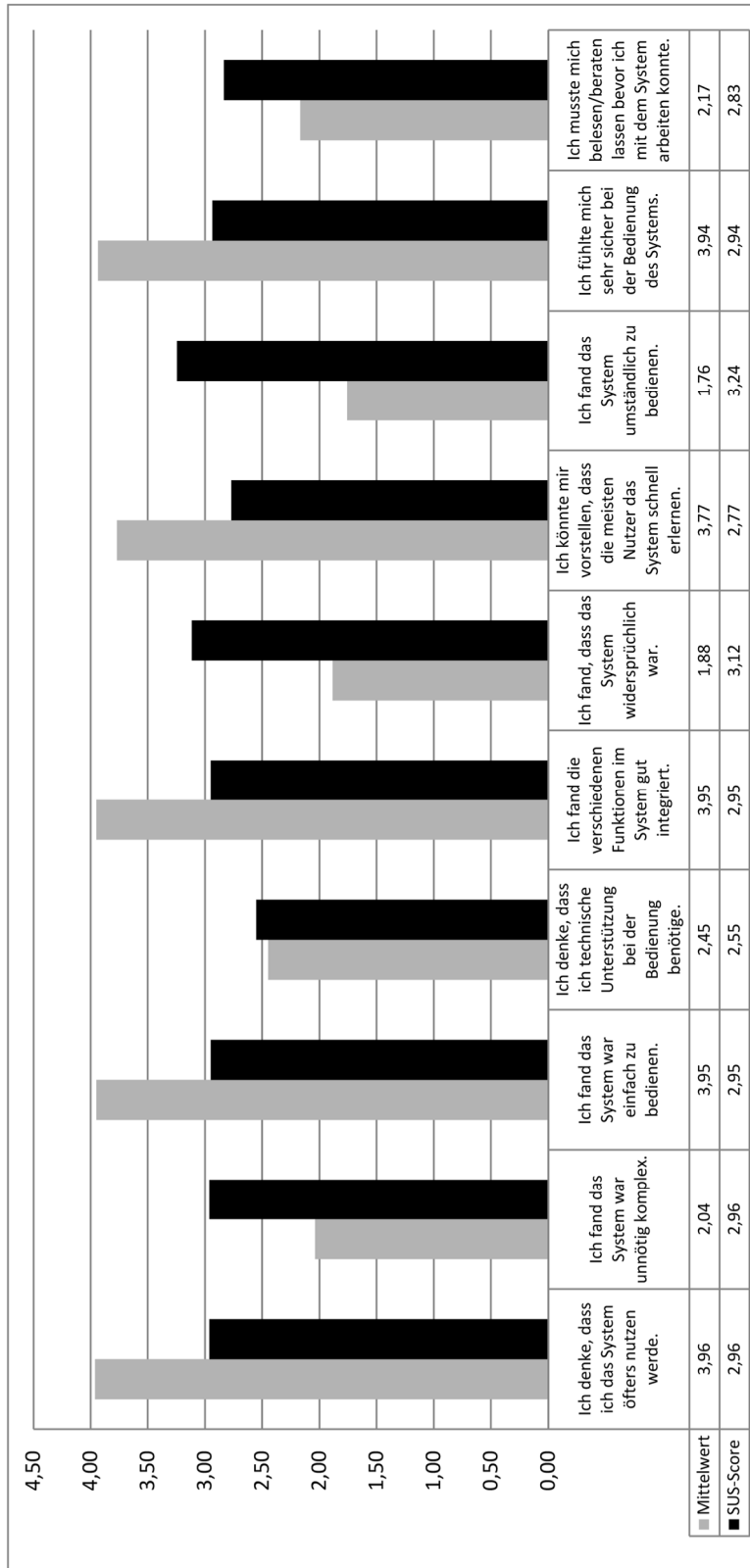
- VALLINO, J. R. (1998) Interactive Augmented Reality. Thesis, Department of Computer Science, University of Rochester.
- VALLINO, J. R. & KUTULAKOS, K. N. (2001) Augmenting Reality Using Affine Object Representations, In: BARFIELD, W. & CAUDELL, T. (Hrsg.) Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. Mahwah, Lawrence Erlbaum, 157-182.
- WALTHER-FRANKS, B. (2007) Augmented Reality on Handhelds for Pedestrian Navigation. Thesis, Informatik, Universität Bremen.
- WEISSENSTEINER, E. & WINTER, S. (2004) Landmarks in the Communication of Route Directions, In: EGENHOFER, M., MILLER, H. & FREKSA, C. (Hrsg.) Geographic Information Science, Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Springer, 313-326.
- WHITE, C., BERNSTEIN, D. & KORNHAUSER, A. (2000) Some map matching algorithms for personal navigation assistants. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 8, 91-108.
- WIBRAIN (2010) Wibrain UMPC [online] *Verfügbar auf:*
<<http://www.umpcportal.com/products/Wibrain/i1/>>, *Letzter Aufruf am:* 21.03.2010.
- WINTER, S. (2004) Communication about Space, In: WILSON, J. P., FOTHERINGHAM, A. S. & HUNTER, G. J. (Hrsg.) Transactions in GIS. Blackwell Publishing, 291-296.
- WORMER, P. (2009) Euler angles [online] *Verfügbar auf:*
<http://en.citizendium.org/wiki/File:Euler_angles.png>, *Letzter Aufruf am:* 16.02.2012.
- ZIMBARDO, G. & GERRING, R. J. (2011) Psychologie, München, Pearson Higher Education.
- ZITOVA, B. & FLUSSER, J. (2003) Image registration methods: a survey, In: FRAHM, J.-M. & PANTIC, M. (Hrsg.) Image and Vision Computing. 977-1000.
- ZLATANOVA, S. (2002) Augmented Reality Technology. In: (Hrsg.) *GIS Technology Report*. Delft, Universität Delft, 1-76.

