



Universität Regensburg

# **Unterstützung der Orientierung im Innenbereich**

## **Analyse landmarkenbasierter Karten-Interfaces anhand des Blickverhaltens der Nutzer**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Fakultät für Sprach-, Literatur- und Kulturwissenschaften der Universität Regensburg

vorgelegt von: Christina Bauer  
geboren in: Duschanbe, Tadschikistan

Regensburg, 2018

Erstgutachter: Prof. Dr. Bernd Ludwig  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Jukka M. Krisp



Ich danke meinem Erstgutachter Prof. Dr. Bernd Ludwig, der mir ermöglicht hat, diese Dissertation anzufertigen und mich während der gesamten Promotionszeit betreut hat. Herrn Prof. Dr. Jukka Krisp danke ich für das zügige Anfertigen des Zweitgutachtens.

Mein größter Dank gilt meinem Mann Franz, der mich immer unterstützt und motiviert hat. Ich danke Dir von Herzen.



# Abstract

Wayfinding in indoor areas can be a demanding task. It requires cognitive and visuospatial abilities. This thesis examines how the process of navigating through indoor spaces can be supported by assistance systems such as pedestrian navigation systems. In this context the use of landmarks that support orientation during navigation is a crucial point. Therefore, objects that can be used to describe a route are presented in navigation system prototypes and user behavior is observed. All experiments carried out in the scope of this thesis were conducted in-situ at the University of Regensburg, which served as my test environment.

Navigation also requires visual attention. In order to analyze the wayfinding task in more detail, I additionally used an eye-tracker to examine the relationship of interface design and gaze behavior.

At first, I conducted two experiments to gain a set of landmarks that can be used and depicted in my navigation prototypes ( $N = 33$  and  $N = 87$ ). Results show that doors and stairs seem to be especially suitable landmarks in indoor environments. In addition, rooms with unique and visible naming can support the navigation process. Moreover, landmarks along and on the route aid orientation in indoor environments.

The main studies presented in this thesis were carried out to analyze how much information is needed to accomplish an aided wayfinding task successfully using map-based navigation systems.

Two studies showed that very detailed map material harms efficient navigation both using a smartphone as well as a tablet for wayfinding ( $N = 81$  and  $N = 69$ ). For this purpose, architectural floor plans provided by the technical administration department of the university additionally showing landmarks were compared to a very reduced interface only depicting a landmark and the route to follow. Users navigating with the latter interface reached their goal faster and spent less visual attention on the interface.

In a follow-up study the architectural floor plans were replaced by map material that was designed only for navigation purposes ( $N = 118$ ). Again, the reduced interface outperformed the map material in terms of navigation efficiency and visual load.

In addition, a study was conducted to analyze whether displaying more than one landmark leads to more efficient self-localization ( $N = 120$ ). Results showed that depicting one highly salient landmark leads to better task performance compared to navigating with four landmarks.

All in all, the studies carried out in the scope of my thesis showed that only little information, i.e. one salient landmark and a rough depiction of the route to follow, is needed to accomplish a wayfinding task in indoor environments successfully. Adding details, such as the floor layout, leads to more gazes on the device and consequently seems to distract the users.

# Zusammenfassung

Das Navigieren durch komplexe Innenräume erfordert eine Vielzahl kognitiver Ressourcen. In dieser Arbeit wird untersucht, wie dieser Prozess mithilfe eines mobilen Fußgänger-Navigationssystems unterstützt werden kann. In diesem Zusammenhang steht die Anzeige von Landmarken für den Wegfindungsprozess im Fokus. Diese zur Orientierung geeigneten Objekte werden in der vorliegenden Arbeit in einer Navigationsapplikation zur Anzeige gebracht. Alle nachfolgend aufgeführten Experimente waren Feldstudien, wobei die Universität Regensburg als Untersuchungsgebiet diente.

Unter anderem wird beim Navigieren die visuelle Aufmerksamkeit der Wegfinder gebunden. Inwiefern dies in Zusammenhang mit der Navigationseffizienz und der subjektiven Zufriedenstellung der Nutzer steht, wurde durch Einsatz eines mobilen Eye-Trackers überprüft. Durch dieses Gerät konnte das Blickverhalten der Testpersonen beobachtet werden.

Um geeignete Objekte zu identifizieren, wurden zwei Nutzerstudien durchgeführt (N = 33 und N = 87). Die Ergebnisse zeigten, dass vor allem Türen und Treppen als geeignete Orientierungspunkte im Innenbereich dienen können. Zudem sind Räume mit eindeutigen und sichtbaren Benennungen geeignet. Darunter fallen an der Universität beispielsweise Hörsäle. Es stellte sich weiterhin heraus, dass Orientierungslandmarken, die nicht an einem Entscheidungspunkt liegen, im Innenraum zur Wegfindung notwendig sind. Diese Objekte wurden daraufhin in verschiedenen Versionen einer Fußgänger-Navigationsapplikation dargestellt. Dabei lag der Forschungsschwerpunkt auf der Untersuchung, welche zusätzlichen Informationen Wegfinder bei einer kartenbasierten Navigation benötigen.

In zwei Studien (N = 81 und N = 69) zeigte sich, dass die Navigation mit sehr detailreichem Kartenmaterial bei der Wegfindung hinderlich ist. Hierzu wurde die zu absolvierende Route in Architekturpläne der Universität Regensburg eingezeichnet und zusätzlich auf Landmarken Bezug genommen. Nutzer, die lediglich mit der Anzeige einer Landmarke und einer sehr abstrahierten Darstellung des Routenverlaufs navigierten, konnten ihr Ziel schneller erreichen. Zudem wurden bei diesen Testpersonen weniger visuelle Ressourcen gebunden.

In einer weiteren Studie (N = 118) wurde Kartenmaterial, das explizit für den Wegfindungskontext erstellt worden war, mit einer schematischen Anzeige verglichen. Erneut zeigte sich, dass das Kartenmaterial die Navigationseffizienz einschränkt und die visuelle Aufmerksamkeit stärker bindet.

Zusätzlich wurde untersucht, ob die Anzeige mehrerer Landmarken die Navigationseffizienz steigert (N = 120). Es stellte sich heraus, dass die Darstellung nur einer sehr auffälligen Landmarke zu einem besseren Navigationserfolg führt verglichen mit der Visualisierung von vier auffälligen Objekten.

Insgesamt haben die Untersuchungen in dieser Arbeit gezeigt, dass für eine effektive und vor allem effiziente Navigation nur wenige Informationen notwendig sind. Das Hinzufügen von Umgebungsdetails bindet visuelle Aufmerksamkeit und scheint die Nutzer dadurch abzulenken.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>1 Motivation und Forschungsgegenstand</b>	<b>1</b>
1.1 Orientierung in Innenräumen . . . . .	1
1.2 Forschungskontext . . . . .	3
1.3 Forschungsfragen und wissenschaftlicher Beitrag . . . . .	7
1.4 Veröffentlichungen . . . . .	9
1.5 Aufbau der Arbeit . . . . .	11
<b>2 Navigation</b>	<b>13</b>
2.1 Navigation und Wegfindung . . . . .	13
2.2 Arten der Wegfindung . . . . .	15
2.3 Einflussfaktoren auf die Wegfindung . . . . .	19
2.4 Landmarken . . . . .	22
2.4.1 Eigenschaften und Funktion . . . . .	22
2.4.2 Auswahl . . . . .	27
2.5 Anzeigemöglichkeiten von Navigationsanweisungen . . . . .	30
2.6 Zusammenfassung und Bezug zur Arbeit . . . . .	37
<b>3 Fußgänger-Navigationssysteme</b>	<b>39</b>
3.1 Außenbereich . . . . .	40
3.1.1 Papierkarten im Vergleich zu Navigationssystemen . . . . .	40
3.1.2 Kartendarstellungen . . . . .	42
3.1.3 Fotorealistische Darstellungen . . . . .	45
3.1.4 Weitere Darstellungsarten . . . . .	49
3.2 Innenbereich . . . . .	51
3.2.1 Textanweisungen . . . . .	52
3.2.2 Kartendarstellungen . . . . .	53
3.2.3 Fotorealistische Darstellungen . . . . .	56
3.2.4 Weitere Darstellungsarten . . . . .	59
3.3 Eye-Tracking und Fußgänger-Navigation . . . . .	60
3.3.1 Einsatz in der Wegfindungsforschung . . . . .	61
3.3.2 Verwendete Eye-Tracking-Technologie . . . . .	64

3.4	Zusammenfassung und Bezug zur Arbeit . . . . .	66
<b>4</b>	<b>Vorstudie: Landmarkenerhebung im Innenbereich</b>	<b>69</b>
4.1	Motivation . . . . .	69
4.2	Testumgebung . . . . .	70
4.3	Testpersonen . . . . .	72
4.4	Experiment-Durchführung . . . . .	72
4.5	Daten-Annotation . . . . .	74
4.6	Ergebnisse . . . . .	75
4.7	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	80
<b>5</b>	<b>Darstellung der Umgebung – statischer Prototyp</b>	<b>83</b>
5.1	Motivation . . . . .	83
5.2	Testumgebung und Landmarkenauswahl . . . . .	84
5.3	Testmaterial . . . . .	86
5.3.1	Interface . . . . .	86
5.3.2	Fragebogen . . . . .	90
5.4	Testpersonen . . . . .	90
5.5	Experiment-Durchführung . . . . .	91
5.6	Annotation der Eye-Tracker-Daten . . . . .	92
5.7	Ergebnisse . . . . .	94
5.7.1	Zeit und Fehler . . . . .	95
5.7.2	Blickverhalten . . . . .	98
5.8	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	101
<b>6</b>	<b>Darstellung der Umgebung – dynamischer Prototyp</b>	<b>103</b>
6.1	Motivation . . . . .	103
6.2	Testumgebung . . . . .	104
6.3	Testmaterial . . . . .	107
6.3.1	Interface . . . . .	107
6.3.2	Fragebogen . . . . .	110
6.4	Testpersonen . . . . .	112
6.5	Experiment-Durchführung . . . . .	113
6.6	Annotation der Eye-Tracker-Daten . . . . .	114
6.7	Ergebnisse . . . . .	115
6.7.1	Zeit und Fehler . . . . .	117
6.7.2	Blickverhalten . . . . .	120
6.7.3	Fragebogendaten . . . . .	125
6.8	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	128
<b>7</b>	<b>Anzahl dargestellter Landmarken</b>	<b>131</b>
7.1	Motivation . . . . .	131
7.2	Testumgebung und Landmarkenauswahl . . . . .	132
7.3	Testmaterial . . . . .	137
7.3.1	Interface . . . . .	137
7.3.2	Fragebogen . . . . .	141

7.4	Testpersonen . . . . .	142
7.5	Experiment-Durchführung . . . . .	143
7.6	Annotation der Eye-Tracker-Daten . . . . .	144
7.7	Ergebnisse . . . . .	145
7.7.1	Zeit und Fehler . . . . .	147
7.7.2	Blickverhalten . . . . .	150
7.7.3	Fragebogendaten . . . . .	155
7.8	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	158
<b>8</b>	<b>Darstellung der Umgebung – vereinfachtes Kartenmaterial</b>	<b>161</b>
8.1	Motivation . . . . .	161
8.2	Testumgebung . . . . .	162
8.3	Testmaterial . . . . .	165
8.3.1	Interface . . . . .	165
8.3.2	Fragebogen . . . . .	168
8.4	Testpersonen . . . . .	168
8.5	Experiment-Durchführung . . . . .	169
8.6	Annotation der Eye-Tracker-Daten . . . . .	170
8.7	Ergebnisse . . . . .	171
8.7.1	Zeit und Fehler . . . . .	173
8.7.2	Blickverhalten . . . . .	176
8.7.3	Fragebogendaten . . . . .	180
8.8	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	184
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>187</b>
9.1	Erkenntnisse und wissenschaftlicher Beitrag . . . . .	187
9.2	Einschränkungen . . . . .	193
9.3	Ausblick . . . . .	196
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>199</b>



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Überblickskarte innerhalb der Universität Regensburg. . . . .	4
1.2	Einordnung der Forschung. . . . .	6
2.1	Wegfindungsaufgaben und die dazugehörigen Arten der Wegfindung. . .	17
2.2	Einflussfaktoren auf die Wegfindung. . . . .	22
2.3	Mögliche Landmarken-Positionen. . . . .	25
2.4	Unterschiedliche Darstellungsarten von Wegfindungsinformation. . . . .	33
2.5	Beispiele für Ausrichtungen von Karten. . . . .	35
2.6	Karten mit verschiedenen Abstraktionsniveaus. . . . .	36
3.1	Experiment-Aufbau mit Eye-Tracker. . . . .	64
3.2	Annotation der Eye-Tracker-Daten. . . . .	65
4.1	Campus der Universität Regensburg. . . . .	70
4.2	Testroute mit Start- und Zielpunkt. . . . .	71
4.3	Beispiele für Szenen entlang der Teststrecke. . . . .	72
4.4	Beispielhafte Referenzbilder mit definierten Areas-of-Interest. . . . .	74
4.5	Annotation der Eye-Tracker-Daten. . . . .	75
4.6	Anzahl der genannten Landmarken. . . . .	77
4.7	Durchschnittliche Fixationsdauer der Landmarken. . . . .	77
4.8	Landmarken-Positionen an Entscheidungspunkten. . . . .	79
5.1	Testroute mit eingezeichneten Landmarken-Positionen. . . . .	84
5.2	Beispielhafte Landmarken und Navigationsszenen. . . . .	86
5.3	Rauminformation der Universität Regensburg. . . . .	87
5.4	Interface-Designs. . . . .	88
5.5	Verwendete Icons. . . . .	88
5.6	Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen. . . . .	91
5.7	Erklärungsscreenshot. . . . .	92
5.8	Festgelegte Areas-of-Interest. . . . .	93
5.9	Annotation der Eye-Tracker-Daten. . . . .	94
5.10	Schritte, die zu Navigationsfehlern führen. . . . .	96
5.11	Erkennungszeit, aufgeteilt nach Navigationsschritt. . . . .	97
5.12	Fixationsdauer des Bildschirms, aufgeteilt nach Navigationsschritt. . . . .	99

5.13	Schritt, der zu langen Erkennungs- und Fixationszeiten mit dem Graph-Interface führt. . . . .	100
6.1	Testroute mit eingezeichneten Landmarken-Positionen. . . . .	104
6.2	Beispielhafte Navigationsszenen. . . . .	106
6.3	Situation mit wenig auffälligen Landmarken. . . . .	107
6.4	Interface-Designs. . . . .	108
6.5	Überblick über die verwendeten Pfeildarstellungen. . . . .	109
6.6	Weitere Interface-Elemente. . . . .	110
6.7	Erklärende Grafik auf dem Fragebogen. . . . .	111
6.8	Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen. . . . .	112
6.9	Festgelegte Areas-of-Interest. . . . .	115
6.10	Annotation der Eye-Tracker-Daten. . . . .	116
6.11	Schritte, die zu Navigationsfehlern führen. . . . .	118
6.12	Gesamte Navigationszeit. . . . .	119
6.13	Navigationszeit pro Schritt. . . . .	120
6.14	Fixationsdauer auf die referenzierte Landmarke, die Umgebung und den Bildschirm. . . . .	121
6.15	Fixationsdauer und -anzahl sowie Revisits auf der Karte. . . . .	122
6.16	Fixationsdauer auf den Bildschirmbereich Pfeil und Text. . . . .	123
6.17	Fixationszeit des Kartenelements pro Schritt. . . . .	123
6.18	Anzahl der Revisits auf das Kartenelement pro Schritt. . . . .	124
6.19	Nützlichkeit der Landmarken. . . . .	125
6.20	Nützlichkeit der unterschiedlichen Interface-Bereiche. . . . .	126
6.21	Nützlichkeit der Ausrichtung der Karte und Sicherheitsgefühl beim Navigieren. . . . .	126
7.1	Testroute mit vermerkter Anweisungsnummer. . . . .	132
7.2	Beispielhafte Navigationsszenen. . . . .	133
7.3	Beispielszene und Landmarken-Bewertung. . . . .	134
7.4	Durchschnittliche Salienz-Bewertung der Landmarken. . . . .	136
7.5	Interface-Designs. . . . .	139
7.6	Überblick über die verwendeten Pfeildarstellungen. . . . .	140
7.7	Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen. . . . .	142
7.8	Festgelegte Areas-of-Interest. . . . .	145
7.9	Annotation der Eye-Tracker-Daten. . . . .	146
7.10	Schritte, die zu Orientierungsproblemen führten. . . . .	148
7.11	Gesamte Navigations- und Erkennungszeit. . . . .	149
7.12	Erkennungszeit pro Schritt. . . . .	150
7.13	Schritt, der zu langen Erkennungs- und Blickzeiten führt. . . . .	150
7.14	Fixationsdauer auf die referenzierte Landmarke, die Umgebung und den Bildschirm. . . . .	151
7.15	Revisits auf die Umgebung und durchschnittliche Fixationsdauer der unterschiedlichen Landmarken. . . . .	152
7.16	Fixationsdauer auf die unterschiedlichen Interface-Elemente. . . . .	153
7.17	Fixationszeit des Kartenelements pro Schritt. . . . .	154

7.18	Anzahl der Revisits auf das Kartenelement pro Schritt. . . . .	155
7.19	Nützlichkeit der Landmarken. . . . .	156
7.20	Nützlichkeit der unterschiedlichen Interface-Bereiche. . . . .	156
7.21	Sicherheitsgefühl beim Navigieren und System-Usability-Scale-Werte. . .	157
8.1	Testroute mit vermerkter Anweisungsnummer. . . . .	162
8.2	Mögliche Anpassung des Interface-Designs. . . . .	164
8.3	Karten-Designs. . . . .	165
8.4	Interface-Designs. . . . .	167
8.5	Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen. . . . .	169
8.6	Festgelegte Areas-of-Interest. . . . .	171
8.7	Annotation der Eye-Tracker-Daten. . . . .	172
8.8	Gesamte Navigations- und Erkennungszeit. . . . .	174
8.9	Erkennungszeit pro Schritt. . . . .	175
8.10	Schritt, der zu langen Erkennungs- und Blickzeiten führt. . . . .	176
8.11	Fixationsdauer auf den Bildschirm, die referenzierte Landmarke und die Umgebung. . . . .	177
8.12	Fixationsdauer auf die unterschiedlichen Interface-Elemente. . . . .	178
8.13	Fixationszeit des Kartenelements pro Schritt. . . . .	179
8.14	Anzahl der Revisits auf das Kartenelement pro Schritt. . . . .	180
8.15	Nützlichkeit der Landmarken. . . . .	181
8.16	Nützlichkeit der unterschiedlichen Interface-Bereiche. . . . .	181
8.17	Sicherheitsgefühl beim Navigieren, System-Usability-Scale- und Overall- Workload-Index-Werte. . . . .	182
8.18	NASA-TLX-Ergebnisse. . . . .	183



# Tabellenverzeichnis

4.1	Fixationen und Nennungen unterschiedlicher Landmarken-Kategorien. . .	76
4.2	Fixationen und Nennungen unterschiedlicher Landmarken-Positionen. . .	78
5.1	Anweisungen und referenzierte Landmarken. . . . .	85
5.2	Häufigkeit des Verlaufsens. . . . .	95
5.3	Erkennungszeit und Gesamtzeit. . . . .	97
5.4	Eye-Tracking-Ergebnisse. . . . .	99
6.1	Anweisungen und referenzierte Landmarken. . . . .	105
6.2	Häufigkeit des Verlaufsens. . . . .	117
6.3	Fixationen und Revisits auf dem Bildschirm, der Landmarke und der Um- gebung. . . . .	121
6.4	Fixationen und Revisits auf den unterschiedlichen Bildschirmbereichen. .	122
6.5	Anzahl positiver Äußerungen. . . . .	127
7.1	Salienz-Bewertungen der Landmarken-Vorauswahl. . . . .	135
7.2	Anweisungen und referenzierte Objekte. . . . .	138
7.3	Häufigkeit des Verlaufsens. . . . .	147
7.4	Fixationen und Revisits auf dem Bildschirm, der Landmarke und der Um- gebung. . . . .	151
7.5	Fixationen und Revisits auf den unterschiedlichen Bildschirmbereichen. .	152
7.6	Anzahl positiver Äußerungen. . . . .	157
8.1	Anweisungen und referenzierte Objekte. . . . .	163
8.2	Häufigkeit des Verlaufsens. . . . .	173
8.3	Fixationen und Revisits auf dem Bildschirm, der Landmarke und der Um- gebung. . . . .	177
8.4	Fixationen und Revisits auf den unterschiedlichen Bildschirmbereichen. .	178
8.5	Anzahl positiver Äußerungen. . . . .	183



# 1

## Motivation und Forschungsgegenstand

### 1.1 Orientierung in Innenräumen

Navigation und die damit verbundene Aufgabe der Wegfindung sind Teil unseres täglichen Lebens. Die Wegfindung ist neben der Fortbewegung einer der zwei wichtigsten Prozesse während der Navigation und beinhaltet jeden kognitiven Vorgang, der zur Herstellung und Aufrechterhaltung der Orientierung notwendig ist (Montello & Raubal, 2013, S. 251).

Sie kann in sehr verschiedenen Umgebungen und unter unterschiedlichen Umständen erfolgen (Raubal, 2000, S. 366). So kann beispielsweise anhand des Fortbewegungsmittels unterschieden werden: Menschen können den Bus nehmen oder mit dem Auto fahren, ihr Ziel mit dem Fahrrad erreichen oder einfach zu Fuß gehen. In jeder dieser Situationen werden unterschiedliche mentale Verarbeitungskapazitäten benötigt. Im Falle einer Navigation mit öffentlichen Verkehrsmitteln muss die richtige Busroute gewählt werden, eine Entscheidung gefällt werden, wann das Verkehrsmittel verlassen werden muss und wie die richtige Haltestelle erreicht werden kann. Sofern mit dem Fahrrad gereist wird, muss zusätzlich zur Wegfindung die anspruchsvolle Aufgabe erfüllt werden, das Fortbewegungsmittel zu lenken und handzuhaben. Autofahrer bewegen sich mit einer teilweise sehr hohen Geschwindigkeit fort, sind an ein Straßennetz gebunden und können einem Navigationssystem nur sehr wenig Aufmerksamkeit schenken (Hampe & Elias, 2004, S. 149).