Anhang

A. 5-1: System Usability Scale

	Strongly disagree				Strongly agree
1. I think that I would like to use this system frequently	1	2	3	4	5
2. I found the system unnecessarily complex	1	2	3	4	5
3. I thought the system was easy to use	1	2	3	4	5
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system	1	2	3	4	5
5. I found the various functions in this system were well integrated	1	2	3	4	5
6. I thought there was too much inconsistency in this system	1	2	3	4	5
7. I would imagine that most people would learn to use this system very quickly	1	2	3	4	5
8. I found the system very cumbersome to use	1	2	3	4	5
9. I felt very confident using the system	1	2	3	4	5
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this system	1	2	3	4	5

A. 5-2: Graphische Auswertung SUS



A. 5-3: Tabellarische Auswertung SUS

Aussage 1			Aussage 6		
Ich denke, dass ich das System öfters nutzen werde.			Ich fand, dass das System widersprüchlich war.		
Antwort	Anzahl	Prozent	Antwort	Anzahl	Prozent
1	6	7,7	1	36	46,2
2	4	5,1	2	26	33,3
3	14	17,9	3	8	10,3
4	17	21,8	4	5	6,4
5	37	47,4	5	3	3,8
Gesamt	78	100,0	Gesamt	78	100,0
Aussage 2			Aussage 7		
Ich fand das System war unnötig komplex.			Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Nutzer das System schnell erlernen.		
Antwort	Anzahl	Prozent	Antwort	Anzahl	Prozent
1	35	44,9	1	8	10,3
2	20	25,6	2	6	7,7
3	12	15,4	3	11	14,1
4	7	9,0	4	24	30,8
5	4	5,1	5	29	37,2
Gesamt	78	100,0	Gesamt	78	100,0
Aussage 3			Aussage 8		
Ich fand das System war einfach zu bedienen.			Ich fand das System umständlich zu bedienen.		
Antwort	Anzahl	Prozent	Antwort	Anzahl	Prozent
1	4	5,1	1	37	47,4
2	7	9,0	2	28	35,9
3	11	14,1	3	9	11,5
4	23	29,5	4	3	3,8
5	33	42,3	5	1	1,3
Gesamt	78	100,0	Gesamt	78	100,0
Aussage 4			Aussage 9		
Ich denke, dass ich technische Unterstützung bei der Bedienung benötige.			Ich fühlte mich sehr sicher bei der Bedienung des Systems.		
Antwort	Anzahl	Prozent	Antwort	Anzahl	Prozent
1	21	26,9	1	2	2,6
2	26	33,3	2	7	9,0
3	13	16,7	3	12	15,4
4	11	14,1	4	30	38,5
5	7	9,0	5	27	34,6
Gesamt	78	100,0	Gesamt	78	100,0
Aussage 5			Aussage 10		
Ich fand die verschiedenen Funktionen im System gut integriert.			Ich musste mich belesen/beraten lassen bevor ich mit dem System arbeiten konnte.		
Antwort	Anzahl	Prozent	Antwort	Anzahl	Prozent
1	4	5,1	1	31	39,7
2	7	9,0	2	22	28,2
3	12	15,4	3	13	16,7
4	21	26,9	4	5	6,4
5	34	43,6	5	7	9,0
Gesamt	78	100,0	Gesamt	78	100,0