Fußgänger haben hingegen deutlich mehr Freiheitsgrade, da sie nicht zwangsläufig an ein Straßennetz gebunden sind oder zusätzlich ein Verkehrsmittel handhaben müssen (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 26; Millonig und Schechtner, 2007, S. 44; Radoczky, 2007, S. 302; Stark, Riebeck und Kawalek, 2007, S. 694).

Zudem kann die Umgebung, in der sich Fußgänger bewegen, sowie der Zweck der Reise sehr vielfältig sein. Man kann in einem Wald wandern, durch ein Stadtzentrum bummeln oder den richtigen Raum in einem öffentlichen Gebäude wie einem Krankenhaus, Flughafen oder einem großen Bürogebäude suchen (Münzer & Stahl, 2011, S. 282). Auch ist denkbar, dass die Navigierenden spezielle Bedürfnisse haben, da sie beispielsweise einen Rollstuhl benötigen oder Personen einen beruflichen Termin wahrnehmen müssen, den sie schnell und komfortabel erreichen wollen (Millonig & Schechtner, 2007, S. 43).

Für jeden dieser Fälle sollte ein Navigationssystem den Nutzern dabei helfen, ihren Weg zum Ziel zu finden. Neuere Entwicklungen im Rahmen der Hardware ermöglichen es, durch Smartphones, die beispielsweise mit hochauflösenden Touch-Displays ausgestattet sind, die Wegfindungsaufgabe mit digitalen Assistenzsystemen zu unterstützen (Rehrl et al., 2012, S. 4). Wegfinder fühlen sich sicherer, wenn sie ein Smartphone, das Navigationsanweisungen anzeigt, zur Verfügung haben (Taher & Cheverst, 2011, S. 202 f.). Zudem wird die rezipierte Komplexität der Navigationsaufgabe durch eine digitale Assistenz reduziert (Rehrl, Göll, Leitinger & Bruntsch, 2005, S. 238).

In diesem Zusammenhang zeigt die Literatur, dass für jede Wegfindungssituation sogenannte Landmarken bei der Orientierung hilfreich sind. Navigierende bevorzugen Navigationsanweisungen, die auf auffällige Objekte Bezug nehmen. Anweisungen, die Landmarken referenzieren, stellen die effektivste Möglichkeit dar, Routeninformationen zu kommunizieren (Padgitt und Hund, 2012, S. 167; Raubal und Winter, 2002, S. 245). Die Erstellung von Instruktionen, die den kognitiven Prozessen des Menschen angepasst sind, ist besonders wichtig in Bezug auf das Design von Navigationssystemen (Caduff & Timpf, 2008, S. 249).

Jedoch ist zu beobachten, dass derzeitige Navigationssysteme für Fußgänger die metrischen Angaben der Autonavigation adaptieren (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 24; Seo, Kim, Yoo und Ko, 2016, S. 379; Stark et al., 2007, S. 690) und keine Landmarken referenzieren (N. Wenig et al., 2017, S. 7:1). Die Fußgänger-Navigation ist im Vergleich zur Navigation mit dem Auto dahingehend komplexer, da sich der Kontext der Nutzung viel häufiger ändert (Baus, Krüger & Wahlster, 2002, S. 17). Zudem können Menschen metrische Angaben nur sehr schlecht einschätzen (Millonig & Schechtner, 2007, S. 44). Fußgänger verlieren häufig die Orientierung, wenn sie in unbekanntem Umgebungen navigieren (Pielot & Boll, 2010, S. 79).

Insbesondere im Innenbereich ist die Navigation eine herausfordernde Aufgabe, da Personen die Beschilderung teilweise nicht verstehen oder den strukturellen Aufbau eines Gebäudes missdeuten (Taher & Cheverst, 2011, S. 201), sodass sie sich häufig verlaufen (Passini, 1996, S. 320) – im Speziellen unter Zeitdruck (Millonig & Schechtner, 2007, S. 43). Landmarken sind natürliche Bestandteile der menschlichen Navigation und sollten demnach anstelle von metrischen Anweisungen in Navigationssysteme integriert werden (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 26; May, Ross und Bayer, 2005, S. 2; Millonig und Schechtner, 2007, S. 44), um das Informationsbedürfnis während der Navigation zu erfüllen (Gluck, 1991, S. 128). Sie können auch ein besseres räumliches Verständnis bei Personen, die in unbekanntem Umgebungen navigieren, hervorrufen (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 25).

Bei der Wegfindung verlassen sich die meisten Personen auf Karten (Münzer & Stahl, 2011, S. 283). Jedoch können diese in sehr unterschiedlicher Genauigkeit und Qualität

vorliegen. Ein Beispiel ist in Abbildung 1.1 gegeben. Dort ist eine Karte der Universität Regensburg abgebildet, die momentan innerhalb des Gebäudes „Philosophie-Theologie“ aushängt. Jedoch ist dieses Kartenmaterial zur Orientierung eher ungeeignet. Dies äußert sich auch dadurch, dass Passanten an dieser Stelle oft nach dem Weg fragen. Einerseits ist das Material deutlich veraltet, da beispielsweise der Fachbereich „Geographie“, der nicht mehr existiert, eingezeichnet ist. Andererseits ist der aktuelle Standort nicht mehr zu erkennen, der eigentlich mit einem Kreis markiert sein sollte. Neben diesen offensichtlichen Problemen bezüglich des Datenbestands, sind Objekte wie Türen, Treppen, Spinde und Bänke abgebildet, die potenziell als Landmarken dienen könnten. Jedoch ist die Symbolik beispielsweise bei den Spinden und Bänken nicht ganz eindeutig. Weiterhin enthält die Karte sehr viele Informationen, auch bezüglich Objekten im Außenbereich, die im Gebäude nicht sichtbar sind. Darüber hinaus ist eine Vielzahl verschiedener Raum- und Gebäudenummern vermerkt. Es stellt sich die Frage, wie viel dieser Darstellung tatsächlich notwendig ist, um sich orientieren zu können. Insbesondere wenn die Anzeige des Kartenmaterials nicht wie im Beispiel durch einen Aushang erfolgt, sondern auf mobilen Endgeräten dargestellt wird, sind Untersuchungen notwendig, die analysieren, wie die Wegfindung durch unterschiedliche Anzeigen unterstützt werden kann (Huang & Gartner, 2010, S. 316).

Ich habe den weitläufigen Bereich der Universität Regensburg als mein Untersuchungsgebiet gewählt, da Hochschulgebäude in verwandten Forschungsarbeiten häufig für Studien herangezogen werden und die Wegfindung auf dem Campus eine herausfordernde Aufgabe sein kann (T. Wang, Tjondronegoro, Docherty, Song & Fuglsang, 2013, S. 3).

Basierend auf den beschriebenen Beobachtungen fokussieren sich meine Studien auf die Untersuchung von unterschiedlichen mobilen Kartendarstellungen für den Innenbereich, die explizit auf Landmarken Bezug nehmen. Welches Forschungsgebiet dabei im Speziellen adressiert wird, wird im Folgenden beschrieben.

## 1.2 Forschungskontext

Im Allgemeinen sind meine Untersuchungen in den Bereich der standortbezogenen Dienste (Location-Based Services) einzuordnen, die sich damit beschäftigen, wie den Nutzern Informationen oder Applikationen bereitgestellt werden können, die bezüglich ihrer momentanen Position beziehungsweise ihres Kontextes relevant sind (Huang & Gartner, 2010, S. 305). Standortbezogene Dienste sind zudem als eine spezielle Art eines Geoinformationssystems einzuordnen (Anagnostopoulos et al., 2017, S. 1771). Navigationssysteme sind eines der wichtigsten Anwendungsgebiete der Location-Based Services (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 24; Huang und Gartner, 2010, S. 306). Für diesen Untersuchungsbereich besteht jedoch noch viel Forschungsbedarf, obwohl es im Kontext der standortbezogenen Dienste wichtig ist, effiziente und zufriedenstellende Navigationslösungen zu entwickeln (Raper, Gartner, Karimi und Rizos, 2007, S. 32; Seager und Fraser, 2007, S. 767; Selvi, Bildirici und Ulugtekin, 2016, S. 1).

Kray, Elting, Laakso und Coors (2003, S. 118) identifizieren drei Hauptforschungsgebiete, die für eine erfolgreiche Navigation von Bedeutung sind. Zum einen muss der Start- und Zielpunkt der Navigation festgelegt werden. Dies kann automatisch beispielsweise über die Sensoren des Navigationsgerätes passieren oder von den Nutzern eingegeben



werden. Zum anderen muss eine geeignete Route gefunden werden. Die Routen-Berechnung sollte zudem situative Faktoren berücksichtigen. Darunter fallen Nutzerpräferenzen wie beispielsweise das Vermeiden von bestimmten Routen-Bestandteilen (siehe z. B.: Müller, Ohm, Schwappach & Ludwig, 2017) oder das gerade verwendete Transportmittel. Darüber hinaus muss die Route den Navigierenden auf adäquate Weise präsentiert werden.

Während diese Forschungsfragen für den Außenbereich formuliert wurden, muss beachtet werden, dass sich der Innenbereich vom Außenbereich unterscheidet, zum Beispiel hinsichtlich der verfügbaren Landmarken (Brunner-Friedrich & Radoczky, 2006, S. 203). Weiterhin ist das Sichtfeld im Innenraum eingeschränkt (Lorenz, Thierbach, Baur & Kolbe, 2013b, S. 201). Navigationssysteme für Innenbereiche befinden sich noch in einer relativ frühen Phase der Entwicklung (Huang & Gartner, 2010, S. 315 f.).

Jedoch identifizieren auch Krisp, Jahnke, Lyu und Fackler (2015, S. 42) drei große Herausforderungen, die bei der Implementierung von Fußgänger-Navigationssystemen für Innenräume zu meistern sind und die sich mit denen von Kray et al. (2003) überschneiden. Darunter fällt, wie Datenmaterial für diesen Bereich erlangt und gespeichert werden kann. Zudem ist es wichtig, geeignete Routen für Innenräume, die die Nutzerbedürfnisse widerspiegeln, zu berechnen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie Indoor-Routen visualisiert werden können, um die Nutzer zufriedenstellend an ihr Ziel zu führen.

Es ist ersichtlich, dass die Visualisierung von Routen eine wissenschaftliche Herausforderung darstellt. Meine Arbeit adressiert diese in der Literatur identifizierte Forschungsfrage und beschäftigt sich mit verschiedenen Anzeigemöglichkeiten von Navigationsstrukturen, die zudem Landmarken referenzieren. Diese auffälligen Objekte sind ein wichtiger Bestandteil, der zur Lösung der Wegfindungsaufgabe notwendig ist (Montello & Sas, 2006, S. 2004), jedoch ist unklar wie Navigationsanweisungen, die mit Landmarken angereichert sind, dargestellt werden sollen (Huang & Gartner, 2010, S. 316). Die weiteren Forschungsfragen, wie beispielsweise das Finden einer geeigneten Route, werden in meiner Arbeit nicht adressiert.

Huang und Gartner (2010, S. 308) stellen ein Evaluationsframework vor, in dem Fußgänger-Navigationssysteme für den Innenbereich eingeordnet werden können. Dabei werden die Dimensionen „Lokalisierung“, „Routendarstellung“ sowie „Kontextsensitivität“ herangezogen. Zudem werden weitere Eigenschaften einbezogen, die sich hauptsächlich auf die Internetverbindung und die verwendete Plattform beziehen.

Meine Arbeit ist in der Dimension „Routendarstellung“ einzuordnen (siehe Abbildung 1.2). Mein Forschungsschwerpunkt liegt darin, zu untersuchen, wie eine Indoor-Route, die Landmarken referenziert, kartographisch angezeigt werden kann. Dabei werden die anderen Dimensionen kontrolliert. Es wird keine Positionsbestimmung herangezogen. Die Nutzer müssen sich mithilfe des Kartenmaterials selbst verorten und es werden keine zusätzlichen Informationen wie ein Positionspunkt angezeigt. Anhand des Kontextes der Nutzer wird keine Veränderung des Interfaces vorgenommen. In den Analysen wird jedoch betrachtet, inwiefern sich Faktoren der Umwelt, wie beispielsweise die Art der dargestellten Landmarken oder die Routen-Komplexität auf die Performanz der Nutzer auswirkt. Eine schwankende Netzwerkverbindung ist in meinen Experimenten kein Einflussfaktor, da alle Prototypen so gestaltet sind, dass sie auch ohne Internetverbindung funktionsfähig sind. Die Plattform ist fixiert, da alle Probanden während des

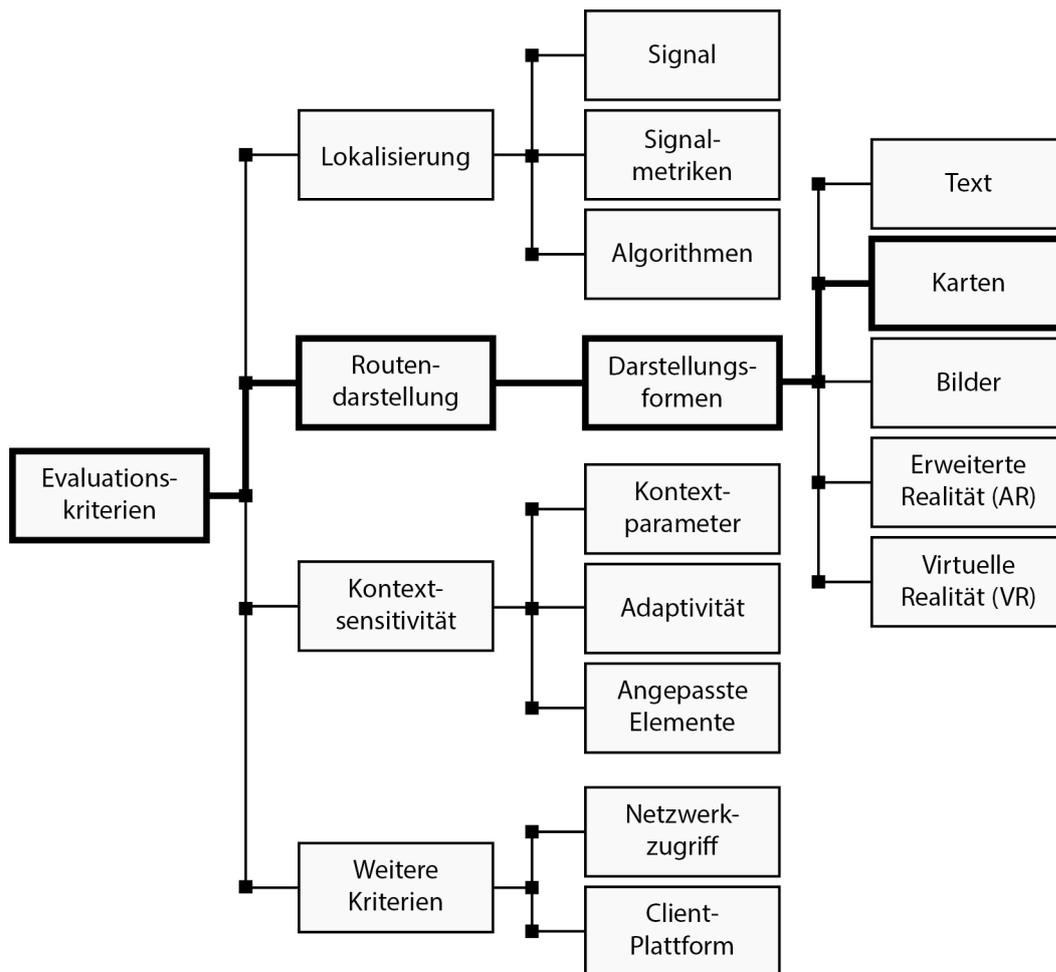


Abbildung 1.2: Einordnung der Forschung in das Framework von Huang und Gartner (2010, S. 308), erweitert durch die möglichen Darstellungsarten nach Kray et al. (2003, S. 118 ff.) und Gartner und Radoczky (2006, S. 388 ff.). Der markierte Pfad stellt den Forschungsschwerpunkt meiner Arbeit dar.

Experiments die gleiche Hardware verwenden.

Im Rahmen der Präsentation von Routen ist eine Vielzahl von Darstellungsformen möglich. Jedoch ist offen, welche Visualisierung im Innenbereich zu einer effizienten Wegfindung führt und wie viele Details tatsächlich zur Orientierung notwendig sind (Huang & Gartner, 2010, S. 315 f.). Kray et al. (2003), Chittaro und Burigat (2005) sowie Gartner und Radoczky (2006) geben einen Überblick über mögliche Visualisierungsarten. Diese reichen von Textanweisungen über unterschiedliche Kartendarstellungen bis hin zu bildlichen Anzeigen, zum Beispiel mit Fotografien oder durch Virtual- und Augmented-Reality-Interfaces. Auch eine Navigation anhand von Vibrationsmustern ist in diesem Zusammenhang denkbar (Rehrl et al., 2012, S. 4). Weiterhin können alle diese Kommunikationsformen kombiniert werden (Kray et al., 2003, S. 120). Kartendarstellungen sind in diesem Kontext die wichtigste Präsentationsform, die zudem sehr verbreitet ist (Montello und Sas, 2006, S. 2006; Schnitzler, Giannopoulos, Hölscher und Barisic, 2016, S. 85) und ein Großteil der Fußgänger-Navigationssysteme verwendet diese, um die Nutzer ans Ziel zu führen (Elias & Paelke, 2008, S. 22). Basierend auf dieser Beobachtung wird diese Darstel-

lungsart in meiner Forschung untersucht. Dabei werden unterschiedliche Visualisierungen, die gemäß der Empfehlungen von Kray et al. (2003, S. 120) mit einer Textanweisung kombiniert sind, analysiert. Im Innenbereich sind Kartendarstellungen bei weitem nicht so gut erforscht wie die Visualisierungen von Kartenmaterial für den Außenbereich (Lorenz et al., 2013b, S. 201). Insbesondere ist in diesem Zusammenhang der Grad der Abstraktion eine offene Forschungsfrage (Huang und Gartner, 2010, S. 312; Montello und Sas, 2006, S. 2006). So können überflüssige Darstellungen Nutzer daran hindern, die notwendigen Informationen zu rezipieren und erschweren somit das Verständnis der Visualisierung (Krisp et al., 2015, S. 37). Es wird davon ausgegangen, dass die Anzeige des eigenen Standpunktes und Informationen bezüglich der aktuellen Umgebung am wichtigsten für die Wegfindung sind (Kolbe, 2004, S. 45). Dabei ist die Referenzierung einer Landmarke die minimale Information bezüglich der Umgebung, die notwendig ist, um die Wegfindungsaufgabe zu absolvieren (Tversky & Lee, 1999, S. 61). Aus diesem Grund bildet die Untersuchung von stark reduziertem Kartenmaterial, das Landmarken referenziert, den Forschungsschwerpunkt meiner Arbeit.

Weiterhin lege ich den Fokus meiner Auswertungen auf die Analyse des Blickverhaltens der Nutzer während der Navigation. Diese Art der Untersuchung wird in verwandten Forschungsarbeiten in virtuellen Räumen angewendet (Wiener, Hölscher, Büchner & Konieczny, 2012) und dazu eingesetzt, geeignete Landmarken zu identifizieren (Viaene, Ooms, Vansteenkiste, Lenoir & De Maeyer, 2014) oder zur Evaluation von Papierkarten im Außenbereich herangezogen (Kiefer, Giannopoulos & Raubal, 2014). Eine umfassende Evaluierung eines Assistenzsystems zur Wegfindung im Innenbereich wurde mit dieser Messmethode bis dato noch nicht durchgeführt, obwohl die Analyse des Blickverhaltens es erlaubt, fundamentale kognitive Prozesse während der Wegfindung zu untersuchen (Kiefer, Giannopoulos & Raubal, 2014, S. 661).

### 1.3 Forschungsfragen und wissenschaftlicher Beitrag

In der Beschreibung des Forschungskontextes wird deutlich, dass bezüglich des Designs und der Analyse von landmarkenbasierten Fußgänger-Navigationssystemen insbesondere im Innenbereich noch großer Untersuchungsbedarf besteht. Es ist nicht abschließend geklärt, welche und wie viele Objekte verwendet werden können, um den Navigierenden zu helfen. Folglich wurden für meine Arbeit zunächst Forschungsfragen formuliert, die die Identifizierung und Referenzierung von auffälligen Objekten betreffen:

**RQ 1:** Welche Objekte können im Innenbereich referenziert werden?

**RQ 2:** Wie viele Landmarken sollte eine Wegfindungshilfe im Innenbereich anzeigen?

**RQ 3:** Wie werden Landmarken während der Wegfindung rezipiert?

Dabei liegt der Fokus nicht auf der Auswahl, sondern auf der Darstellung der Objekte in unterschiedlich abstrahierten Kartendarstellungen. Daraus resultieren die Forschungsfragen, die die variierenden kartographischen Visualisierungen adressieren:

**RQ 4:** Wie stark können Kartendarstellungen vereinfacht werden?

**RQ 5:** Welche Kartendarstellungen führen zu einer effizienteren Orientierung?

In diesem Zusammenhang ist für mich von besonderem Interesse, wie die visuelle Aufmerksamkeit von unterschiedlichen Wegfindungshilfen gebunden wird, da dies einen Einblick in die kognitiven informationsverarbeitenden Prozesse der Nutzer gibt (Wiener et al., 2012, S. 713). Somit lautet die letzte Forschungsfrage wie folgt:

**RQ 6:** Wie betrachten Nutzer unterschiedliche Wegfindungshilfen und wie ist das Blickverhalten charakterisiert?

Der wissenschaftliche Beitrag meiner Arbeit ist demnach, dass erstmals eine umfassende Analyse des Blickverhaltens während einer real-weltlichen Wegfindung im Innenbereich mithilfe einer digitalen Kartendarstellung, die zusätzlich Landmarken referenziert, durchgeführt wird. Somit wird der aktuelle Kenntnisstand bezüglich der Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit sowie der damit verbundenen Wahrnehmungsprozesse während der Wegfindung erweitert. Traditionell kommt bei solchen Studien kein Eye-Tracker zum Einsatz oder die Analyse wird in einer Laborumgebung durchgeführt (Giannopoulos, 2016, S. 5). Die Lösung der Probleme, die während meiner Studien bezüglich der Verwendung des mobilen Eye-Trackers als Messinstrument aufgetreten sind, insbesondere was die Daten-Annotation betrifft, können für weitere Forschungsarbeiten verwendet werden.

Weiterhin ist mein Untersuchungsgebiet - der Innenraum - im Vergleich zu der Analyse des Navigationsverhaltens im Außenbereich noch relativ schlecht untersucht (Huang & Gartner, 2010, S. 315 f.). Der größte Beitrag meiner Arbeit ist, dass Kartendarstellungen, die in ihrer Anzeige sehr abstrahiert sind, mit gängigen Darstellungen von Gebäudeplänen verglichen werden. Die Abstraktion wird an die Erkenntnisse verwandter Forschungsarbeiten angelehnt und richtet sich nach der Grundannahme, dass die Anzeige des aktuellen Standorts der Person, des Weges sowie einer Landmarke als minimale Informationsmenge notwendig ist, um die Wegfindungsaufgabe erfolgreich zu absolvieren (Tversky & Lee, 1999, S. 61). Der landmarkenzentrierte Ansatz erweitert zudem den Kenntnisstand bezüglich des Designs von Indoor-Navigationssystemen.

Weiterhin kommen in meiner Arbeit nur Landmarken zur Anzeige, die entweder von Nutzern ausgewählt wurden oder für die eine Zuordnung der Salienz durch Probanden erfolgte. Dies unterscheidet meine Wegfindungsstudien von verwandten Arbeiten, in denen die Landmarkenauswahl zumeist nicht Fokus der Arbeit ist oder durch die Testleiter erfolgt (siehe z. B.: Nurmi, Salovaara, Bhattacharya, Pulkkinen & Kahl, 2011; Puikkonen, Sarjanoja, Haveri, Huhtala & Häkkinen, 2009).

Darüber hinaus gibt meine Literatur-Recherche einen Überblick über die unterschiedlichen Darstellungsformen, die momentan in der Fußgänger-Navigation zum Einsatz kommen. Zudem wird aufgezeigt, wie diese bis dato evaluiert wurden.

Im Folgenden werden die im Rahmen der Bearbeitung dieser Forschung veröffentlichten Fachpublikationen aufgeführt und ihr Zusammenhang mit den in dieser Arbeit beschriebenen Studien aufgezeigt.

## 1.4 Veröffentlichungen

Im Rahmen meiner Dissertation habe ich Zwischenergebnisse in folgenden wissenschaftlichen Fachbeiträgen veröffentlicht:<sup>1</sup>

- Ohm, C., Müller, M. und Ludwig, B. (2017). Evaluating indoor pedestrian navigation interfaces using mobile eye tracking. *Spatial Cognition & Computation* 17 (1-2) (S. 89–120).

*In diesem Zeitschriftenartikel sind die wesentlichen Erkenntnisse der Studien, die in den nachfolgenden Kapiteln 5 und 6 dargestellt sind, zusammengefasst. Der Artikel beschreibt vor allem die Analyse des Blickverhaltens der Nutzer während der Navigation.*

- Bauer, C., Müller, M. und Ludwig, B. (2016). Indoor Pedestrian Navigation Systems: Is More than One Landmark Needed for Efficient Self-Localization? In *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (S. 75–79). New York: ACM.

*Dieser Fachbeitrag bezieht sich auf das in Kapitel 7 näher beschriebene Experiment, das den Zusammenhang von Landmarken-Anzahl und Navigationseffizienz untersucht.*

- Ohm, C., Bienk, S., Kattenbeck, M., Ludwig, B. und Müller, M. (2015a). Towards interfaces of mobile pedestrian navigation systems adapted to the user's orientation skills. *Pervasive and Mobile Computing* 26 (S. 121–134).

*In diesem Zeitschriftenartikel sind zwei Nutzerstudien zur Navigation dargelegt. Der Fachbeitrag wurde als Erweiterung der Publikation Bienk et al. (2013) (siehe unten) angefertigt und um eine meiner Studien zur assistierten Wegfindung im Innenbereich, die in Kapitel 5 beschrieben ist, erweitert.*

- Ohm, C., Müller, M. und Ludwig, B. (2015b). Displaying landmarks and the user's surroundings in indoor pedestrian navigation systems. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* 7 (5) (S. 635–657).

*Neben den Erkenntnissen meines Kollegen Manuel Müller zur Modellierung des Innenraums, wird in diesem Zeitschriftenartikel vor allem die in Ohm et al. (2014) (siehe unten) vorgestellte Studie zur Landmarkenauswahl in zusätzlichen Untersuchungsgebieten validiert. Zudem wird das Interface, das in Kapitel 6 näher beschrieben ist, bezüglich der Navigationseffizienz evaluiert.*

- Ohm, C., Müller, M., Ludwig, B. und Bienk, S. (2014). Where is the Landmark? Eye Tracking Studies in Large-Scale Indoor Environments. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Eye Tracking for Spatial Research co-located with the 8th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2014)*.

*In diesem Beitrag wurden Teile der in Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse veröffentlicht. Die beschriebene Studie zur Landmarkenauswahl diente als Basis für alle Folgepublikationen.*

<sup>1</sup>Ein Großteil der Publikationen wurde unter meinem Geburtsnamen „Ohm“ veröffentlicht.

Zudem war ich Co-Autor bei folgenden Beiträgen, die Aspekte der Fußgänger-Navigation adressieren:

- Ullmann, M., Bauer, C., Jackermeier, R. und Ludwig, B. (2018). Ain't short sweet, when walking down that street? In Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Location Based Services (S. 223–224).
- Müller, M., Ohm, C., Schwappach, F. und Ludwig, B. (2017). The path of least resistance - Calculating preference adapted routes for pedestrian navigation. KI – Künstliche Intelligenz 31 (2) (S. 125–134).

*Diese beiden Beiträge beschreiben, anhand welcher Parameter Routen an die Vorlieben von Nutzern angepasst werden können.*

- Kattenbeck, M., Müller, M., Ohm, C. und Ludwig, B. (2015). Der Weg ist das Ziel – Fußgänger-Navigation ist Forschung zu Information Behavior. Information – Wissenschaft & Praxis 66 (S. 45–55).

*In diesem Artikel zur Forschungstätigkeit der Universität Regensburg im Rahmen der Fußgänger-Navigation sind die Ergebnisse der Studien, die in Kapitel 4 und 6 beschrieben sind, kurz zusammengefasst.*

- Ludwig, B., Müller, M. und Ohm, C. (2014). Empirical Evidence for Context-aware Interfaces to Pedestrian Navigation Systems. KI – Künstliche Intelligenz 28 (4) (S. 271–281).

*Dieser Beitrag stellt dar, welche Objekte bei der Navigation in einem Kaufhaus zur Wegfindung verwendet werden und zeigt Möglichkeiten auf, wie geeignete Landmarken ausgewählt werden können.*

- Müller, M., Ohm, C. und Ludwig, B. (2014). Path Network Modeling of Public Buildings. In Proceedings of the International Workshop on Interfacing Indoor and Outdoor Spaces at GIScience, Wien, Österreich.

*Diese Publikation zeigt auf, wie das Umgebungsmodell der Universität Regensburg aufgebaut ist und welche Objekt- und Wegtypen unterschieden werden können.*

- Bienk, S., Kattenbeck, M., Ludwig, B., Müller, M. und Ohm, C. (2013). I want to view it my way – Interfaces to mobile maps should adapt to the user's orientation skills. In Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (S. 34:1–34:9). New York: ACM.

*Es wird eine Studie vorgestellt, die untersucht, welche Interface-Varianten Nutzer bezüglich einer navigationsähnlichen Aufgabe im Außenbereich präferieren. Zudem wird der Einfluss von Nutzereigenschaften dargestellt. Diese Arbeit diente als Grundlage für die Publikation Ohm et al. (2015a) (siehe oben).*

- Ludwig, B., Bienk, S., Kattenbeck, M., Müller, M., Ohm, C., Einmal, M., Glaser, T., Hackl, M., Oreskovich, M., Schubart, L. (2013). Do You Recognize That Building's Facade? KI - Künstliche Intelligenz 27 (3) (S. 241–246).

*Dieser Artikel zeigt die Notwendigkeit auf, Landmarken für die Navigation zu sammeln. Weiterhin wird das Forschungsprojekt „NADINE“ vorgestellt, an dem ich von 2013 bis*

2015 mitgearbeitet habe. Das Projekt hatte zum Ziel, eine intuitive Fußgänger-Navigation an Bahnhöfen umzusetzen.

Insbesondere in den Publikationen zur Modellierung des Innenraumes sind wesentliche Grundvoraussetzungen für meine Experimente beschrieben. Das erstellte Graphen-Netzwerk, das mit Landmarken angereichert ist, diente als Datengrundlage für meine Interface-Designs.

Weiterhin habe ich Studien, die im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten unter meiner Betreuung durchgeführt oder vertieft wurden, publiziert:

- Bauer, C., Müller, M., Ludwig, B. und Zhang, C. (2017). Supporting Orientation During Indoor and Outdoor Navigation. In P. Fogliaroni, A. Ballatore und E. Clementini (Hrsg.), Proceedings of Workshops and Posters at the 13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017) (S. 153–161). Cham: Springer.

*In einem von Manuel Müller und mir geleiteten Seminar wurden Routenbeschreibungen in verbaler und grafischer Form (Sketch-Maps) gesammelt. Chen Zhang hat diese Daten im Rahmen ihrer Bachelorarbeit im Detail ausgewertet. Eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse wurde auf der COSIT 2017 vorgestellt.*

- Ohm, C., Ludwig, B. und Gerstmeier S. (2015). Photographs or Mobile Maps? – Displaying Landmarks in Pedestrian Navigation Systems. In: Proceedings of the 14th International Symposium on Information Science (S. 302–312).

*Eine Studie, deren Daten größtenteils in Rahmen der Masterarbeit von Saskia Gerstmeier erhoben wurden, wurde auf dem Symposium für Informationswissenschaft präsentiert.*

Auf die letzten beiden Publikationen wird in dieser Arbeit lediglich verwiesen. Die Daten und Analysen sind nicht Teil meiner Dissertation. Im nächsten Abschnitt wird der grundlegende Aufbau meiner Arbeit umrissen.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Meine Arbeit untergliedert sich in einen theoretischen und einen praktischen Teil. Zunächst werden in Kapitel 2 relevante Fachbegriffe im Kontext der Navigation, insbesondere das Konzept der Wegfindung und Orientierung eingeführt. In diesem Zusammenhang wird zudem auf Landmarken und Möglichkeiten, derartige Objekte zu identifizieren, eingegangen. Außerdem werden verschiedene Darstellungsmöglichkeiten von Wegfindungsinformation aufgezeigt.

Daraufhin wird ein Überblick über unterschiedliche Forschungsrichtungen bezüglich Fußgänger-Navigationssystemen im Außen- und Innenbereich gegeben (Kapitel 3). Dabei werden insbesondere verschiedene Darstellungsarten sowie Möglichkeiten, diese Systeme zu evaluieren, aufgeführt. Mein theoretischer Teil der Arbeit schließt mit einer Darstellung, wie Eye-Tracker momentan im Kontext der Fußgänger-Navigationsforschung eingesetzt werden. Es wird aufgezeigt, dass die Analyse des Blickverhaltens während einer real-weltlichen Aufgabe in der Geoinformationswissenschaft zwar nicht vollkommen unerforscht ist, jedoch noch viel Untersuchungspotenzial besteht.

Im praktischen Teil meiner Arbeit wird zunächst in Kapitel 4 eine Vorstudie vorgestellt, die dazu diente, Landmarken für die Hauptexperimente zu erheben. In diesem Zusammenhang mussten Probanden auf einer vordefinierten Strecke Objekte nennen, die innerhalb einer Routenbeschreibung verwendet werden könnten. In der Analyse wird auf den Zusammenhang von Nennung als Landmarke und visueller Aufmerksamkeit eingegangen. Weiterhin wird auch die Art und Position der gewählten Objekte betrachtet. Im ersten Hauptexperiment werden die in der Vorstudie gesammelten Objekte im Rahmen einer kartenbasierten Darstellung zur Anzeige gebracht. Dabei werden Architekturpläne, die eine häufige Navigationshilfe darstellen, mit einer sehr abstrahierten Kartendarstellung verglichen (Kapitel 5). Die Darstellung wird im Rahmen der in Kapitel 6 dargestellten Studie überarbeitet und erneut untersucht, inwiefern abstrahierte Darstellungsarten die Wegfindungsaufgabe unterstützen. In einem weiteren Experiment wird zunächst, da die Testroute sich im Vergleich zu den vorangegangenen Studien geändert hat, ein neuer Datensatz an Landmarken erhoben. Dabei mussten die Nutzer Objekte bezüglich ihrer Salienz bewerten. Es schließt sich eine Untersuchung an, im Rahmen derer unterschiedlich viele Landmarken zur Wegfindung referenziert werden. In diesem Zusammenhang wird analysiert, ob die Anzeige lediglich einer sehr auffälligen Landmarke die Wegfindung besser unterstützt als die zusätzliche Darstellung von drei weiteren Objekten (Kapitel 7). Innerhalb der letzten Untersuchung, die in Kapitel 8 beschrieben ist, werden überarbeitete und in ihrer Darstellung vereinfachte Architekturpläne nochmals mit einem sehr reduzierten Karten-Interface verglichen.

In allen Hauptexperimenten werden die Zeit, die Fehler während der Navigation und die visuelle Aufmerksamkeit, die vom Interface gebunden wird, als abhängige Variablen herangezogen. Zudem werden im Verlauf der Studien zusätzlich subjektive Zufriedenheitsmaße bei der Auswertung berücksichtigt. Der Fokus der Experimente liegt jedoch auf der Analyse des Blickverhaltens der Nutzer.

Die Ergebnisse werden schließlich zusammengefasst und Einschränkungen aufgezeigt sowie ein Ausblick auf weitere mögliche Forschungsfragen und Studien gegeben.

# 2

## Navigation

Das primäre Forschungsziel meiner Dissertation ist, zu untersuchen, wie Fußgänger während einer Navigationsaufgabe unterstützt werden können. Folglich muss zunächst der Term „Navigation“ definiert werden. Darüber hinaus wird in diesem Zusammenhang der Fachbegriff „Wayfinding“ – also die Wegfindung<sup>1</sup> – der sehr eng mit der Navigation verknüpft ist, beschrieben. Diese beiden Begriffe werden häufig als Synonyme verwendet (Montello & Sas, 2006, S. 2003), jedoch sollen die folgenden Kapitel darstellen, dass diese Konzepte sich nicht vollständig überlappen. Weiterhin werden mögliche Einflussfaktoren auf die Wegfindung aufgezeigt. Dabei sind insbesondere Landmarken von großer Bedeutung. Folglich wird in diesem Kapitel auf die Funktion und die Eigenschaften dieser Objekte sowie mögliche Auswahlverfahren eingegangen. Zudem werden potenzielle Darstellungsformen von Wegfindungsinformation beschrieben. Dabei wird im Speziellen auf die Unterstützung der Orientierung durch Karten eingegangen, da diese Anzeigart in meiner Arbeit untersucht wird. Schließlich wird eine Zusammenfassung gegeben und dargestellt, wie meine Arbeit im Kontext der unterschiedlichen Fachterminologie eingeordnet werden kann und welche Einflüsse die verwandten Forschungsarbeiten auf meine Untersuchungen hatten.

### 2.1 Navigation und Wegfindung

Nach Montello und Sas (2006, S. 2003) ist die Navigation die zielgerichtete und koordinierte Bewegung durch den Raum. Sie besteht aus zwei Komponenten, namentlich der Wegfindung und der Fortbewegung (Montello, 2005, S. 258). Letztere ist die „Echtzeit-Komponente“ der Navigation und beinhaltet hauptsächlich die Bewegung einer Person

---

<sup>1</sup>In meiner Arbeit wird der englische Fachbegriff „Wayfinding“ mit „Wegfindung“ übersetzt. Dabei wird der deutsche Term bedeutungsgleich verwendet.

durch den Raum. Sie verlangt demnach überwiegend sensorische und motorische Fähigkeiten, wie die Vermeidung von Barrieren (Montello & Sas, 2006, S. 2003). Die Fortbewegung kann beispielsweise durch Transportmittel wie Autos, Flugzeuge oder Fahrräder erleichtert werden (Montello, 2005, S. 259). Folglich ist es nicht die primäre Aufgabe eines Navigationssystems die Fortbewegung zu unterstützen. Vielmehr helfen diese Assistenzsysteme bei der Absolvierung des zweiten Bestandteils der Navigation – der Wegfindung. Diese findet vor und während der Fortbewegung statt. Sie beinhaltet das Planen der Route und benötigt ein spezifisches Ziel im Raum. Dieser Punkt kann sich in der Ferne befinden und muss demnach nicht unmittelbar wahrnehmbar sein. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Navigierende eine Vielzahl von Entscheidungsprozessen durchlaufen. Darunter fallen beispielsweise das Wählen einer adäquaten Route, die Orientierung im Raum sowie das Planen der Reise (Montello & Sas, 2006, S. 2003 f.).

Allen (1999b, S. 47) beschreibt die Wegfindung als zielgerichtete Bewegung zu einem bestimmten Endpunkt, der weit entfernt ist und demnach nicht direkt vom Reisenden wahrgenommen werden kann. Auf den ersten Blick scheint diese Definition den Prozess der Fortbewegung und die kognitiven Aspekte der Wegfindung nicht klar voneinander zu trennen. Jedoch stellt Allen (1999b, S. 47) klar, dass diese Definition zwar das Vermeiden von Hindernissen in der Umgebung beinhaltet, aber noch weitere kognitive Prozesse involviert sind.

Die Wegfindung findet im Allgemeinen in weiträumigen Umgebungen wie Städten oder Gebäuden statt. Sie beinhaltet jeden kognitiven Vorgang, der notwendig ist, damit sich Personen in ihrer Umgebung orientieren und durch den Raum navigieren können (Raubal & Winter, 2002, S. 244). Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass diese Aufgabe substanzielle und signifikante räumliche Kognitionsprozesse erfordert (Montello & Raubal, 2013, S. 251). Dabei wird das Arbeitsgedächtnis stark beansprucht (Golledge, 1999, S. 27). Grundsätzlich betrifft das jeden Prozess, der es Personen ermöglicht, die Orientierung während einer Bewegung herzustellen und aufrechtzuerhalten (Montello & Raubal, 2013, S. 251). Die Wegfindung impliziert eine Interaktion der Reisenden mit ihrer Umgebung (Raubal, 2000, S. 365). Insbesondere in unbekanntem Arealen oder wenn eine neue Entscheidungssituation auftritt, wird die Aufgabe kognitiv besonders anstrengend und erfordert Aufmerksamkeitsressourcen (Montello & Sas, 2006, S. 2004).

Eine erfolgreiche Wegfindung benötigt zudem genaue und ausreichende Informationen über die Umgebung. Gleichzeitig muss diese Information für die aktuelle Aufgabe relevant sein und sollte keine unnötigen Bestandteile beinhalten, die die Navigierenden ablenken könnten. Diese Informationen können die Reisenden durch vorhergehende Erfahrung oder durch ein Informationssystem erlangen. Wenn ein Assistenzsystem zum Einsatz kommt, ist die Art der Darstellung entscheidend für eine erfolgreiche Wegfindung (Montello & Sas, 2006, S. 2005 f.).

Diese Definitionen der Wegfindung zeigen, dass hierfür eine Vielzahl kognitiver Kapazitäten vom Menschen abverlangt werden. Im Gegensatz dazu wird die Fortbewegung größtenteils automatisch durchgeführt (Denis, 2018, S. 57).

Um den Wegfindungsprozess erfolgreich zu absolvieren, müssen Menschen ihren eigenen Standpunkt relativ zu anderen Punkten in der Umgebung kennen. Sofern eine Person ihren eigenen Standort identifizieren kann, gilt sie als orientiert. Folglich ist „Orientierung“ ein weiterer wichtiger Aspekt im Kontext der Navigation. Um die Orientie-

rung aufrecht zu erhalten, verwenden Personen zwei Arten von kognitiven Prozessen. Zum einen die landmarkenbasierte Orientierung, die darauf beruht, dass Menschen Objekte und deren Eigenschaften in ihrer Umgebung identifizieren und diese dazu verwenden, sich selbst zu verorten. Zum anderen orientieren sich Menschen anhand von „Dead-reckoning“-Prozessen. Ähnlich wie bei der Unterscheidung von Wegfindung und Fortbewegung fußt die landmarkenbasierte Orientierung auf kognitiven Wahrnehmungsprozessen des Raumes, wohingegen „Dead-reckoning“-Orientierung die Wahrnehmung der Bewegung des Körpers in der Umgebung betrifft. Darunter fallen beispielsweise die momentane Bewegungsgeschwindigkeit und die Position der Gliedmaßen (Montello & Sas, 2006, S. 2004).

Auf das Konzept der Landmarken, die für die landmarkenbasierte Orientierung und somit auch für eine erfolgreiche Absolvierung der Wegfindungsaufgabe notwendig sind, wird in Kapitel 2.4 eingegangen. Im Folgenden werden zunächst unterschiedliche Arten der Wegfindung und Einflussfaktoren auf diese aufgezeigt.

## 2.2 Arten der Wegfindung

Wie bereits beschrieben, kann die Wegfindung in unterschiedlichen Umgebungen und unter verschiedenen Umständen erfolgen. Allen (1999a, 1999b) unterscheidet drei Wegfindungsaufgaben-Typen anhand der involvierten kognitiven Prozesse und des Erfolgskriteriums der Aufgabe:

**Pendeln:** Die Wegfindung findet zwischen zwei bekannten Orten statt. Dabei ist das Verhalten höchst routiniert und automatisierte kognitive Prozesse sind vorherrschend. Sofern sich die Umstände ändern oder alternative Routen eingeschlagen werden müssen, werden zusätzlich zu automatisierten Prozessen kontrollierte übergeordnete kognitive Prozesse nötig. Beim Pendeln ist Effizienz das wichtigste Erfolgskriterium, da diese Aufgabe zumeist sehr regelmäßig durchgeführt wird.

**Erkunden:** Typischerweise wird bei dieser Art der Wegfindung von einem bekannten Start- zu einem bekannten Endpunkt navigiert. Der Zweck der Wegfindung ist in diesem Zusammenhang die Aneignung von räumlichen Wissen. Dabei sind vor allem bewusste strategische Kognitionsprozesse notwendig. Die Aufgabe ist erfolgreich abgeschlossen, sobald die Person mehr räumliches Wissen erlangt hat.