A. 5-4: Auswertung Eye-Tracking

	Station 1				Station 2				Station 3				Station 4			
	Erweiterte Realität	Bildschirm- karte	Reale Umgebung		Erweiterte Realität	Bildschirm- karte	Reale Umgebung		Erweiterte Realität	Bildschirm- karte	Reale Umgebung		Erweiterte Realität	Bildschirm- karte	Reale Umgebung	
P1	11s	33s	7s		12s	22s	6s		14s	28s	10s		4s	12s	1s	
	33%	45%	21%		55%	18%	27%		50%	14%	36%		33%	58%	8%	
P2	6s	24s	6s		8s	18s	7s		10s	17s	4s		3s	10s	2s	
	25%	50%	25%		44%	17%	39%		59%	18%	24%		30%	50%	20%	
P3	5s	22s	4s		14s	26s	5s		12s	19s	2s		6s	14s	4s	
	23%	59%	18%		54%	27%	19%		63%	26%	11%		43%	29%	29%	

A. 5-5: Leitfragen Experteninterview

Kapitel 1 - Fußgängernavigation

1-1 Wie denken Sie über derzeitige FNS?

1-2 Gibt es Potentiale in der Entwicklung von FNS und wenn ja, wie bewerten Sie diese gegenüber Fahrzeugnavigationssystemen?

1-3 Benötigen Fußgänger ein speziell auf ihre Bedürfnisse angepasstes Navigationssystem und wenn ja, warum?

1-4 Welche Funktionen, im Gegensatz zu Fahrzeugnavigationssystemen, sollte ein FNS bieten?

1-5 Wie wichtig sehen Sie die Zielgruppe Fußgänger auf dem wirtschaftlichen Markt für Navigationssysteme?

1-6 Ist es für Menschen wichtig auch zu Fuß navigiert zu werden und wenn ja, warum?

1-7 Die Zielgruppe Fußgänger untergliedert sich in verschiedene Arten wie z.B. Touristen, Pendler oder Geschäftsreisende. Welchen Stellenwert sollte diese Unterscheidung bei der Konzeption seitens der Usability (Benutzerfreundlichkeit) eines FNS einnehmen?

Kapitel 2 - Augmented Reality

2-1 Unter AR versteht man die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung. Welche Chancen, aber auch Risiken, birgt diese Technologie?

2-2 Die Güte von AR wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Signalstärke der Satelliten, Genauigkeit der Lagesensoren und die zugrunde liegenden Geodaten sind Hauptfehlerquellen. Wie denken Sie über den Toleranzbereich der Fehler und deren zukünftige Hardware bedingte Entwicklung?

2-3 Würden Sie sagen, dass die Handhabung des Gerätes auf Augenhöhe und die kurzen Abstände der wiederholten Anwendung eine Hürde für den Nutzer darstellen und ihn dazu bewegen, diese Technologie abzulehnen?

2-4 AR unterscheidet sich von VR dadurch, dass AR die Umwelt anreichert, anstatt diese künstlich nachzubilden. Welcher dieser beiden Darstellungsformen räumen Sie in Zukunft mehr Gewicht ein?

2-5 AR basierte Anwendungen unterscheiden sich grundlegend in der Bedienung gegenüber bisherigen Applikationen. Wie schwierig ist es für den Nutzer, den Umgang mit AR zu erlernen?

2-6 AR hat Nachteile bei schlechten Sichtverhältnissen, wie etwa zu starker Sonneneinstrahlung oder bei Dunkelheit. Wie alltagstauglich stufen Sie die Technologie von AR für die Navigation ein?

2-7 Welche zukünftigen Anwendungsfelder sehen Sie für den Einsatz von AR Technologie?

Kapitel 3 - Prototyp "RealityView"

3-1 Wie denken Sie über den Einsatz eines AR basierten Navigationssystems für Fußgänger?

3-2 Der RealityView setzt neben der Darstellung der Anweisung mittels AR auf Hilfsmittel wie etwa Übersichtskarte, Straßennamenanzeige und die Möglichkeit, kurzzeitig die Umgebung in virtueller Sicht von oben zu überblicken. Sind diese Hilfsmittel und Funktionen für die Navigation von Fußgängern Ihrer Meinung nach wichtig und wenn ja, warum?

3-3 Die Navigationsmethode des RealityView wird durch ein virtuelles Kabel beschrieben, das entlang der realen Strecke verläuft und dem der Nutzer nur zu folgen braucht, um an sein Ziel zu gelangen. Was halten Sie von dieser Methode und welche weiteren Methoden wären Ihrer Meinung nach noch denkbar?