**Suchen:** Dieser Wegfindungstyp beginnt an einem bekannten Startpunkt und soll zu einem unbekanntem Ziel führen. Diese Aufgabe kann nur mithilfe symbolischer Repräsentationen gelöst werden. Darunter fallen zum Beispiel Karten oder verbale Routenbeschreibungen. Die Aufgabe ist erfolgreich absolviert, falls die Wegfinder ihr unbekanntes Ziel erreichen. Darüber hinaus ist auch die Zeit, die sie dafür benötigen, ein wichtiges Erfolgskriterium. Das Suchen erfordert übergeordnete kognitive Prozesse, wobei diese hauptsächlich dafür aufgewendet werden müssen, die Navigationshilfe zu verstehen.

Die kognitiven Prozesse, die für jede dieser Aufgaben notwendig sind, können sich überlappen. Das Merkmal, das hauptsächlich zur Unterscheidung der Wegfindungsaufgabe herangezogen werden kann, ist der Zweck der Navigation sowie, ob das Ziel der Person

bekannt ist. Zusätzlich zu den Typen der Wegfindung identifiziert Allen (1999a, S. 555 ff.) vier grundlegende kognitive Prozesse, die die Wegfindungsaufgabe unterstützen:

**Wiederholung der Fortbewegung:** Während der Pendel-Wegfindung wird eine gewohnheitsmäßige Fortbewegung ausgeführt. Die Person kennt ihren Weg bereits und muss sich nur auf die Bewegung konzentrieren. Folglich sind nur sehr wenige Aufmerksamkeitsressourcen notwendig.

**Ansteuerung:** Diese Art der Wegfindung findet während jeder Aufgabe statt und ist somit für bekannte und unbekannte Umgebungen relevant. Dabei verlässt sich die Person auf eine Abfolge von Landmarken, die sozusagen Zwischenziele sind, die sie „ansteuert“, um das übergeordnete Ziel zu erreichen. Diese Art der Wegfindung unterstreicht nochmals die Wichtigkeit von Landmarken für die Navigation.

**Pfadintegration:** Während der „Erkunden“-Aufgabe integrieren Wegfinder den neu erlernten Pfad in ihr mentales Modell der Umgebung.

**Navigation anhand einer kognitiven Karte:** Menschen entwickeln eine sogenannte kognitive Karte ihrer Umgebung im Laufe der Rezeption ihrer Umwelt. Falls eine Person eine interne Repräsentation der aktuellen Navigationsumgebung hat, kann sie anhand dieses mentalen Modells zu ihrem Ziel navigieren.

Die „Wiederholung der Fortbewegung“ ist demnach hauptsächlich mit dem zweiten Bestandteil der Navigation nach Montello und Sas (2006) – also der Fortbewegung – verbunden. Sie kann nicht direkt durch Wegfindungshilfen unterstützt werden. Nach Allen (1999a, S. 556) ist die Integration eines neuen Pfades in die mentale Repräsentation der Nutzer schwer zu erfassen und zu beurteilen. Sie bildet somit einen eigenen Untersuchungsbereich in der kognitionspsychologischen Forschung. Die „Ansteuerung“ und die „Navigation anhand einer kognitiven Karte“ sind hingegen wichtige Konzepte für meine Forschung. Denn sie unterstützen die „Suchen“-Aufgabe direkt, die ich in meiner Arbeit analysiere.

Als kognitive Karte wird die konzeptualisierte mentale Repräsentation der Eigenschaften der großräumigen Umgebung verstanden. Dabei werden Elemente wie Straßen, Gebäude und Landmarken sowie deren räumliche Relation zueinander internalisiert (Gärling, Böök und Lindberg, 2013, S. 146; Millonig und Schechtner, 2007, S. 44). Kognitive Karten sind zumeist perspektivisch verzerrt (Golledge, 1999, S. 32) und häufig werden Distanzen zwischen Objekten falsch eingeschätzt (Hirtle & Jonides, 1985, S. 214 ff.). Das Konzept der kognitiven Karte umfasst zudem alle mentalen Prozesse, die notwendig sind, um neue Umgebungen zu erfassen und in unbekanntem Räumen ohne Hilfsmittel zu navigieren (Kitchin & Blades, 2002, S. 2). Die Wegfindung anhand einer kognitiven Karte erfordert somit keine zusätzliche Wegfindungshilfe, da die Nutzer auf ihr räumliches Wissen zurückgreifen können. Dieses Wissen wird in drei Ebenen eingeteilt: Zunächst werden einzelne Objekte – also Landmarken – in die kognitive Karte integriert. Daraufhin merken sich Personen Routen zwischen diesen Objekten und erlangen dadurch sogenanntes Routen-Wissen. Zuletzt wird ein abstraktes Überblickswissen über die Umgebung ausgebildet, das sozusagen aus dem Netz des Routen- und Landmarkenwissens besteht (Siegel und White, 1975, S. 24 ff.; Werner, Krieg-Brückner, Mallot, Schweizer und Freksa, 1997, S. 42).

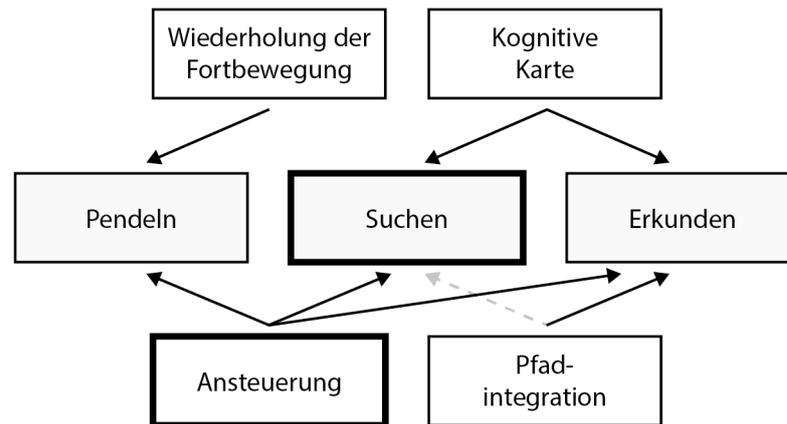


Abbildung 2.1: Wegfindungsaufgaben und die dazugehörigen Arten der Wegfindung (nach Allen (1999a, S. 555)). Der Forschungsschwerpunkt meiner Arbeit ist fett markiert.

Da ich in meinen Darstellungen explizit auf Landmarken Bezug nehme, ist vor allem die „Ansteuerung“ der kognitive Prozess, der im Rahmen meiner Arbeit untersucht wird. Die Nutzer in meinen Experimenten kannten das Ziel der Anweisung nicht, sodass die Navigation anhand ihrer kognitiven Karte nur sehr eingeschränkt möglich war. Potenziell ist denkbar, dass die Wegfinder nach der Aufgabe den Pfad in ihre kognitive Karte integriert haben. Dadurch wäre es möglich, dass die Probanden, sofern sie es nicht vorher schon konnten, nach den Experimenten in der Lage sind, das Ziel ohne eine Wegfindungshilfe zu erreichen. Dies ist jedoch eine weitere offene Forschungsfrage und wird nicht innerhalb meiner Studien adressiert.

Die Wegfindungstaxonomie nach Allen (1999a) ist in Abbildung 2.1 illustriert. Die Möglichkeit, dass eine Pfadintegration nach einer „Suchen“-Aufgabe stattfinden kann, ist in der Abbildung zusätzlich mit einem gestrichelten Pfeil eingezeichnet, da dies die Einteilung nach Allen (1999a) erweitert. Weiterhin ist die für meine Arbeit relevante Wegfindungsart hervorgehoben. Zusammenfassend beschäftige ich mich in meinen Studien damit, wie die „Suchen“-Aufgabe mithilfe der „Ansteuerung“ von Landmarken anhand unterschiedlicher kartographischer Visualisierungen unterstützt werden kann.

In Wiener, Büchner und Hölscher (2009, S. 157) wird zusätzlich zwischen der Wegfindung mit und ohne Hilfsmittel unterschieden. Ein Hilfsmittel ist dabei in den meisten Fällen eine Karte, die auch digital repräsentiert sein kann. In diesem Zusammenhang ist eine Vielzahl kognitiver Ressourcen notwendig. So muss eine Symbol-Identifikation erfolgen und die Wegfinder müssen die abstrakte Repräsentation mit der realen Umgebung abgleichen, sodass eine Selbstverortung und Orientierung erfolgen kann. Jedoch sind diverse kognitive Prozesse, die bei der Wegfindung ohne Hilfsmittel notwendig sind, wie beispielsweise das Planen der Route, nicht mehr notwendig. Insbesondere wenn Personen in unbekanntem Umgebungen nach dem Weg suchen, sind sie auf externe Assistenz wie Schilder oder Navigationssysteme angewiesen (Raubal, 2000, S. 364). Insgesamt ist also zu sagen, dass sich die Wegfindung ohne Hilfsmittel stark von der mit einer Assistenz unterscheidet, da primär auf räumliches Wissen zurückgegriffen werden muss. Da in meiner Arbeit nur die Wegfindung mit Hilfsmittel relevant ist, wird nicht im Detail auf die Orientierung ohne Assistenz eingegangen.

Eine weitere Möglichkeit, Wegfindungsstrategien einzuteilen, wird von Redish (1999, S. 79) vorgeschlagen. Dabei wird zwischen der „Taxon Navigation“, die die Orientierung anhand von Objekten in der sichtbaren Umgebung im Raum beinhaltet und der „Praxic Navigation“, die die Ausführung eines festen motorischen Programms impliziert, unterschieden. Weiterhin kann anhand einer mentalen Karte zum Ziel gefunden werden („Locale Navigation“). Zudem kann der Wegfinder anhand einer zufälligen Suche das Ziel erreichen („Random Navigation“). Landmarken spielen bei allen Strategien, außer der „Praxic Navigation“ eine wichtige Rolle (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 28). Normalerweise wird eine Kombination aus mehreren Strategien angewendet, um das Ziel zu erreichen (Millonig & Schechtner, 2007, S. 44). Diese Einteilung überschneidet sich mit den Wegfindungsstrategien, die in Allen (1999a, S. 555 ff.) beschrieben sind: Die Navigation anhand der kognitiven Karte ist eine der wesentlichen Vorgehensweisen, die Wegfinder zur Erreichung ihres Ziels heranziehen. Dabei kann versucht werden, durch eine (zufällige) Suche ans Ziel zu gelangen. Zudem werden automatisierte Fortbewegungsprozesse von einer bewussten Entscheidungsfindung abgegrenzt. Weiterhin ist eine wichtige Strategie, anhand der Identifikation von Landmarken an das Ziel zu gelangen. In Allen (1999a) wird zudem ergänzt, dass während dieser Wegfindungsprozesse eine unbekannte Umgebung in die kognitive Karte integriert werden kann.

Fallah, Apostolopoulos, Bekris und Folmer (2013, S. 21 f.) betonen, dass die Wegfindung auf der Distanzabschätzung und Orientierung relativ zu einem oder mehreren Referenzpunkten in der Umgebung basiert. In diesem Zusammenhang ist der Sehsinn der wichtigste Wahrnehmungskanal, da hierdurch Landmarken identifiziert und daraufhin in der kognitiven Karte verankert werden können. Weiterhin verlassen sich Personen während der Wegfindung auf eine symbolische räumliche Information, die sie durch Rezeption der Umgebung wahrnehmen (Raubal, 2000, S. 366). Auch dies geschieht hauptsächlich visuell. Aus diesem Grund wird in meiner Arbeit die Analyse des Blickverhaltens einer Person während der Wegfindung mit einem Assistenzsystem analysiert.

In Selvi et al. (2016, S. 3) und Delikostidis, van Elzakker und Kraak (2015, S. 197) werden zudem vier Phasen der Fußgänger-Navigation aufgezeigt, die bei der Implementierung eines Navigationssystems berücksichtigt werden sollten. Zunächst muss eine initiale Geo-Identifikation erfolgen, bei der sich die Wegfinder einen Überblick über die Route verschaffen. Daraufhin wird der Zielpunkt festgestellt und eingeordnet. Nach diesen Phasen, die primär der Vorbereitung der Navigation dienen, findet die eigentliche Wegfindung statt, wobei während dieser eine permanente „Routen-Kontrolle“ erfolgt. Schließlich muss die Navigation dadurch abgeschlossen werden, dass die Fußgänger abgleichen, ob der erreichte Ort der Zielpunkt ist.

In diesem Zusammenhang wird die Aufgabe der Routenplanung als Teil der Wegfindung vom Navigationssystem übernommen (Münzer & Stahl, 2011, S. 283). Die initiale Orientierung ist eine kognitiv herausfordernde Aufgabe, die beispielsweise auch viel visuelle Aufmerksamkeit erfordert. Demnach sollte zu Beginn der Wegfindung eine andere Form der Assistenz angeboten werden als während der Routen-Kontrolle (Schnitzler et al., 2016, S. 91). Meine Studien untersuchen, wie die Routen-Kontrolle unterstützt werden kann. Diese Phase bildet den Kern einer Wegfindung und kann in verschiedenen Umgebungen stattfinden. Weiterhin können auch unterschiedliche Nutzereigenschaften einen Einfluss auf die Effizienz der Wegfindung haben. Diese sind im Folgenden beschrieben.

## 2.3 Einflussfaktoren auf die Wegfindung

Jegliche Wegfindungsaufgabe kann in sehr unterschiedlichen Situationen stattfinden. Insbesondere der Ort der Navigation kann einen großen Einfluss darauf haben, welche Informationen zur Verfügung stehen, um eine Person an ihr Ziel zu führen.

Grundsätzlich kann zwischen bebautem und natürlich entstandenem Raum unterschieden werden (Montello & Sas, 2006, S. 2004 f.): Natürlich gewachsene Umgebungen sind normalerweise nicht sehr strukturiert, da sie viele irreguläre Formen enthalten. Künstlich entstandene Räume können sich sehr stark im Aufbau unterscheiden, jedoch sind sie zumeist deutlich strukturierter und symmetrischer. Die Navigation in bebauten Räumen bezieht sich nicht nur auf die Wegfindung innerhalb von Städten. In diesen Gebieten bestimmen Straßen die möglichen Pfade der Navigierenden. Im bebauten Raum stellt zudem die Wegfindung in Innenbereichen eine große Herausforderung dar. Bezüglich des Innenraums stellte Weisman (1981, S. 192 ff.) fest, dass die Einfachheit respektive Komplexität einen sehr großen Einfluss auf die Fähigkeit von Personen hat, sich innerhalb von Gebäuden zu orientieren. Jedoch existiert kein festgelegtes Regelwerk, das es ermöglicht, die Komplexität eines Innenbereichs zu klassifizieren. Weisman (1981, S. 194) berücksichtigt beispielsweise die Gestaltgesetze, insbesondere die Eigenschaften der „guten Form“. Darunter fallen die Symmetrie und der regelbasierte Aufbau des Raumes. Dennoch bleibt die Frage offen, welche Layout-Elemente bei der Rezeption des Raumes als kompliziert erachtet werden. Weiterhin ist zu beachten, dass der Aufbau eines Innenraumes einen Einfluss darauf hat, wie gut sichtbar eine bestimmte Entscheidungssituation während der Navigation ist (Montello & Sas, 2006, S. 2005). Je kürzer die Sichtlinie der Person ist und je schlechter sichtbar Objekte entlang der Route sind, desto schwieriger wird es, die Orientierung aufrechtzuerhalten. Diese Einschränkung wird auch in der Landmarken-Literatur als Einflussfaktor auf die Auffälligkeit eines Objektes diskutiert (siehe z. B.: Raubal & Winter, 2002).

Allerdings ist ein symmetrischer und gut vorhersehbarer Aufbau nicht immer förderlich für die Wegfindung. Je gleichförmiger und ähnlicher sich verschiedene Umgebungen sind, desto schwieriger ist es, die Orientierung zu bewahren. Ist die Umgebung jedoch sehr divers und ändert sich ständig, kann dies auch ablenkend wirken (Montello & Sas, 2006, S. 2005).

Ein Raum wird zudem als komplex wahrgenommen, wenn keine Wegfindungshinweise wie beispielsweise Schilder oder besondere architektonische Eigenschaften in der Umgebung vorhanden sind. Es sollte außerdem berücksichtigt werden, ob diese Hinweise gut geeignet sind (Raubal & Egenhofer, 1998, S. 901 f.). Schlecht platzierte Schilder können beispielsweise bei der Wegfindung hinderlich sein (Gartner & Radoczky, 2006, S. 382). Auch können Schilder fehlen, sodass eine Orientierung erschwert ist (Schnitzler et al., 2016, S. 86). Wenn jedoch eine geeignete Beschilderung vorhanden ist, werden weitere Hilfen wie Karten weniger häufig konsultiert (Hölscher, Büchner, Brösamle, Meilinger & Strube, 2007, S. 380 f.).

Wegfinder haben zudem oft bereits mentale Modelle über den räumlichen Aufbau eines Raumes und stützen sich auf diese Repräsentation (Münzer & Stahl, 2011, S. 304). Dies ist im Innenbereich jedoch erschwert: Bezüglich des Aufbaus von Gebäuden existieren keine Konventionen, sodass sie sich hinsichtlich ihres Layouts, der Stockwerksanordnung,

der Einrichtung und der Höhe der Räume und somit ihrer visuellen Zugänglichkeit stark unterscheiden können (Karimi, 2011, S. 59). Die Umgebung kann sich zudem schnell ändern. So können sich beispielsweise zeitweise viele Personen in einem bestimmten Raum aufhalten und durch ihr Verhalten ablenkend wirken oder die Sicht auf Objekte versperren (Nurmi et al., 2011, S. 33). Auch können unterschiedliche Lichtverhältnisse einen Einfluss auf die Rezeption ausüben (Afyouni, Ray & Christophe, 2012, S. 86).

Eine der wichtigsten Einteilungen des Raumes ist die, ob die Route Entscheidungspunkte enthält und wie diese strukturiert sind. Ein Entscheidungspunkt bietet mehr als eine Möglichkeit, den Weg fortzusetzen, wodurch Unsicherheiten entstehen können und vermehrt Aufmerksamkeit gebunden wird (Schnitzler et al., 2016, S. 86). Je mehr Abbiegungen ein Entscheidungspunkt beinhaltet, desto mehr Fehler passieren während der Wegfindung (Allen, 1999a, S. 558). Der Branching-Faktor, also die Möglichkeiten, den Weg fortzusetzen, inklusive der Rückrichtung, wird als einer der wichtigsten Faktoren angeführt, der die Komplexität eines Entscheidungspunkts beeinflusst (Giannopoulos, Kiefer, Raubal, Richter & Thrash, 2014, S. 228). Im Innenbereich binden Entscheidungspunkte während einer Wegfindungsaufgabe vermehrt visuelle Ressourcen (Schnitzler et al., 2016, S. 91). Komplexe Entscheidungspunkte treten innerhalb von Gebäuden vermehrt in Hallen auf (Karimi, 2011, S. 61). Je höher die Anzahl der Abbiegungen einer Route, desto häufiger wird eine falsche Richtung eingeschlagen und desto länger benötigt eine Person für die Wegfindungsaufgabe (O'Neill, 1992, S. 324 f.).

Auf Seiten der Nutzer wurden bereits viele Eigenschaften identifiziert, die einen Einfluss auf die Wegfindung haben können. Neben den grundlegenden kognitiven Möglichkeiten einer Person (Kato & Takeuchi, 2003, S. 173) existieren auch räumliche Wahrnehmungsfähigkeiten, die die Wegfindung beeinflussen können. So spielt beispielsweise der Orientierungssinn einer Person eine wesentliche Rolle dabei, ob Probanden eine absolvierte Route in ihre kognitive Karte integrieren können (Münzer & Stahl, 2011, S. 287). In Bienk, Kattenbeck, Ludwig, Müller und Ohm (2013) wird aufgezeigt, dass Nutzer abhängig von ihrem Orientierungssinn unterschiedliche Darstellungsformen von Wegfindungsinformation bevorzugen. Personen mit einem eher unterdurchschnittlich ausgeprägten Orientierungssinn machen zudem mehr Navigationsfehler (Padgitt & Hund, 2012, S. 169). Weiterhin führt ein besserer Orientierungssinn dazu, dass weniger kognitive Belastung während der Wegfindung erlebt wird (Pielot & Boll, 2010, S. 901) und Probanden weniger Angst haben, sich zu verlaufen (Hund & Padgitt, 2010, S. 562). Personen mit einem guten Orientierungssinn kommen zudem mit Anweisungen, die Himmelsrichtungen enthalten, besser zurecht (Hund & Nazarczuk, 2009, S. 155), auch wenn diese Form der Routenbeschreibung im Innenbereich insgesamt eher ungeeignet ist (Münzer & Stahl, 2011, S. 287).

Weiterhin bildet die Vorerfahrung der Nutzer bezüglich des Raums einen wichtigen Einflussfaktor (Tversky et al., 2007, S. 56): Die Kenntnis der Umgebung beeinflusst, welche Route eine Person wählt. Personen mit weniger Ortskenntnis orientieren sich zudem stärker an auffälligen Objekten in einem Gebäude, jedoch sind diese auch für Probanden mit Ortskenntnis wichtige Wegfindungshilfen (Tenbrink, Bergmann & Konieczny, 2011, S. 1265). Durch die Vorerfahrung der Nutzer kann beispielsweise die kognitive Karte ausgeprägter sein und somit zur Wegfindung herangezogen werden (Hirtle & Bahm, 2015, S. 7). Personen mit geringer Ortskenntnis haben eine unvollständige kognitive Karte und

können somit eine Route nur unvollständig beschreiben (Lovelace, Hegarty & Montello, 1999, S. 68).

Ein weiterer Einflussfaktor kann in diesem Zusammenhang das Geschlecht der Wegfinder sein. Männer finden ihren Weg schneller mit metrischen Angaben als Frauen (Münzer & Stahl, 2011, S. 306). Es zeigt sich jedoch, dass in einem real-weltlichen Szenario keine Geschlechterunterschiede bei der landmarkenbasierten Navigation festzustellen sind (Saucier et al., 2002, S. 405). Teilweise ist zu beobachten, dass Frauen während der Wegfindung häufiger falsch abbiegen (Pielot & Boll, 2010, S. 90). Frauen sind zudem insgesamt unsicherer bei der Navigation und haben mehr Angst, sich zu verlaufen (Hund & Padgitt, 2010, S. 562).

Weiterhin kann der Zweck der Fortbewegung die Wegfindung beeinflussen (Tversky et al., 2007, S. 56). Touristen haben beispielsweise mehr Aufmerksamkeitsressourcen frei als Personen, die beruflich schnell ein Ziel erreichen wollen. Zeitdruck oder das Tragen von Gepäck können die Wegfindung zusätzlich behindern (Baus et al., 2002, S. 15). Zudem muss bezüglich des Fortbewegungsmittels differenziert werden. Fußgänger können deutlich mehr Objekte in ihrer Umgebung wahrnehmen, da sie sich im Vergleich zur Navigation mit dem Fahrrad oder dem Auto eher langsam fortbewegen (Millonig & Schechtner, 2007, S. 44). Auch kann der sichtbare Bereich aufgrund des Fortbewegungsmittels eingeschränkt sein (Caduff & Timpf, 2008, S. 259).

Darüber hinaus muss beachtet werden, dass ältere Personen oder Menschen mit Einschränkungen andere Hilfemittel benötigen könnten (Münzer, Zimmer, Schwalm, Baus & Aslan, 2006, S. 301 f.), da ihre sensorischen Fähigkeiten wie der Seh- und Hörsinn oder die Aufmerksamkeitsfähigkeit beeinträchtigt sein können (Tsetsos, Anagnostopoulos, Kikiras & Hadjiefthymiades, 2006, S. 466 f.). So haben Personen mit Demenz signifikante Einschränkungen bezüglich ihrer räumlichen Kognitionsfähigkeit (Passini, 1996, S. 329).

Neben der Struktur eines Gebäudes und Nutzereigenschaften, wie die räumliche Wahrnehmungsfähigkeit, hat auch die herangezogene Navigationshilfe einen wesentlichen Einfluss auf die Wegfindung (Hirtle & Bahm, 2015, S. 7). Es muss zum Beispiel unterschieden werden, ob das Assistenzsystem fest an einem bestimmten Standort installiert ist oder bei sich geführt werden kann (Gärling et al., 2013, S. 157). Bei Wegfindungshilfen kann zudem zwischen digitaler Assistenz und Anweisungen auf Papier differenziert werden. Schnitzler et al. (2016, S. 91) stellten in diesem Zusammenhang fest, dass mobile digitale Karten häufiger betrachtet werden als Papierkarten. In Goodman, Gray, Khammampad und Brewster (2004) zeigte sich aber auch, dass eine digitale Assistenz zu einer effizienteren Wegfindung führt. Bei digitalen Hilfen müssen im Allgemeinen die technischen Einschränkungen des Ausgabemediums berücksichtigt werden, wie beispielsweise die Netzwerkanbindung (Gartner, Bennett & Morita, 2007, S. 252). Auch die Umgebung kann grafische Wegfindungshilfen enthalten, wie Schilder oder Karten, die stationär an der Wand befestigt sind (Montello & Sas, 2006, S. 2005). Daneben existieren auch fest installierte digitale Hilfen, wie zum Beispiel Informationskioske, an denen die Wegfinder Routeninformationen abrufen können (Krüger, Baus & Butz, 2000, S. 92).

In Abbildung 2.2 sind die beschriebenen Einflussfaktoren auf die Wegfindung zusammengefasst. Dabei wird die Einteilung anhand der Umgebung, Nutzereigenschaften und der Art der Assistenz von Giannopoulos et al. (2014, S. 225) adaptiert und erweitert. Auf mögliche Darstellungsarten von Wegfindungsinformation wird in Kapitel 2.5 eingegan-

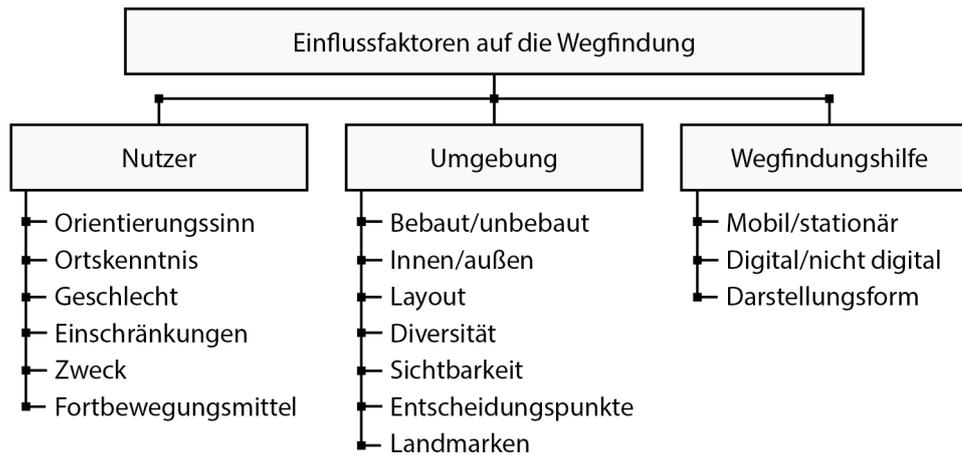


Abbildung 2.2: Einflussfaktoren auf die Wegfindung.

gen. Dabei werden insbesondere Kartendarstellungen betrachtet, da sie einen Schwerpunkt meiner Forschung bilden. Im folgenden Kapitel wird das bereits mehrfach erwähnte Konzept der Landmarken vertieft adressiert.

## 2.4 Landmarken

Wie bereits dargestellt, stehen auffällige Objekte in der Umgebung der Navigierenden im engen Zusammenhang mit der Wegfindung. Der kognitive Prozess der Landmarken-„Ansteuerung“ ist bei jeder Wegfindungsaufgabe relevant (Allen, 1999a, S. 555 ff.). Auch die Einteilung räumlichen Wissens in Landmarken-, Routen- und Überblickswissen nach Siegel und White (1975) zeigt auf, dass diese Objekte elementare kognitive Bausteine sind, die zur Lösung einer Wegfindungsaufgabe benötigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass eine gute Routenbeschreibung immer Landmarken enthalten sollte (siehe z. B.: Lovelace et al., 1999, S. 68). Aus diesem Grund werden diese Objekte auch in meiner Arbeit referenziert.

Im Folgenden wird zunächst auf das Konzept der Landmarken eingegangen und ihre Bedeutung für die Wegfindung dargestellt. Darüber hinaus werden unterschiedliche Methoden erörtert, wie diese Objekte ausgewählt werden können, um sie für die Wegfindungsassistenz einzusetzen.

### 2.4.1 Eigenschaften und Funktion

Der Landmarkenbegriff geht zurück auf Lynch (1960), der diese Objekte sowie Knotenpunkte, Pfade, Kanten und Distrikte als wesentliche Elemente identifizierte, die eine Stadt und ihre Wahrnehmung beeinflussen. In seiner Definition kann eine Landmarke<sup>2</sup> jedes beliebige Objekt sein: „A landmark is not necessarily a large object; it can be a doorknob as well as a dome.“(Lynch, 1960, S. 101)

<sup>2</sup>In meiner Arbeit übersetze ich den englischen Begriff „landmark“ mit „Landmarke“ und verwende ihn bedeutungsgleich. In diesem Zusammenhang wäre beispielsweise auch eine Unterscheidung in der Übersetzung zwischen „Wegmarken“ und „Landmarken“ wie in Janzen (2000, S. 15) denkbar.

In neueren Definitionen sind Landmarken im Kontext der Wegfindung unbewegliche, eindeutige und auffällige Objekte, die dazu dienen können, die Umgebung mental zu strukturieren und sich selbst zu verorten (Golledge, 1999, S. 17 ff.; Sorrows und Hirtle, 1999, S. 37).

Landmarken haben in Navigationsanweisungen demnach mehrere Aufgaben: Neben der Funktion als Bezugspunkte (Caduff & Timpf, 2008, S. 255) unterstützen sie die Selbstverortung und Orientierung während der Wegfindung (Klippel & Winter, 2005, S. 348). Sie helfen dabei, eine Aktion auszuführen, die notwendig ist, um auf der vorgesehenen Route zu bleiben oder Personen mitzuteilen, dass sie noch auf dem richtigen Weg sind (Duckham, Winter & Robinson, 2010, S. 30). Sie dienen somit als Referenzpunkte und helfen dabei, Entscheidungspunkte zu lokalisieren (Millonig & Schechtner, 2007, S. 44). Zudem unterstützen sie die Bildung einer visuellen mentalen Repräsentation des Raumes (Daniel & Denis, 2004, S. 72). Sie können demnach zusammenfassend entweder als Orientierungshilfe genutzt werden oder zur Strukturierung des Raumes dienen (Sorrows & Hirtle, 1999, S. 40).

Landmarken müssen leicht zu erkennen und spezifisch sein, insbesondere im Vergleich zu anderen Objekten in der Umgebung (Caduff und Timpf, 2008, S. 253 ff.; Millonig und Schechtner, 2007, S. 44). Im Allgemeinen kann jede Charakteristik der Umwelt, die gut zu erkennen und in einer Szene auffällig ist, als Landmarke dienen (Caduff und Timpf, 2008, S. 254; Millonig und Schechtner, 2007, S. 46; Presson und Montello, 1988, S. 378).

Die Bedeutung von Landmarken für die Wegfindung wurde neben den Überlegungen von Allen (1999a) (siehe Kapitel 2.2) bereits mehrfach empirisch untersucht: Routenanweisungen, die Landmarken referenzieren, führen im Außenbereich zu einer effektiveren und effizienteren Aufgabenbewältigung als die Wegfindung anhand von Straßennamen (Tom & Denis, 2003, S. 368). Die Darstellung auffälliger Objekte reduziert zudem die kognitive Belastung während der Wegfindung (Goodman et al., 2004, S. 45). Landmarkenbasierte Anweisungen werden deutlich besser bewertet als solche, die Himmelsrichtungen referenzieren oder lediglich „rechts-links“-Angaben machen (Padgitt & Hund, 2012, S. 167). Auch sind Probanden zufriedener mit Anweisungen, die Landmarken enthalten, verglichen mit Beschreibungen, die nur Distanzen wiedergeben (Ross, May & Thompson, 2004, S. 301). May, Ross, Bayer und Tarkiainen (2003, S. 335) zeigten auf, dass über 70 % aller verwendeten Informationseinheiten, die zur Erklärung einer Route herangezogen werden, Landmarken referenzieren. Dies trifft sowohl dann zu, wenn Personen eine Route aus dem Gedächtnis beschreiben, als auch, wenn die Erfassung in situ erfolgt.

Landmarken sind vermutlich die wichtigste Art räumlicher Information, da sie dazu verwendet werden können, die Umgebung zu beschreiben, zu verstehen und Schlüsse bezüglich des Raums zu ziehen (Caduff & Timpf, 2008, S. 259 f.). Die wichtigste Eigenschaft einer Landmarke ist ihre Salienz (Caduff & Timpf, 2008, S. 259), die vereinfacht gesprochen ihre Auffälligkeit beschreibt.<sup>3</sup> Teilweise werden Aspekte der Salienz auch als „Landmarkness“ bezeichnet (Klippel & Winter, 2005, S. 348). Die Salienz setzt sich aus mehreren Bestandteilen zusammen und wird durch verschiedene Faktoren bedingt, die im Folgenden aufgezeigt werden.

Sorrows und Hirtle (1999) identifizieren drei wesentliche Merkmale von Landmarken. Dabei sind zum einen visuelle Eigenschaften wichtig, die auch den Kontrast zur Umge-

<sup>3</sup>In meiner Arbeit wird eine Landmarke vereinfacht auch als „auffälliges Objekt“ bezeichnet.

bung und die Bedeutung des Standortes beinhalten. Weiterhin können Objekte kognitiv salient sein, das heißt, sie haben für die Wegfinder eine Bedeutung, da sie das Objekt beispielsweise durch Vorerfahrungen kennen oder der Landmarke einen persönlichen Wert zuordnen. Zuletzt ist die strukturelle Salienz ein wichtiger Einflussfaktor. Wenn die Landmarke eine wichtige Position in der Umgebung einnimmt, ist sie auch für die Wegfindung relevanter. Objekte, die prototypisch für eine bestimmte Objektkategorie sind, werden weiterhin als sehr salient wahrgenommen. Die kognitive Salienz wird in anderen Forschungsarbeiten auch als semantische Salienz bezeichnet (siehe z. B.: Duckham et al., 2010, S. 30). Bezüglich der strukturellen Salienz fügen Klippel und Winter (2005, S. 347) hinzu, dass diese besonders stark ausgeprägt ist, wenn das Objekt sprachlich einfach in einer Routenanweisungen referenziert werden kann. Winter (2003) führt zudem die Sichtbarkeit von Weitem als zusätzliche Dimension der Salienz ein und betont dadurch, wie wichtig es ist, dass eine Landmarke visuell rezipiert werden kann.

Burnett, Smith und May (2001, S. 445) stellten in einer empirischen Studie fest, dass die „Langlebigkeit“ einer Landmarke wichtig ist. Objekte, die potenziell dauerhaft an ihrem Standort bestehen bleiben, werden präferiert. Eine weitere identifizierte Eigenschaft ist, dass das Objekt gut sichtbar sein muss. Zudem haben Landmarken die Charakteristik, einzigartig zu sein. Dabei sind diese entweder durch ihr Aussehen gut von anderen Objekten zu unterscheiden oder befinden sich an einem Standort, an dem keine weiteren ähnlichen Landmarken positioniert sind. Objekte, die nahe an einem Entscheidungspunkt liegen, werden darüber hinaus vermehrt gewählt. Weiterhin sind Objekte, die einfach zu beschreiben sind, besser geeignet, um eine Route zu erklären.

Im Modell nach Caduff und Timpf (2008) ist die Salienz keine inhärente Eigenschaft eines Objekts, sondern entsteht aus der Beziehung des Beobachters, der Umgebung und des Objekts. Weiterhin muss das Objekt zunächst perzeptuell wahrnehmbar sein, sei es durch seine Eigenschaften wie Farbe und Form oder durch seine Position innerhalb der Umgebung (perzeptuelle Salienz). Insbesondere wenn die Navigierenden keine Ortskenntnis haben, sollten perzeptuelle Eigenschaften in Routeninstruktionen referenziert werden (Caduff & Timpf, 2008, S. 250). Die Wichtigkeit der perzeptuellen Salienz variiert somit sehr mit der Erfahrung der Personen bezüglich der Umgebung. Folglich umfasst ein weiterer Aspekt der Salienz die kognitiven Fähigkeiten und das bereits vorhandene räumliche Wissen der Wegfinder (kognitive Salienz). Es wird davon ausgegangen, dass Objekte, die bereits bekannt sind, besser erkannt werden, als solche, die noch nicht Teil der mentalen Repräsentation der Umgebung der Navigierenden sind (Caduff & Timpf, 2008, S. 257). Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die perzeptuellen Möglichkeiten der Wegfinder ist der Kontext der Fortbewegung (Caduff & Timpf, 2008, S. 251). Die kontextuelle Salienz beinhaltet unter anderem, dass die kognitiven Ressourcen von Fußgängern im Vergleich zur Fortbewegung mit beispielsweise einem Auto nicht wesentlich gebunden sind und der begehbbare Bereich zudem nicht durch ein Straßennetz eingeschränkt ist. Auch variiert hierdurch das Sichtfeld, das die Identifikation und Wahrnehmbarkeit von Landmarken bestimmt (Caduff & Timpf, 2008, S. 259). Der Navigationskontext, also die Umstände und der Zweck der Fortbewegung, spielt demnach eine weitere wichtige Rolle, der die Salienz eines Objekts beeinflusst. Weiterhin wird die Relation von Objekt und Routenverlauf als aufgabenbasierter Kontext definiert. Folglich ist die relative Lage des Objekts zur Route ein wesentlicher Bestandteil der Salienz (Caduff & Timpf, 2008, S. 258).

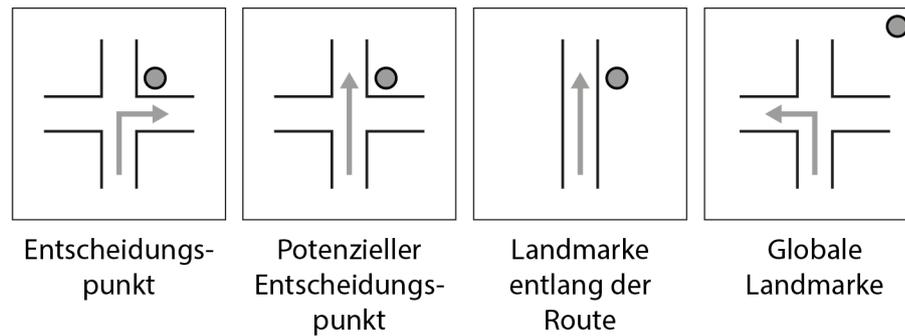


Abbildung 2.3: Mögliche Landmarken-Positionen nach Lovelace et al. (1999, S. 72) und Anacta et al. (2016, S. 4).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Perzeption, die Kognition und der Kontext nach Caduff und Timpf (2008) die wesentlichen Aspekte darstellen, die die Salienz eines Objektes bedingen. Diese Eigenschaften überschneiden sich zu großen Teilen mit der visuellen, kognitiven und strukturellen Auffälligkeit nach Sorrows und Hirtle (1999). In Nuhn und Timpf (2018) wird zudem vorgeschlagen, persönliche Vorkenntnisse und Vorlieben der Wegfinder explizit in das Modell einfließen zu lassen.

Häufig werden Landmarken bezüglich ihrer Position entlang der Route kategorisiert. Diese Eigenschaft ist Bestandteil der perzeptuellen Salienz im Modell nach Caduff und Timpf (2008). Dabei unterscheiden Lovelace et al. (1999, S. 72) vier Standorte: Zunächst kann ein Objekt an einem Entscheidungspunkt liegen. Dabei kann zwischen einem „echten“ oder einem potenziellen Entscheidungspunkt differenziert werden. Hierbei besteht der Unterschied darin, dass ein potenzieller Entscheidungspunkt keine Änderung der Richtung von den Wegfindern verlangt, jedoch mehrere Möglichkeiten bestehen, den Weg fortzusetzen. Weiterhin werden Landmarken entlang der Route und abseits der Route unterschieden. Erstere befinden sich nicht an einem Entscheidungspunkt. Letztere sind zu meist nicht sichtbar und liegen weit entfernt von der eigentlichen Route. Landmarken, die abseits der Route liegen, werden auch globale Landmarken genannt, wohingegen alle anderen als lokale Objekte eingeordnet werden (Anacta, Schwering, Li und Muenzer, 2016, S. 4; Raubal und Winter, 2002, S. 245). Eine Übersicht der Positionen ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

Die Position ist eine wichtige Eigenschaft einer Landmarke. Hierzu wurden bereits mehrere Untersuchungen durchgeführt, insbesondere im Außenbereich. Michon und Denis (2001, S. 298) zeigten beispielsweise auf, dass besonders am Anfang und am Ende einer Route Landmarken von Probanden vermehrt genannt werden. Sie stellten zudem fest, dass an potenziellen und „echten“ Entscheidungspunkten häufiger auffällige Objekte referenziert werden (Michon & Denis, 2001, S. 299).

Auch May et al. (2003) teilen auffällige Objekte anhand ihrer Position ein. Dabei wird unterschieden, ob sich eine Anweisung auf einen Entscheidungspunkt bezieht oder entlang der Route gegeben wird. Landmarken an potenziellen Entscheidungspunkten werden als eher unwichtig eingestuft. Die Studie zeigte zudem auf, dass circa zwei Drittel aller Anweisungen an Punkten gegeben werden, die eine Richtungsänderung erfordern (May et al., 2003, S. 334 f.). Auch Denis, Pazzaglia, Cornoldi und Bertolo (1999, S. 154) gehen davon aus, dass Landmarken hauptsächlich an Entscheidungspunkten benötigt werden.

Lovelace et al. (1999) stellten jedoch fest, dass Testpersonen zur Beschreibung einer unbekannt Route relativ viele Landmarken entlang der Route und an potenziellen Entscheidungspunkten verwendeten. Weiterhin wurde die Qualität von Routenanweisungen, die diese Art von Landmarken enthielten, besser bewertet (Lovelace et al., 1999, S. 78).

An einem Entscheidungspunkt, also beispielsweise einer Plus-Kreuzung, wurde von Röser, Krumnack, Hamburger und Knauff (2012, S. 85) aufgezeigt, dass die Positionen in Bewegungsrichtung der Abbiegung präferiert werden, falls eine Karte als Wegfindungshilfe verwendet wird. Für eine egozentrische Perspektive wird davon ausgegangen, dass die Sichtbarkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Landmarkenauswahl hat. Dies führt dazu, dass Objekte auf der anderen Seite der Kreuzung präferiert werden, da sie im Sichtfeld der Nutzer liegen (Röser et al., 2012, S. 86 f.).

In Anacta et al. (2016, S. 4) werden Landmarken zusätzlich hinsichtlich ihrer Funktion bei der Wegfindung klassifiziert. Dabei wird hauptsächlich zwischen Orientierungslandmarken und solchen, die eine Aktion der Nutzer erfordern, unterschieden. Orientierungslandmarken sind Objekte, die an potenziellen Entscheidungspunkten, entlang oder abseits der Route liegen und somit keine Änderung der Bewegungsrichtung erfordern. Solche Landmarken dienen häufig dazu, zu bestätigen, dass eine Person noch auf dem richtigen Weg ist (May et al., 2003, S. 337). Orientierungslandmarken werden von Wegfindern gewünscht und verbessern die Qualität einer Navigationsanweisung (Lovelace et al., 1999, S. 78). Zudem werden solche Objekte häufig in Routenbeschreibungen referenziert (Anacta et al., 2016, S. 13).