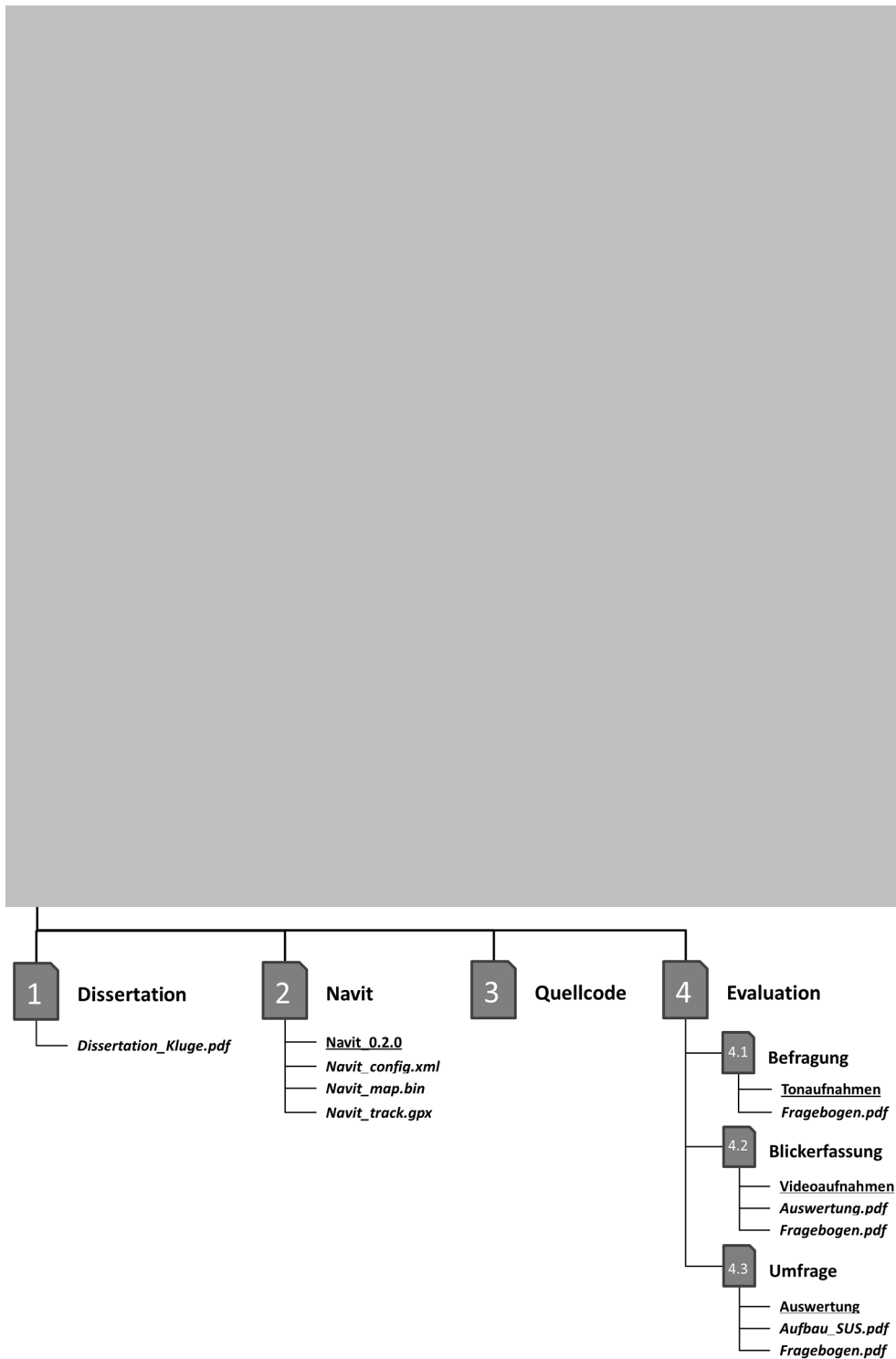
3-4 Der Reality View nutzt als Grundlage die freien Geodaten des OSM-Projektes. Wie denken Sie über die Qualität dieser Daten bezogen auf die Lagegenauigkeit und Vollständigkeit von fußgängerrelevanten Informationen und deren Erkenntnisgewinn für den Nutzer?

3-5 Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten haben gezeigt, dass der Einsatz von Landmarken, wie etwa Gebäuden oder Infrastrukturobjekten mit hoher Wiedererkennung, eine signifikante Verbesserung der Merkfähigkeit und Erinnerung für den Nutzer bietet. Welche weiteren Vorteile bringt der Einsatz von Landmarken und wie sollten diese optimal in ein FNS integriert werden?

3-6 Die Pfadsuche bildet den Kern eines FNS und basiert auf linearen Geodaten und entsprechenden Routingalgorithmen. Wie wichtig wird es in Zukunft sein die Berechnung auf flächenhafte Objekte oder Innenbereiche von Gebäuden zu erweitern?

3-7 Gibt es Ihres Wissens nach andere Technologien, die mit dieser Entwicklung in Konkurrenz stehen?

Datenträger



Erklärung

Der Verfasser erklärt, dass er die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt hat. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Ort, Datum

Unterschrift