Bezüglich der Art der Objekte, die als Landmarke dienen können, besteht eine große Diversität. Für den Außenbereich identifizierten May et al. (2003, S. 333) 40 verschiedene Landmarkenkategorien, darunter beispielsweise Gebäude, Ampeln und Brücken. Nur ein sehr geringer Anteil an Objekten wird von allen Personen zur Routenbeschreibung herangezogen, wohingegen die Anzahl an unterschiedlichen Objekten sehr hoch ausfällt (Lovelace et al., 1999, S. 74). Am häufigsten werden in einer Routenanweisung für den Außenbereich jedoch Gebäude oder Schilder als Bezugspunkte verwendet (Ishikawa & Nakamura, 2012, S. 10). Soweit vorhanden, sollten Landmarken mit ihrem spezifischen Namen, zum Beispiel dem Namen eines Geschäfts, benannt werden (May et al., 2003, S. 337 f.). Auffällige Objekte sollten nicht mit Points-of-Interest gleichgesetzt werden (Nothegger, Winter & Raubal, 2004, S. 114). Touristen beispielsweise folgen einer Sequenz von interessanten Punkten wie Museen, Kunstwerken oder Geschäften. Diese sind aber nicht unbedingt für die Wegfindung notwendig. Demnach können Landmarken zwar mit Points-of-Interest überlappen, jedoch ist das nicht zwingend der Fall (Caduff & Timpf, 2008, S. 258). Eine Landmarke dient der Wegfindung und ist nicht notwendigerweise von Interesse für den Nutzer. Die Einteilung der unterschiedlichen Saliens-Faktoren von Sorrows und Hirtle (1999) zeigt jedoch, dass eine persönliche Bedeutung die Auffälligkeit von Objekten steigern kann.

Im Allgemeinen können Landmarken punktartig sein (zum Beispiel Statuen) oder eine gewisse Ausdehnung aufweisen wie Parkplätze. Weiterhin können sie sich wie eine „Linie“ entlang des Weges erstrecken, wie beispielsweise ein Fluss (Furlan, Baldwin & Klippel, 2007, S. 12). Schroder, Mackaness und Gittings (2011, S. 433) teilen Landmarken im Außenbereich nach „natürlichen“ und „menschengemachten“ ein. Im Inneren von Gebäuden sind alle Objekte künstlich erzeugt. Es stellt sich somit die Frage, welche Umge-

bungselemente in diesem Bereich als Bezugspunkte dienen können.

In Miller und Carlson (2011) wurde in einer kontrollierten Laborstudie ein virtueller Innenraum modelliert, der Objekte wie Uhren, Statuen und Stühle in verschiedenen Konstellationen präsentierte. Die Ergebnisse zeigten auf, dass Objekte, die perzeptuell salienter sind, mit höherer Wahrscheinlichkeit wiedererkannt werden. Diese Eigenschaft ist somit entscheidend für die Eignung eines Objekts als Landmarke im Innenbereich. Weiterhin wurde festgestellt, dass, sofern ein Objekt an einem Entscheidungspunkt liegt, es mit höherer Wahrscheinlichkeit in eine Routenbeschreibung aufgenommen wird. Diese Ergebnisse decken sich somit mit den Ergebnissen der Studien, die im Außenbereich durchgeführt wurden. In real-weltlichen Untersuchungen zeigte sich, dass auch im Innenraum sehr unterschiedliche Objekten als Landmarke dienen können. Diese umfassen unter anderem:

- Treppen (Krisp et al., 2015, S. 39; Radoczky, 2007, S. 304; Sefelin et al., 2005, S. 288)
- Rolltreppen (Millonig und Schechtner, 2007, S. 44; Radoczky, 2007, S. 304; Sefelin et al., 2005, S. 288)
- Schilder (Millonig und Schechtner, 2007, S. 44; Möller et al., 2014, S. 456)
- Geschäfte (Fontaine und Denis, 1999, S. 87; Sefelin et al., 2005, S. 288)
- Aufzüge (Krisp et al., 2015, S. 39; Radoczky, 2007, S. 304)
- Gänge (Fontaine & Denis, 1999, S. 87)
- Toiletten (Krisp et al., 2015, S. 39)
- Uhren, Statuen (Millonig & Schechtner, 2007, S. 44)
- Feuerlöscher, Vitrinen (Möller et al., 2014, S. 456)
- Poster, Fenster, Türen, Pflanzen (Viaene, Ooms et al., 2014, S. 55)
- Büros, Aufenthaltsräume (Karimi, 2011, S. 71)

Viaene, Ooms et al. (2014, S. 55 f.) zeigten auf, dass besonders Treppen und Türen in diesem Kontext geeignet sein könnten. Welche Objekte Personen bei der Wegfindung im Innenraum besonders unterstützen, ist jedoch noch relativ unerforscht.

Nachdem die grundlegenden Eigenschaften von Landmarken dargestellt wurden, wird im Folgenden aufgezeigt, wie diese Objekte ausgewählt werden können.

### 2.4.2 Auswahl

Um Landmarken für Routenbeschreibungen heranziehen zu können, müssen zunächst geeignete Objekte identifiziert werden. Richter (2017, S. 136) zeigt in diesem Zusammenhang verschiedene Vorgehensweisen auf. Er unterscheidet dabei merkmalsbasierte Methoden, bei denen aus vorhandenen Datensätzen anhand von vordefinierten Merkmalen Objekte abgeleitet werden. Weiterhin kann die Auswahl anhand von bestimmten Objektkategorien erfolgen. Darüber hinaus kann durch die Analyse nutzergenerierter Daten, wie beispielsweise Bilddatensätzen, auf geeignete Objekte geschlossen werden. Hierbei ist auch denkbar, durch die Beobachtung des Nutzerverhaltens darauf zu schließen, welche Landmarken referenziert werden können. Zuletzt können Probanden Landmarken während der Navigation in situ erheben.

Insbesondere merkmalsbasierte Vorgehensweisen sind in der Forschung weit verbreitet: In Raubal und Winter (2002) und Nothegger et al. (2004) wird eine Methode vorgestellt, die Salienz eines Objektes automatisch zu bestimmen. Dabei wird auf die drei Dimensionen nach Sorrows und Hirtle (1999) eingegangen (siehe Kapitel 2.4.1). Die visuelle Salienz wird beispielsweise anhand der Fassadengröße sowie der Form und der Farbe eines Gebäudes gemessen. Die kulturelle und historische Bedeutung als Teil der semantischen Salienz wird mithilfe von Datenbanken, die wichtige Bauwerke führen, annotiert. Die strukturelle Salienz errechnet sich unter anderem aus dem Branching-Faktor eines Knotenpunktes. Alle Faktoren können zudem gewichtet werden. Für diese Berechnungen wird auf Vermessungsamtsdaten, Datenbanken bezüglich der kulturellen Wichtigkeit eines Objekts, die „Gelben Seiten“ sowie georeferenzierte Panoramabilder zurückgegriffen.

Auch Elias (2003) verwendete Landesvermessungsamtsdaten und berechnete die Geometrie und den Typ eines Gebäudes. Zudem wurden neben der Form auch der Zweck eines Gebäudes sowie dessen Lage zu anderen Objekten berücksichtigt (Elias & Brenner, 2005, S. 474). Der automatischen Berechnung wurden weitere Kriterien hinzugefügt, wie beispielsweise die Position des Objektes auf der Route (Elias & Sester, 2006, S. 384 ff.). Auch Landmarken entlang der Route wurden identifiziert (Elias, Paelke & Kuhnt, 2005). Der Fokus dieser Vorgehensweise lag dabei eindeutig auf der Identifikation von geeigneten Gebäuden.

Ebenso erstellten Caduff und Timpf (2008) ein Framework zur Berechnung der Salienz eines Objektes und somit zur Tauglichkeit als Landmarke. Wie bereits beschrieben gehen die Autoren davon aus, dass die Auffälligkeit eines Objekts aus der perzeptuellen, der kognitiven sowie der kontextuellen Salienz zusammengesetzt ist (siehe Kapitel 2.4.1). Diese wiederum bestehen aus mehreren Subdimensionen, die messbar sind: So kann die perzeptuelle Salienz beispielsweise anhand der Farbe, Textur, Größe und Form sowie der Lage des Objekts bestimmt werden. Die kognitive Auffälligkeit ist zum Beispiel für Objekte mit einem hohen Wiedererkennungswert sehr hoch ausgeprägt und die kontextuelle Salienz wird durch die Aufgabenangemessenheit bestimmt. Für letztere wird die Relation zwischen Pfad und Objekt herangezogen, da die Hauptaufgabe einer Landmarke im Kontext der Wegfindung darin besteht, den Pfad zu verdeutlichen (Caduff & Timpf, 2008, S. 258 f.). Die Autoren schlagen vor, diese Komponenten anhand eines Bayesschen Netzwerks zu modellieren und somit die Abhängigkeiten der verschiedenen Dimensionen zu berücksichtigen sowie auf diese schließen zu können.

Darüber hinaus wird von Delikostidis et al. (2013, S. 528 f.) diskutiert, Landmarken durch die Verwendung von dreidimensionalen Stadtmodellen zu erheben, indem berechnet wird, welche Objekte von einem bestimmten Standort aus sichtbar sind.

Zu den kategoriebasierten Vorgehensweisen gehört beispielsweise das Modell von Duckham et al. (2010), die vorschlagen, Points-of-Interest als Landmarken heranzuziehen. Dabei werden unterschiedliche Point-of-Interest-Kategorien gewichtet sowie deren Lage an der Route berücksichtigt.

In Fellner, Huang und Gartner (2017) wurde ein ähnlicher Ansatz für den Innenbereich diskutiert. Dabei wurden als Kategorien zum Beispiel Treppen und Seminarräume definiert. Diese wurden daraufhin durch Experten wie die Personen, die in einem Gebäude arbeiten, bezüglich ihrer Salienz bewertet (Fellner et al., 2017, S. 7). Auch von Ludwig, Müller und Ohm (2014) wurden zur Berechnung der Salienz von Landmarken im Innen-

bereich die Kategorie eines Objekts (Geschäft, Schild, etc.) sowie dessen Position herangezogen. Weiterhin können Nutzerbewertungen in das Modell einfließen.

Weitere Vorgehensweisen versuchen, aus vorhandenen, von Nutzern generierten Datenbeständen automatisch Objekte zu identifizieren. Wither, Au, Rischpater und Grzeszczuk (2013) beispielsweise stellten einen Ansatz vor, aus Panoramabildern automatisch Landmarken zu extrahieren. Der Fokus lag dabei darauf, Schilder an Gebäuden zu finden und zu referenzieren. Weiterhin wurde zum Beispiel in Götze und Boye (2016) vorgeschlagen, anhand von zuvor beobachteten Nutzerverhalten, durch maschinelles Lernen auf geeignete Objekte zu schließen. Dabei wurden Faktoren wie der Objekttyp und die Art des Routensegments im Modell berücksichtigt.

Ein weiteres Vorgehen ist Objekte in situ zu erheben. Richter (2017, S. 136) bezieht sich in seiner Einteilung auf Methoden, Personen dazu zu motivieren, Objekte im Alltag zu erfassen. Ein Beispiel hierfür ist der spielbasierte Ansatz von Bell et al. (2009): Nutzer machen Fotografien, die daraufhin von anderen Spielern wiedergefunden werden müssen.

Da alle bereits beschriebenen Methoden, Landmarken zu erheben, umfassende Datenbestände benötigen, werden auffällige Objekte in der Forschung häufig experimentell gesammelt. Burnett et al. (2001, S. 443) unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen zwei Vorgehensweisen. Zum einen geben Probanden während sie eine Route direkt erleben, beispielsweise durch Betrachten eines Videos, Anweisungen. Zum anderen können Personen befragt werden, die bereits räumliches Wissen über die Umgebung haben. Hier kommen Menschen in Betracht, die zum Beispiel schon länger in einer Stadt leben.

Auch May et al. (2003, S. 332) diskutieren zwei Möglichkeiten, Landmarken mit Probanden zu erheben. Dabei zeigen sie ähnlich wie Burnett et al. (2001) einerseits die Möglichkeit auf, Versuchsteilnehmer eine Route aus dem Gedächtnis beschreiben zu lassen. Dadurch können relevante Wegfindungsformationen, die Teil der kognitiven Karte der Personen sind, abgefragt werden. Diese Methode ist jedoch sehr von subjektiven Erlebnissen vor dem Experiment abhängig. Als zweite Methode wird das direkte Ablaufen der Route mit der Testperson vorgeschlagen. Dadurch werden die Befragten der tatsächlichen Navigationsumgebung unmittelbar ausgesetzt. Der Nachteil hierbei besteht darin, dass äußere Einflüsse, wie die Tageszeit oder ein eingeschränktes Sichtfeld, die gewonnenen Daten beeinflussen können.

Zudem ist es gängig, Probanden eine Route beschreiben zu lassen, unmittelbar nachdem diese gemeinsam mit Testleitern abgelaufen wurde (siehe z. B. Lovelace et al., 1999, S. 71). Dabei können verbale, beziehungsweise textuelle Beschreibungen gesammelt werden. Weiterhin kann man die Befragten dazu auffordern, Kartenskizzen der Route – sogenannte „Sketch maps“ – anzufertigen, die als Externalisierungen des räumlichen Wissens angesehen werden können (siehe z. B.: Anacta, Wang & Schwering, 2014, S. 314 ff.).

Sefelin et al. (2005, S. 288 f.) schlagen unterschiedliche Methode vor, Landmarken im Innenbereich anhand von Nutzerstudien zu erheben. Die erste beinhaltet, dass Personen Objekte auf Fotos identifizieren. Hierzu wird das Bild für eine kurze Zeitspanne gezeigt und direkt danach müssen die Versuchsteilnehmer den Bereich des Fotos markieren, auf dem sich das für sie auffälligste Objekt befindet. Der größte Vorteil dieser Methode ist, dass diese Erhebung nicht erfordert, sich am Ort der Wegfindung aufzuhalten. Jedoch ist dieses Vorgehen stark von der Auswahl der Fotos abhängig. Die hierdurch gewonnen Landmarken sind beispielsweise von der Beleuchtungssituation und den auf dem Bild

sichtbaren Personen bestimmt. Ein ähnliches Vorgehen wurde von Raubal und Egenhofer (1998, S. 906) und Millonig und Schechtner (2007, S. 48) angewendet. Es ist somit relativ verbreitet. Die zweite Art, Landmarken für die Wegfindung zu identifizieren, ist nach Sefelin et al. (2005), Probanden Wegbeschreibungen formulieren zu lassen, während sie eine Route absolvieren (ähnlich wie bei May et al., 2003, S. 332). Hierdurch können situationspezifisch geeignete Objekte erhoben werden. Bei der dritten Methode, der sogenannten „Eye-Catcher-Detektion“, können sich die Testpersonen im Bereich, in dem später Navigationsanweisungen gegeben werden sollen, frei bewegen und umsehen. Nach dieser Phase sollen sie eine fixierte Anzahl an besonders auffälligen Objekten nennen. Hierdurch wird der Fokus auf die salientesten Elemente gelenkt. Da viele Objekte in den Studien von Sefelin et al. (2005) keine eindeutige Benennung erhielten, wurde eine weitere ergänzende Methode eingeführt. Bei dieser wird Testpersonen, die nicht vor Ort sein müssen, eine Auswahl an Fotografien zugeschickt. Anhand eines Telefoninterviews wird danach beispielsweise ermittelt, wie Personen die dargestellten Objekte benennen (Sefelin et al., 2005, S. 289).

Weiterhin kann die Erhebung von Landmarken in situ durch zusätzliche Messmethoden unterstützt werden. Viaene, Vansteenkiste, Lenoir, Wulf und Maeyer (2016) analysierten zusätzlich das Blickverhalten der Probanden mit einem Eye-Tracker. Sie gehen grundsätzlich davon aus, dass häufig fixierte Objekte auch als Landmarken geeignet sind. Eine ähnliche Vorgehensweise wende ich in meiner Vorstudie an, die in Kapitel 4 beschrieben ist. Kattenbeck (2016) entwickelte außerdem einen Fragebogen zur Messung der Salienz eines Objekts. Dieser sollte in situ eingesetzt werden, da die Nennung von auffälligen Objekten während einer (simulierten) Navigationsaufgabe einer echten Wegfindung am ähnlichsten ist (Kattenbeck, 2015, S. 3:2).

Nachdem vorgestellt wurde, wie wichtig Landmarken für die Wegfindung sind, welche Eigenschaften diese Objekte besitzen und wie sie potenziell erhoben werden können, wird im Folgenden aufgezeigt, wie Wegfindungsinformationen angezeigt werden können. Dabei wird insbesondere auf die Darstellungsmöglichkeiten von Kartenmaterial eingegangen, da diese Form der Anzeige meinen Forschungsschwerpunkt bildet.

## 2.5 Anzeigemöglichkeiten von Navigationsanweisungen

Generell werden Navigationsanweisungen dahingehend unterschieden, welchen Referenzierungsbezug sie haben. Dabei wird darauf eingegangen, welches räumliche Wissen adressiert wird. Dieses ist nach Siegel und White (1975, S. 24 ff.) in Landmarken-, Routen- und Überblickswissen unterteilt. Routen-Wissen kann durch eine Abfolge von Instruktionen unterstützt werden, wobei das Ziel der Wegfindung nicht bekannt sein muss. Die Instruktionen folgen zumeist dem Schema, eine Richtungsanweisung zu geben und diese eventuell zusätzlich mit Landmarken anzureichern (Prestopnik & Roskos-Ewoldsen, 2000, S. 179). In derartigen Anweisungen wird demnach auch Landmarken-Wissen adressiert. Diese Art der Referenzierung ist für die Erfüllung der Wegfindungsaufgabe entscheidend (Meilinger, Hölscher, Büchner & Brösamle, 2007, S. 384). Daniel und Denis (1998, S. 50) zeigten in einer empirischen Studie auf, dass eine Anweisung, die eine Aktion (zum Beispiel eine Richtungsangabe) sowie eine Landmarke referenziert, die häufigste Art der Routenbeschreibung darstellt.

Nach Montello und Sas (2006, S. 2006) präferieren manche Nutzer Sequenzen von Schritt-für-Schritt-Anweisungen, die mit Landmarken angereichert sind. Es gibt aber auch Wegfinder, die sich vermehrt auf Überblicksinformationen verlassen. In Padgitt und Hund (2012, S. 169) wurde jedoch festgestellt, dass Probanden im Innenbereich Routenbeschreibungen bevorzugen, die keine Überblicksinformationen wie Himmelsrichtungen oder Distanzen enthalten.

Weiterhin wird zwischen einer allozentrischen und einer egozentrischen Perspektive unterschieden (Butz, Baus, Krüger & Lohse, 2001, S. 26). Egozentrische Anweisungen beziehen sich explizit auf den Standort der Nutzer, wohingegen allozentrische Darstellungen eher Überblickswissen bieten (Denis, 2018, S. 62). Eine Karte beispielsweise zeigt eine symbolische visuelle Repräsentation der räumlichen Konfiguration eines Gebäudes in einer allozentrischen Perspektive an (Münzer & Stahl, 2011, S. 283).

In Kray et al. (2003, S. 118 ff.) wird ein Überblick möglicher Darstellungsarten von Navigationsanweisungen aufgeführt. Dabei werden fünf grundlegende Arten unterschieden und diskutiert:

**Textuelle und gesprochensprachliche Anweisungen:** Abhängig davon, ob die Navigierenden mit der Umgebung vertraut sind, können dabei Informationen weggelassen oder eingefügt werden. In diesem Zusammenhang müssen auch Aspekte wie die kognitive Belastung berücksichtigt werden. Weiterhin steht die Hypothese im Raum, dass komplizierte Textanweisungen mehr Zeit in Anspruch nehmen, um verstanden zu werden (im Vergleich zu zweidimensionalen Skizzen und Karten).

**Zweidimensionale Skizzen von Routen:** Diese Anzeigeart beinhaltet die abstrakteste Form der Darstellung. Dabei werden beispielsweise Pfeile abgebildet, die weiterhin mit zusätzlichen Beschriftungen, wie Straßennamen, versehen werden können. Durch diese sehr reduzierte Visualisierung können Fußgänger sich auf die zur Selbstverortung nötige Routendarstellung konzentrieren, da irrelevante Informationen weggelassen werden. Jedoch ist es bei dieser Anzeigeform auch möglich, dass Elemente fehlen, die notwendig sind, um die Wegfindungsaufgabe zu erfüllen.

**Zweidimensionale Karten:** Die häufigste Form der Darstellung von Navigationsinformation ist eine zweidimensionale Karte, die die zu absolvierende Route anzeigt. Diese bietet einen Überblick über die Umgebung der Nutzer, jedoch existieren bei dieser Form der Visualisierung einige Herausforderungen: Es ist wichtig, dass die Nutzer die Information „entschlüsseln“ können. Demnach sollte die Karte nur Elemente enthalten, die die Wegfinder dazu verwenden können, sich selbst zu verorten. Welche Informationen hierfür notwendig sind, ist jedoch eine offene Frage.

**Pseudorealistische Anweisungen:** Kray et al. (2003) ordnen unter dieser Anweisungsart dreidimensionale Darstellungen der Umgebung ein. Diese können unterschiedlich detailliert sein, sodass beispielsweise der Fokus auf Landmarken gelenkt werden kann. Die Autoren merken an, dass hierbei zu beachten ist, dass die Anzahl der angezeigten Landmarken einen Einfluss auf den Navigationserfolg haben kann. Eine Vielzahl von Objekten kann einerseits den Umgebungskontext klar machen, andererseits jedoch auch ablenkend wirken.

**Multimodale Anweisungen:** Prinzipiell ist eine Kombination aller der bereits genannten Anzeigemöglichkeiten denkbar. Welche Kombination sinnvollerweise angezeigt werden sollte, ist jedoch noch offen. Dabei ist es notwendig, dass die Nutzer die Darstellung interpretieren und die Objekte, auf die die Navigationsanweisung verweist, erkennen können.

Eine ähnliche Einteilung nehmen auch Gartner und Radoczky (2006, S. 388 ff.) vor. An dieser Stelle wird zudem zwischen dreidimensionalen Darstellungen und Fotografien der Umgebung unterschieden.

Nach Montello und Raubal (2013, S. 251) erfordert der Gebrauch einer symbolischen Wegfindungshilfe signifikante räumliche Kognitionsprozesse. Laut Kray et al. (2003, S. 123) benötigen textuelle und gesprochensprachliche Anweisungen sowie zweidimensionale Skizzen eher weniger kognitive Verarbeitungskapazität, wohingegen zweidimensionale Karten und dreidimensionale virtuelle Umgebungen kognitiv sehr beanspruchend sein können. Jedoch bieten nur Karten die Möglichkeit, den Kontext der Navigation, also die aktuelle Umgebung der Nutzer, anzuzeigen. Kray et al. (2003, S. 119 f.) schlagen darüber hinaus vor, bei geringer Information über die Orientierung und Position der Nutzer, Landmarken in die Anzeige aufzunehmen. Die Autoren empfehlen zudem Kartenmaterial immer mit einer Textanweisung zu kombinieren.

Chittaro und Burigat (2005, S. 108) erweitern die von Kray et al. (2003) vorgeschlagenen Darstellungsformen ähnlich wie Gartner und Radoczky (2006, S. 388 ff.) um die Möglichkeit, Fotos von Orten abzubilden, die der Nutzer erreichen soll. Weiterhin wird diskutiert, welche Vor- und Nachteile die von Kray et al. (2003) vorgeschlagene Taxonomie aufweist. So wird beispielsweise nochmals darauf hingewiesen, dass sehr abstrakte Darstellungen der Route vorteilhaft sind, da sie die kognitiven Ressourcen der Nutzer schonen, jedoch auch problematisch sein können, da sie möglicherweise notwendige Informationen weglassen. Rehrl et al. (2012, S. 4) fügen der Klassifikation die taktile Anweisungsart hinzu. Dabei werden Anweisungen anhand von Vibrationsmustern kommuniziert.

Weitere Vorschläge für Darstellungsmöglichkeiten für die Indoor-Navigation werden von Krüger et al. (2000) und Butz et al. (2001) gemacht. Zusätzlich zu den bereits genannten Präsentationsmöglichkeiten schlagen die Autoren die Anzeige eines Avatars vor, der dem Fußgänger während eines virtuellen Rundgangs mit Gesten den Weg erklärt (Krüger et al., 2000, S. 93). Weiterhin wird ein „Walkthrough“ als Möglichkeit eingeführt, die Route zu visualisieren. Dabei wird eine Videosequenz, die beispielsweise auf dreidimensionalen Modellen der Umgebung basiert, abgespielt (Butz et al., 2001, S. 30).

Die Anzeige des zu traversierenden Routensegments und der Umgebung der Nutzer wird bei einer Skizzen- und Kartendarstellung im Innenbereich von Butz et al. (2001) weiter unterteilt. Dabei wird davon ausgegangen, dass mehr Umgebungselemente in die Anzeige aufgenommen werden müssen, falls wenig über die Position und Ausrichtung der Nutzer bekannt ist (Butz et al., 2001, S. 28). Wie in Abbildung 2.4 links zu sehen ist, kann bei viel Information nur die Abbiege-Richtung in Form eines Pfeiles angezeigt werden. Daraufhin kann die Darstellung nach und nach mit lokalen Informationen über die Umgebung angereichert werden. In dieser Kategorisierung werden auffällige Objekte (wie Aufzüge und Treppen) jedoch erst in die Anzeige aufgenommen, wenn sehr wenig über den Nutzerzustand bekannt ist. Da Landmarken jedoch einen wichtigen Stellenwert bei

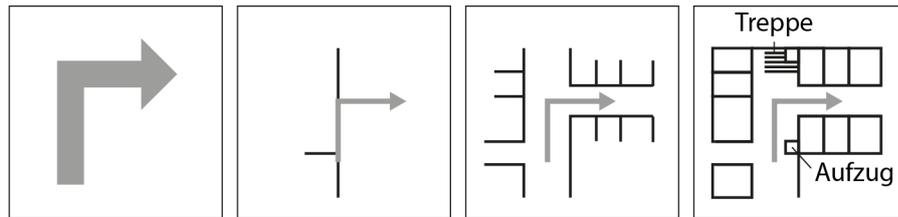


Abbildung 2.4: Unterschiedliche Darstellungsarten von Wegfindungsinformation nach Butz et al. (2001, S. 28).

der Wegfindung haben, werden diese in den von mir getesteten Interface-Varianten zu jedem Zeitpunkt referenziert. In Abbildung 2.4 ist zudem ersichtlich, dass Kartenmaterial in unterschiedlich detaillierter Form dargestellt werden kann. Dabei sind sehr abstrahierte, „graphenartige“ Visualisierungen sowie Gebäudepläne, die den räumlichen Aufbau im Detail wiedergeben, denkbar.

Die Kartenanzeige kann zusätzlich mit kleinen Bildern von Landmarken angereichert werden, um die Memorierbarkeit der Route zu erhöhen (Krüger et al., 2000, S. 96). Bezüglich der Darstellung von auffälligen Objekten schlagen Elias und Paelke (2008, S. 44) unterschiedliche Icon-Typen vor. Dabei können beispielsweise fotorealistische Bilder, Symbole oder textuelle Beschreibungen herangezogen werden. Eine Studie zeigte, dass die präferierte Art der Darstellung stark von der Landmarken-Kategorie abhängt, sodass keine allgemeingültige Design-Empfehlung gegeben werden kann. Je nach Kulturkreis und Bekanntheit kann es bei stark abstrahierten Piktogrammen zudem dazu kommen, dass diese nicht korrekt interpretiert werden können (Nivala & Sarjakoski, 2007, S. 281). Die Darstellung von Icons ist jedoch sehr verbreitet und wird beispielsweise auch von Delikostidis et al. (2013, S. 532 f.) vorgeschlagen. Im Innenbereich werden Landmarken, die einen Stockwerkswechsel beinhalten, wie Treppen oder Aufzüge, typischerweise als Piktogramm dargestellt (Radoczky, 2007, S. 305).

Kartendarstellungen in mobilen Assistenzsystemen sind sehr verbreitet, vermutlich aufgrund ihrer häufigen Nutzung in der physischen Welt als Aushänge oder ausgedruckte Karten (Huang & Gartner, 2010, S. 312). Eine Karte sollte zur Wegfindung immer bereitgestellt werden (Gartner & Radoczky, 2006, S. 388), da sie die wichtigste grafische Darstellungsform von Wegfindungsinformation bietet (Montello & Sas, 2006, S. 2006). Karten helfen unter anderem dabei, eine mentale Repräsentation der Umgebung zu erlangen (Millonig & Schechtner, 2007, S. 44). Auch in meiner Forschung untersuche ich mobile Kartendarstellungen im Detail. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf grundlegende Eigenschaften und Design-Möglichkeiten von Kartenmaterial eingegangen.

Agrawala und Stolte (2000, S. 61) definieren grundsätzliche Design-Ziele bei der Erstellung von Kartenmaterial. Dabei muss als Erstes die Route auf der Karte leicht zu identifizieren sein (Lesbarkeit). Weiterhin muss die Karte übersichtlich sein, das heißt, es sollte nur so viel Information enthalten sein, wie für die Aufgabe notwendig ist. Jedoch sollte die Karte auch vollständig sein, sodass alle für die Navigation notwendigen Informationen enthalten sind. Das letzte Ziel ist, den Nutzungskontext des Kartenmaterials zu beachten (Zweckmäßigkeit).

Basierend auf diesen sehr allgemeinen Grundprinzipien stellt sich die Frage, was das Mindestmaß an Information ist, das für die Wegfindung im Kartenmaterial dargestellt

werden soll und wie viele grafische Elemente zu unübersichtlichen Karten führen. Häufig muss ein Kompromiss im Design getroffen werden, da sich beispielsweise Lesbarkeit und Vollständigkeit teilweise widersprechen können (Zipf, 2002, S. 334). Es muss demnach eine Theorie erstellt werden, welche Umgebungseigenschaften dargestellt werden sollten, um die Wegfindungsaufgabe lösen zu können (Freksa, 1999, S. 26). Insbesondere im Innenbereich sind Gebäudepläne die gängigste Art, Wegfindungsinformation darzustellen. Jedoch gibt es für solche Pläne keine einheitlichen Vorgaben zum Design (Lorenz et al., 2013b, S. 201; Radoczky, 2007, S. 304 f.).

In diesem Zusammenhang wird häufig davon ausgegangen, dass die Route, die durchzuführende Aktion sowie Landmarken in der Umgebung, die essenziellen Bestandteile von Navigationsanweisungen darstellen (Klippel, Richter & Hansen, 2006, S. 96). In Tversky et al. (2007, S. 61) wurden von Probanden angefertigte Kartenskizzen analysiert, die dazu dienten, eine Route zu beschreiben. Anhand dieser Daten wurden neben der Notwendigkeit, die Route und Landmarken darzustellen, zwei grundlegende Design-Prinzipien für Karten abgeleitet. Zum einen sollten Entscheidungspunkte, an denen abgelenkt werden muss, visualisiert werden, da Menschen eine Route anhand einer Sequenz von Pfaden und Abbiegungen verinnerlichen (siehe auch: Daniel & Denis, 1998, S. 50). Zum anderen erinnern sich Personen nicht an metrische Distanzen und Winkel. Diese Informationen können demnach vereinfacht dargestellt werden. Auch Agrawala und Stolte (2000, S. 62) merken an, dass die Länge von Pfaden und der exakte Winkel einer Abbiegung für Menschen zur Wegfindung nicht wichtig sind.

Die Herausforderung für die Nutzer bei der Wegfindung ist, sich selbst zu verorten, wobei sie hierzu zumeist eine visuelle Anzeige zur Hilfe nehmen (Kolbe, 2004, S. 45). Demnach sollten Landmarken auch in Kartenanzeigen dargestellt werden, da sie als Verbindungselement zwischen der Realität und der Darstellung auf der Kartenansicht dienen (Delikostidis et al., 2013, S. 525). In diesem Zusammenhang ist jedoch nicht geklärt, wie viele Objekte referenziert werden sollen. Studien in einem abstrahierten virtuellen Raum zeigten, dass je mehr Landmarken angezeigt werden, desto länger benötigen die Probanden, um auf eine Aufgabe zu reagieren (Aretz & Wickens, 1992, S. 314). Karten sollten immer so gestaltet sein, dass sie den kognitiven Aufwand reduzieren, der benötigt wird, sie zu rezipieren (Aretz, 1991, S. 87 ff.).

Eine sehr wichtige Eigenschaft von Karten ist deren Ausrichtung. Im Normalfall ist eine Karte nach Norden ausgerichtet. Im Gegensatz zu dieser Design-Konvention sollte eine Karte, die zur Wegfindung verwendet wird, in die Bewegungsrichtung der Nutzer ausgerichtet sein, um die Effizienz der Wegfindung zu steigern (Aretz, 1991, S. 94; Montello und Sas, 2006, S. 2006; Smets, te Brake, Neerincx und Lindenberg, 2008, S. 77). Bereits 1984 stellten Levine et al. fest, dass eine Fehlansichtung von sogenannten „You-are-here“-Karten signifikant häufiger zu Problemen bei der Selbstverortung, Orientierung und Wegfindungseffizienz führt. „You-are-here“-Karten sind Wegfindungshilfen, die in Gebäuden an festen Orten installiert sind und den aktuellen Standort des Wegfinders anhand eines Icons wie beispielsweise einem Pfeil oder Kreis und einer Beschriftung – im Englischen zumeist „You-are-here“ – anzeigen. Derartige Karten sollten in die Bewegungsrichtung des Wegfinders ausgerichtet sein. In Abbildung 2.5 sind in Anlehnung an Levine et al. (1984, S. 154) zwei fiktive „You-are-here“-Karten für die Universität Regensburg abgebildet. Wenn die Karte falsch ausgerichtet ist (im Bild links), müssen Fußgänger diese

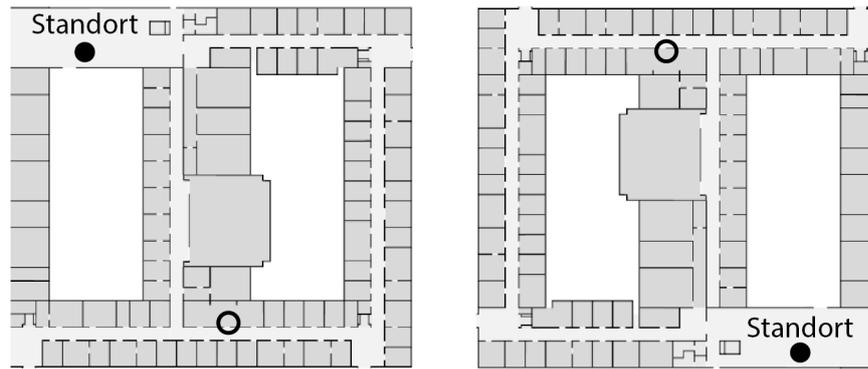


Abbildung 2.5: Beispiele für Ausrichtungen von Karten nach Levine et al. (1984, S. 154). Links: Ausrichtung entgegen der Bewegungsrichtung; rechts: Ausrichtung in Bewegungsrichtung.

gedanklich rotieren. Die dadurch entstehende kognitive Belastung kann zu Desorientierung und Fehlern bei der Navigation führen. Dies wird als „alignment effect“ bezeichnet (Levine et al., 1984, S. 155), der durch eine Ausrichtung in Bewegungsrichtung verhindert werden kann (rechts in Abbildung 2.5).

Während einer Wegfindungsaufgabe ändert sich die Bewegungsrichtung der Person zumindest an jedem Entscheidungspunkt, an dem abgelenkt werden muss. Folglich sollte eine mobile Kartendarstellung die Ausrichtung in diesen Situationen ändern. Montello und Sas (2006, S. 2006) fordern aufgrund der Tatsache, dass manche Probanden an eine genordete Karte gewöhnt sind, zumindest die Möglichkeit zu bieten, die Orientierung der Karte selbst zu bestimmen. Kiefer, Giannopoulos, Athanasios Anagnostopoulos, Schöning und Raubal (2016, S. 20) empfehlen, adaptierbare Karten so zu gestalten, dass die Nutzer selbst bestimmen können, ob und wann sie eine Anpassung wünschen.

Insgesamt ist zu sagen, dass Karten in unterschiedlichsten Detailgraden und Designs verfügbar sind. Zumeist wird versucht, so viele Informationen wie möglich darzustellen, die jedoch auch hinderlich bei der Wegfindung sein können (Gartner & Radoczky, 2006, S. 388). Karten müssen Routeninformationen nicht in jedem Detail wiedergeben (Montello & Sas, 2006, S. 2006). Die Schematisierung von Kartenmaterial zur Routenkommunikation stellt ein wichtiges Forschungsfeld dar (Mark, Freksa, Hirtle, Lloyd & Tversky, 1999, S. 759). Im Detailgrad reduziertes Kartenmaterial kann insbesondere dann nützlich sein, wenn die Navigationseffizienz im Vordergrund steht: Es zeigt nur die für die Wegfindung relevanten Details an und lenkt somit die Aufmerksamkeit der Nutzer auf die wichtigsten Bestandteile der Anweisung (Krüger et al., 2000, S. 95). Zudem wird davon ausgegangen, dass schematische Karten die mentale Repräsentation von Wegfindern am besten widerspiegeln (Agrawala & Stolte, 2000, S. 64).

In Gartner und Radoczky (2006) werden drei Abstraktionsniveaus von Karten eingeführt. Dabei wird zwischen einer schematischen Karte, einem vereinfachten Graphen sowie einem Übersichtsplan unterschieden. In Abbildung 2.6 ist diese Unterteilung für den Innenbereich angewendet. Ein Übersichtsplan ist zumeist sehr detailliert und enthält Informationen über den räumlichen Aufbau der Umgebung (Markierung „1“). Die beiden anderen Anzeigeformen hingegen sind stark abstrahiert und zeigen nur die zu absolvierende Route an. Weiterhin können direkt angrenzende Wege visualisiert werden (Markie-

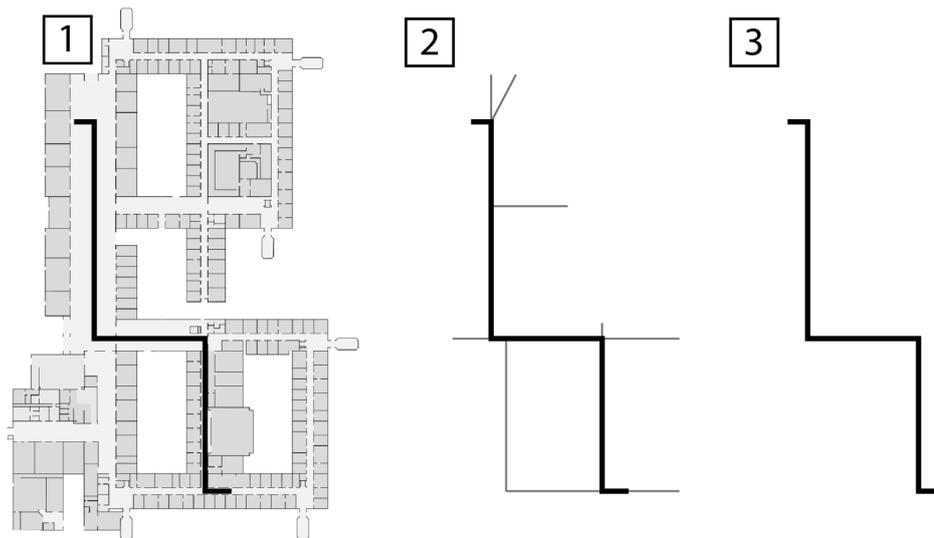


Abbildung 2.6: Karten mit verschiedenen Abstraktionsniveaus (adaptiert für den Innenbereich nach: Gartner und Radoczky, 2005, S. 44; Gartner und Radoczky, 2006, S. 385; 1 = Übersichtsplan; 2 = schematische Karte mit angrenzenden Wegen; 3 = schematische Karte ohne angrenzende Wege).

rung „2“). Dies ist aber bei einer schematischen Karte nicht zwingend nötig (Gartner & Radoczky, 2005, S. 44). Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 2.6 mit „3“ markiert. Schematische Karten zeigen im Gegensatz zu einem vereinfachten Graphen nur bestimmte Winkel an Kreuzungen an, zum Beispiel  $45^\circ$  und  $90^\circ$  (Gartner & Radoczky, 2006, S. 385). Im Innenbereich fällt die Darstellung von schematischen Karten und vereinfachten Graphen häufig zusammen, da innerhalb eines Gebäudes eher selten „geschwungene“ Pfade anzutreffen sind (Montello & Sas, 2006, S. 2004). Jede Kartendarstellung kann zusätzlich mit Landmarken angereichert werden. Gartner und Radoczky (2006, S. 389) empfehlen für die Wegfindung schematische oder vereinfachte Graph-Darstellungen anzuzeigen und diese mit Landmarken zu ergänzen, da diese Information unmittelbar relevant für die Wegfindungsaufgabe ist.

Eine ähnliche Darstellungsart empfehlen Stark et al. (2007, S. 694): Eine Karte sollte immer in Bewegungsrichtung ausgerichtet sein und die momentane Position der Wegfinder, die Route sowie Landmarken entlang des Weges anzeigen. Delazari, Anand und Morley (2014, S. 3) stellten fest, dass Nutzer die reduzierte Darstellung einer graphähnlichen, schematischen Karte positiv bewerten. Es konnte jedoch keine Aussage darüber gemacht werden, ob diese Form der Visualisierung gegenüber Gebäudeplänen präferiert wird. In einer Studie von Meilinger et al. (2007, S. 391) zeigte sich, dass Personen schematische Karten signifikant kürzer betrachten als Gebäudepläne, jedoch führte die Wegfindung mit Gebäudeplänen zu weniger Umwegen und die Probanden zögerten weniger.

Bigler, Brügger, Utzinger und Richter (2014) verglichen eine sehr einfache Graph-Darstellung, die keine abzweigenden Wege darstellte, mit Textanweisungen. Die Kartendarstellung zeigte zudem stilisierte Icons an. Es stellte sich heraus, dass keine Unterschiede bezüglich der empfundenen Schwierigkeit der Aufgabe und den Fehlern während der Wegfindung festgestellt werden konnten. In dieser Studie sowie im Experiment von Meilinger et al. (2007) wurden die Karten in Papierform ausgegeben. Es stellt sich somit die

Frage, ob auch ein digitales Navigationssystem, das diese Art der Anzeige darstellt, die Wegfindungsaufgabe effizient unterstützt. Insbesondere interessiert mich in meinen Untersuchungen, welcher Unterschied zu Gebäudeplänen, also Karten, die Räume und Ähnliches anzeigen, besteht, da diese Art der Darstellung die größte Akzeptanz bei den Nutzern findet (Gartner, 2004, S. 8).

## 2.6 Zusammenfassung und Bezug zur Arbeit

In diesem Kapitel wurde auf die Navigation und das damit verbundene Konzept der Wegfindung eingegangen und zudem dargestellt, wie Landmarken Personen bei der Orientierung im Raum unterstützen. Weiterhin wurden mögliche Darstellungsformen von Navigationsanweisungen aufgezeigt.

Die Wegfindung umfasst alle kognitiven Prozesse während der Navigation und ist von der bloßen Fortbewegung abzugrenzen (Montello, 2005, S. 258). Zusammenfassend legt meine Arbeit den Schwerpunkt auf die Unterstützung und Untersuchung der „Suchen“-Aufgabe nach Allen (1999a, 1999b). Im Normalfall hilft ein Navigationssystem den Nutzern, wenn sie zu einem ihnen unbekanntem Ort navigieren möchten. Dabei sollen meine landmarkenbasierten Interface-Designs insbesondere den kognitiven Prozess der „Ansteuerung“, also der Orientierung anhand der Identifikation von auffälligen Objekten, unterstützen. Es handelt sich somit um die Untersuchung einer assistierten Wegfindung nach Wiener et al. (2009, S. 157). Dabei analysiere ich, welche Interface-Designs die Routen-Kontrolle nach Delikostidis et al. (2015, S. 197) effizient unterstützen. In meiner Arbeit lege ich den Fokus auf die Analyse des Blickverhaltens der Nutzer, da die Rezeption einer grafischen symbolischen Repräsentation zumeist visuell stattfindet (Fallah et al., 2013, S. 21 f.).

Weiterhin wurden diverse Einflussfaktoren auf die Wegfindung identifiziert und aufgezeigt. Diese umfassen Variablen, die die Nutzer, die Umgebung oder die Wegfindungshilfe betreffen. In meiner Arbeit wurden Nutzereigenschaften teilweise kontrolliert. Es durften beispielsweise nur Probanden ohne kognitive oder körperliche Einschränkungen teilnehmen und es wurde kein Zeitdruck ausgeübt oder Gepäck mitgeführt. Auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis wurde in allen Studien geachtet. Des Weiteren wurden die Faktoren Orientierungssinn und Ortskenntnis als Kontrollvariablen erhoben und deren Verteilung innerhalb der Stichprobe post hoc analysiert.

Bezüglich der Umgebung wurden Testrouten im Innenbereich ausgewählt und deren räumlicher Aufbau im Detail beschrieben und teilweise in der Auswertung berücksichtigt, sofern dies möglich war.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor der Umgebung sind die verfügbaren Landmarken. Für meine Arbeit sind diese Objekte auffällige Elemente im Umfeld der Wegfinder, die als Bezugspunkte und zur Erklärung einer Route dienen können. Es wurde zwar vermehrt Kritik geäußert, dass Landmarken im Wegfindungskontext überbewertet werden (Montello, 2017, S. 196) oder im Innenbereich teilweise nicht von Landmarken gesprochen werden kann (Krisp, 2016, S. 199). Trotzdem gehe ich davon aus, dass diese Objekte bei der Orientierung dienlich sind und integriere sie in meine Assistenzsysteme, da empirische Studien die Nützlichkeit von Landmarken auch innerhalb des Innenraums aufzeigten (siehe z. B.: Padgitt & Hund, 2012).

Die Auswahl der Landmarken, die innerhalb meiner Studien zur Anzeige kommen, erfolgte experimentell anhand einer in situ durchgeführten Befragung nach Sefelin et al. (2005). Weiterhin wurde ein mobiler Eye-Tracker ähnlich wie bei Viaene et al. (2016) eingesetzt, um zu analysieren, welche Objekte visuell auffällig sind, da diese Eigenschaft im Kontext der Wegfindung besonders wichtig ist (Michon & Denis, 2001, S. 303). Darüber hinaus wurde teilweise der von Kattenbeck (2016) entwickelte Fragebogen zur Bewertung der Gesamtsalienz herangezogen.

Die hierdurch erhobenen Objekte werden zudem kategoriebasiert und anhand ihrer Position analysiert, um weitere Erkenntnisse zu erlangen, welche Landmarken im Innenbereich zur Orientierung dienlich sein können. Demnach wird die visuelle und strukturelle Salienz nach Sorrows und Hirtle (1999) betrachtet, jedoch nicht die kognitive.

Für den Außenbereich existiert bereits eine Vielzahl merkmalsbasierter Auswahlverfahren für Landmarken, jedoch erfordern diese umfangreiche Datenbestände, die für Innenräume zumeist nicht zur Verfügung stehen. Insbesondere mein Untersuchungsbereich war zum Zeitpunkt der Durchführung des ersten Experiments (siehe Kapitel 5) noch nicht durch ein Umgebungsmodell abgedeckt. Folglich habe ich mich für eine experimentelle Erhebung entschieden.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Wegfindung ist die verwendete Wegfindungshilfe. Die Untersuchung unterschiedlicher Darstellungen bildet den Forschungsschwerpunkt meiner Arbeit. In diesem Zusammenhang untersuche ich mobile digitale Kartendarstellungen, die zusätzlich Landmarken referenzieren. Eine Karte ist die wichtigste grafische Wegfindungshilfe (Montello & Sas, 2006, S. 2006), jedoch existieren keine einheitlichen Design-Richtlinien für diese Anzeigeart, vor allem für den Innenbereich (Lorenz et al., 2013b, S. 201; Radoczky, 2007, S. 304 f.). Die verwandte Forschungsarbeit zeigt auf, dass schematisches Kartenmaterial eine vielversprechende Wegfindungshilfe darstellt (siehe z. B.: Gartner & Radoczky, 2006; Huang & Gartner, 2010). Es wurde jedoch noch nicht im Detail untersucht, wie diese Art der Visualisierung im Vergleich zu „traditionellen“ Gebäudeplänen rezipiert wird, besonders wenn die Darstellung nicht in Papierform erfolgt. In meinen Untersuchungen führe ich diese Überlegungen fort und analysiere zudem, wie viele auffällige Objekte im Kartenmaterial dargestellt werden sollten, da im real-weltlichen Szenario ungeklärt ist, wie viele Objekte bei der Orientierung dienlich sind (Kray et al., 2003). Landmarken werden dabei gemäß den Vorschlägen aus der Literatur als Piktogramme oder beschriftete Icons angezeigt (Elias & Paelke, 2008). Weiterhin wurde die Empfehlung von Kray et al. (2003, S. 120), Kartenmaterial immer mit einer Textanweisung zu kombinieren, in allen in dieser Arbeit erstellten Interface-Designs umgesetzt.

Im folgenden Kapitel wird aufgezeigt, welche Arten von Fußgänger-Navigationssystemen für den Außen- und Innenbereich bereits implementiert und evaluiert worden sind. In diesem Zusammenhang sind im Speziellen mögliche Darstellungsformen und Evaluationsmethoden für meine Arbeit von Interesse. Dabei wird zudem darauf eingegangen, wie und zu welchem Zweck die Analyse des Blickverhaltens bereits in der Wegfindungsforschung zum Einsatz kommt.

## Fußgänger-Navigationssysteme

In den nachfolgenden Kapiteln werden Arbeiten vorgestellt, die verschiedene Designs von Fußgänger-Navigationssystemen untersuchen. Die meisten Implementierungen sind dabei prototypisch für den Außenbereich umgesetzt worden. Aber auch die Navigation in Innenräumen hat sich zunehmend als wichtiger Untersuchungsgegenstand herauskristallisiert. Im Folgenden werden diese Arbeiten überblicksartig dargestellt und ihr Einfluss auf meine Forschungsarbeit aufgezeigt. Zunächst wird auf Fußgänger-Navigationssysteme im Außenbereich eingegangen. Zwar ist diese Umgebung bezüglich der räumlichen Struktur und Art der Landmarken deutlich unterschiedlich zu Innenbereichen (siehe Kapitel 2.3 und 2.4.1), jedoch sind trotz allem viele der Erkenntnisse aus diesen Arbeiten auch auf die Navigation im Innenraum übertragbar. Insbesondere wie Personen Karten-Anzeigen in Außenumgebungen wahrnehmen, ist ein wichtiger Ansatzpunkt für die Gestaltung von Indoor-Navigationssystemen. Zudem soll die Analyse dieser Arbeiten dazu dienen, ein geeignetes Experiment-Design sowie geeignete abhängige Variablen für meine Experimente abzuleiten. Weiterhin werden Untersuchungen zu Navigationssystemen für den Innenbereich dargestellt und abgegrenzt, inwiefern meine Arbeit einen weiteren Aspekt der Fußgänger-Navigation adressiert.

Die nachfolgenden Forschungsarbeiten werden vor dem Hintergrund der folgenden Fragen beschrieben:

- Welche Darstellungsform wird verwendet?
- Werden Landmarken in die Anzeige aufgenommen?
- Falls auffällige Objekte referenziert werden, wie werden diese angezeigt und wie wurden sie ausgewählt?
- Mit welcher Methodik wurden die Interfaces evaluiert?

Weiterhin wird in diesem Kapitel dargestellt, wie die Analyse des Blickverhaltens in der

Wegfindungsforschung zum Einsatz kommt. In diesem Zusammenhang wird zudem kurz die von mir verwendete Eye-Tracking-Hard- und Software vorgestellt.

Durch die Analyse der verwandten Forschungsarbeiten werden einerseits einige Design-Prinzipien für meine Studien abgeleitet, andererseits aber auch offene Punkte deutlich, die ich in meiner Arbeit behandle. Diese Zusammenhänge werden in Kapitel 3.4 zusammenfassend dargestellt und diskutiert.

### 3.1 Außenbereich

Ein Großteil der existierenden Ansätze für Fußgänger-Navigationssysteme wurde für den Außenbereich entwickelt. Einer der Hauptgründe hierfür ist, dass im Freien das GPS-Signal eine Verortung der Nutzer ermöglicht (Huang & Gartner, 2010, S. 307) und die Position der Navigierenden demnach in die Interface-Gestaltung miteinbezogen werden kann. Weiterhin ist für den Außenbereich für viele Umgebungen bereits Kartenmaterial verfügbar (z. B.: Google Maps (Google, 2018a) oder OpenStreetMap (OpenStreetMap Foundation, 2018)), das eine Routen-Berechnung ohne den Aufwand der Erstellung von zusätzlichen Umgebungsmodellen ermöglicht.

Allgemein ist zu sagen, dass die meisten Studien zu Fußgänger-Navigationssystemen für den Außenbereich Kartendarstellungen im mobilen Kontext untersuchen. Diese werden zudem häufig mit fotorealistischen Anzeigen verglichen. Aber auch weitere Darstellungsarten, die zum Beispiel auf Vibrationsmustern beruhen und somit kein visuelles Feedback geben, bilden einen Forschungsschwerpunkt in diesem Bereich. In relativ frühen Phasen der Forschung im Außenbereich wurden jedoch zunächst Navigationssysteme im Vergleich zu Papierkarten evaluiert. Im Folgenden werden diese unterschiedlichen Untersuchungsrichtungen dargestellt.

#### 3.1.1 Papierkarten im Vergleich zu Navigationssystemen

Im Rahmen der Evaluierung von Fußgänger-Navigationssystemen für den Außenbereich wurden vermehrt Experimente durchgeführt, die untersuchten, inwiefern eine digitale Assistenz gegenüber der Wegfindung mit einer Papierkarte hilfreich sein kann.

Innerhalb einer von Kray et al. (2003) durchgeführten Studie wurde ein Prototyp, der zweidimensionales Kartenmaterial und eine dreidimensionale Darstellung der Umgebung anzeigte, mit Papierkarten verglichen. Weitere Details dieser Untersuchung wurden in Schilling, Coors und Laakso (2005) diskutiert. Landmarken wurden in der dreidimensionalen Darstellung referenziert, indem die Textur bestimmter Gebäude entlang der Route detaillierter dargestellt wurde. Auf die Auswahl dieser Objekte wurde hingegen nicht näher eingegangen. Weiterhin wurde ein Pfeil eingeblendet, der die Richtung angezeigt hat. Zur Analyse wurde hauptsächlich die Zeit herangezogen, die die Nutzer benötigten, um die Anweisung zu verstehen. Diese als „Orientierungsintervall“ bezeichnete Messung dient auch in einem großen Teil meiner Studien als abhängige Variable. Es stellte sich heraus, dass dieses Intervall signifikant kleiner ist, wenn Personen mit einer „klassischen“ Papierkarte navigieren. Auch fanden die Testpersonen die zweidimensionale Karte einfacher zu benutzen (Schilling et al., 2005, S. 237). Jedoch äußerten sich die Personen sehr positiv über die Nutzungserfahrung mit der dreidimensionalen Karte und

merkten an, dass diese beim Gebrauch „Spaß mache“ (Kray et al., 2003, S. 122). Insgesamt hatte die Studie jedoch nur zehn Testpersonen, demnach sind die Ergebnisse nicht vorbehaltlos generalisierbar.

Auch Goodman et al. (2004) verglichen Papierkarten mit einem Prototypen, der eine digitale Karte mit eingezeichneter Route anzeigte. Zudem bot das Interface die Möglichkeit, Fotos von Landmarken zu betrachten. Die Landmarkenauswahl erfolgte durch die Testleiter. Auf den Fotos wurde immer nur eine Landmarke referenziert. Die Testpersonen konnten zudem selbst entscheiden, ob sie die Kartenansicht oder die Bildansicht zur Wegfindung verwenden wollten. Zur Evaluation wurde die Zeit herangezogen, die Nutzer benötigten, um eine bestimmte Route zu absolvieren. Dabei stellte sich heraus, dass nur ältere Personen mit dem Navigationssystem signifikant schneller sind. Für jüngere Probanden besteht dieser Unterschied nicht. Weiterhin verlaufen sich die Testpersonen signifikant häufiger, wenn sie die Papierkarte verwenden. Besonders wichtig für meine Arbeit ist die Definition von „Verlaufen“, die in dieser Studie angewendet wurde: Sobald der Experimentleiter eingreifen muss, wird dies als „Verlaufen“ notiert (Goodman et al., 2004, S. 43). Dieses Vorgehen habe ich für meine Studien übernommen und weiterentwickelt. Darüber hinaus führten Goodman et al. (2004) eine weitere abhängige Variable ein, um die kognitive Belastung der Nutzer zu messen. Hierzu verwendeten sie den Fragebogen NASA-TLX, der dazu dient, den Workload eines Probanden festzustellen (siehe Hart & Staveland, 1988). Es zeigte sich, dass die mentale Beanspruchung bei der Verwendung des Navigationssystems signifikant geringer ist als bei der Navigation mit der Papierkarte. Folglich besteht bezüglich dieser Variable ein Widerspruch zu den Ergebnissen von Kray et al. (2003), die feststellten, dass die Navigation mit einer Papierkarte eine geringere Orientierungszeit benötigt.

In einer Folgepublikation wurde zudem untersucht, welche Art der Navigationsanweisung präferiert wird (Goodman, Brewster & Gray, 2005). Hierzu wurden weitere Interface-Varianten miteinbezogen. Die drei zusätzlichen Versionen enthielten Textanweisungen, eine Sprachausgabe sowie eine Kombination aus beiden Ausgaben. Die Ergebnisse zeigten auf, dass die Teilnehmer weiterhin signifikant schneller und fehlerfreier mit der elektronischen Wegfindungshilfe navigieren (im Vergleich zur Papierkarte). Zwischen den unterschiedlichen Varianten wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Lediglich mit der reinen Audioausgabe verliefen sich die Testpersonen signifikant häufiger als mit dem Interface, das zusätzlich Fotos anzeigte (Goodman et al., 2005, S. 14).

Auch Münzer et al. (2006) verglichen verschiedene Navigationssystem-Designs, die Fotos von Routen-Abschnitten anzeigten, mit einer Papierkarte. Dabei lag der Fokus jedoch nicht auf der Untersuchung, ob und wie Assistenzsysteme den Fußgänger effizienter oder effektiver ans Ziel bringen können, sondern inwiefern verschiedene Darstellungen im Vergleich zur Karte die Ausprägung von Überblickswissen bezüglich der Route unterstützen (siehe Kapitel 2.2). Innerhalb der Interface-Gestaltungen kamen Fotografien eines Entscheidungspunktes sowie die zusätzliche schematische Darstellung der Umgebung anhand einer Karte zum Einsatz. Landmarken wurden nur implizit durch Abbildungen an Entscheidungspunkten visualisiert. Auch die Papierkarte enthielt diese Fotos und wurde den Testpersonen in DIN-A4-Format zur Verfügung gestellt. Es zeigte sich, dass die Probanden, die mit der Papierkarte den Weg suchten, nach dem Experiment signifikant bessere Routen-Kenntnisse hatten als die Testpersonen, die ein Assistenzsystem verwen-

deten. Dies wurde beispielsweise gemessen, indem Personen nach dem Absolvieren der Route Fotos von den Entscheidungspunkten auf einer Karte platzieren mussten. Diese Ergebnisse zeigen auf, dass ein Navigationssystem das „beiläufige“ Lernen der Route nicht unterstützt (Münzer et al., 2006, S. 305). In diesem Zusammenhang kann lediglich Landmarkenwissen kommuniziert werden (Aslan, Schwalm, Baus, Krüger & Schwartz, 2006, S. 107).

In Goodman et al. (2004) wurde festgestellt, dass Personen mit einem relativ ähnlichen Navigationssystem effizienter ans Ziel kommen. Auch Sas, O’Grady und O’Hare (2003, S. 474) kamen zu dem Ergebnis, dass Nutzer eine digitale Wegfindungshilfe als nützlich einschätzen. Die beschriebene Studie von Münzer et al. (2006) zeigte jedoch klare Grenzen eines Assistenzsystems für die Wegfindung auf. Es wurde deutlich, dass die schnellere Navigation „auf Kosten“ der Aneignung einer kognitiven Karte geschieht.

Weiterhin stellte sich in einer Studie von Ishikawa, Fujiwara, Imai und Okabe (2008, S. 78) heraus, dass Probanden mit einer digitalen Assistenz längere Wege einschlagen und häufiger zögern als bei der Wegfindung mit einer Papierkarte. Die digitale Karte war in diesem Zusammenhang sehr detailliert und richtete sich nicht in Bewegungsrichtung aus. Zudem wurden keine Landmarken referenziert.

Insgesamt kann gefolgert werden, dass Personen mit einem Assistenzsystem, das Landmarken referenziert, im Vergleich zur Wegfindung mit einer Papierkarte effizienter ans Ziel kommen. Jedoch zeigt sich auch, dass die Navigation mit Schritt-für-Schritt-Anweisungen dazu führt, dass sich die Testpersonen nicht mehr auf ihre Umwelt konzentrieren und dadurch die Ausprägung räumlichen Wissens eingeschränkt wird. Auch führen Interface-Designs, die sehr detailliert und nicht in Bewegungsrichtung ausgerichtet sind, zu einer verringerten Effizienz bei der Wegfindung. Das Karten-Design hat insgesamt einen starken Einfluss auf die Wegfindung. Im Folgenden wird auf Interfaces, die unterschiedliche Kartendarstellungen im Außenbereich anzeigen, eingegangen.

#### 3.1.2 Kartendarstellungen

Bereits in den Untersuchungen von Levine et al. (1984) stellte sich heraus, dass Karten, die nicht in Bewegungsrichtung ausgerichtet sind, zu einer höheren kognitiven Belastung und somit zu einem „alignment effect“ (Ausrichtungseffekt) führen. Diese Untersuchungen wurden in weiteren Studien für digitale Assistenzsysteme wiederholt und die Ergebnisse bestätigt. So zeigten beispielsweise Smets et al. (2008, S. 74) in einer Labor-Studie auf, dass in Bewegungsrichtung ausgerichtete Kartendarstellungen zu einer schnelleren Zielfindung und zu einer geringeren mentalen Anstrengung während der Navigationsaufgabe führen. Diese Darstellung wird zudem von den Wegfindern als nützlicher eingeschätzt (Smets et al., 2008, S. 78).

Etwas andere Erkenntnisse wurden von Seager und Fraser (2007) gemacht. Dabei wurden verschiedene Ausrichtungsarten einer Karte untersucht: eine nach Norden ausgerichtete Karte sowie eine, die sich automatisch in Bewegungsrichtung dreht. Weiterhin gab es die Möglichkeit, dass die Testpersonen die Karte selbst anhand von Buttons rotieren konnten. Die letzte Art der Ausrichtung war eine genordete Karte, jedoch durften die Testpersonen das Gerät drehen. Eine Einschränkung dieser Studie war, dass lediglich eine Karte und keine Navigationsanweisungen angezeigt wurden. Als abhängige Variablen wurden

die Navigationszeit, Fehler, Desorientierung (Person fragt nach Hilfe) sowie der Workload – gemessen mit dem NASA-TLX – herangezogen. Es zeigte sich, dass Testpersonen unter diesen Experiment-Bedingungen das physikalische Rotieren des Gerätes präferieren und durch dieses Vorgehen die Navigationsaufgabe mit weniger Fehlern durchführen können. Am zweitbesten schnitt die automatische Ausrichtung ab (Seager & Fraser, 2007, S. 770 f.).

In T. Wang et al. (2013, S. 11) wurde hingegen anhand einer qualitativen Studie festgestellt, dass Nutzer sich eine automatische Kartenausrichtung wünschen. Hierzu wurden Karten von Apple Maps (Apple, 2018), die mit Routen zwischen Universitätsgebäuden angereichert waren, als Referenz-Implementierung herangezogen. Auf Landmarken wurde jedoch nicht Bezug genommen. Eine wichtige Erkenntnis war, dass Personen, sobald das Ziel in Sichtweite ist, nicht mehr wesentlich mit dem System interagieren (T. Wang et al., 2013, S. 10). Ein ähnliches Verhalten konnte ich auch in meinen Studien beobachten. Weiterhin stellte sich heraus, dass eine Anzeige der restlichen Distanz sowie einer Zeitabschätzung bis zum Erreichen des Ziels nicht als notwendig erachtet wird (T. Wang et al., 2013, S. 11). Diese Information wird folglich in meinen Experiment-Prototypen nicht angezeigt.

Stark et al. (2007) untersuchten vier verschiedene Darstellungsarten für Karten, die zur Fußgänger-Navigation verwendet werden können. Dabei wurden in Bewegungsrichtung ausgerichtete Karten, in denen die Route eingezeichnet war, mit Interfaces verglichen, die zudem eine Audioausgabe oder Textanweisungen enthielten. Weiterhin wurde eine genordete Karte, die lediglich den eigenen Standpunkt und die Richtung, in der das Ziel liegt, anzeigte, in der Studie berücksichtigt. Landmarken wurden nur in den Textanweisungen in Form von Straßennamen referenziert. Die Ergebnisse zeigten, dass Nutzer, die lediglich mit einer Karte navigieren, schneller am Ziel sind und weniger Umwege machen als Nutzer, die zusätzlich Audioanweisungen erhalten (Stark et al., 2007, S. 692 f.). Die Karte, die nur die grobe Richtung des Ziels vorgab, schnitt bei der Navigationseffizienz relativ schlecht ab, jedoch konnten sich Nutzer besser an Landmarken erinnern (Stark et al., 2007, S. 693). Da die Testpersonen deutlich häufiger Unsicherheiten während der Navigation verspürten (Stark et al., 2007, S. 694), findet diese Art der Kartendarstellung in meinen Studien keine Berücksichtigung, wohingegen folgende Design-Richtlinien in meinem Kartendesign angewendet werden (Stark et al., 2007, S. 694):

- In Bewegungsrichtung ausgerichtete Karten werden gegenüber Audioanweisungen präferiert.
- Textanweisungen sollten immer die Bewegungsrichtung sowie eine Landmarke enthalten.
- Das Kartenmaterial sollte die Position der Nutzer, den Verlauf der Route, Landmarken sowie Straßennamen enthalten. Da es in Innenbereichen keine Straßennamen gibt, entfällt dies bei meinen Studien.
- Die Karte sollte eine Zoom-Funktion enthalten.

Zusätzlich zu der Analyse der Ausrichtung werden Karten beispielsweise mit Textanweisungen verglichen. C. Li (2006, S. 736) stellte fest, dass Karten insbesondere an schwierigen Entscheidungspunkten, die viele Möglichkeiten bieten, den Weg fortzusetzen, gegenüber Textanweisungen präferiert werden. Besonders zu Beginn der Aufgabe wird die kartografische Wegfindungshilfe häufiger verwendet (C. Li, 2006, S. 737).

Dillemuth (2005, S. 291) zeigte zudem auf, dass fotorealistic Satellitenbilder zu längeren Navigationszeiten führen als eine Karte, die keine realistische Information darstellt. Bezüglich des Referenzierungsbezugs stellten Suomela, Roimela und Lehikoinen (2003, S. 255) fest, dass zweidimensionale, allozentrische Karten zu einer schnelleren Wegfindung führen als egozentrische.

Weiterhin wurden verschiedene Kartendarstellungen vorgestellt und untersucht, die auf Landmarken Bezug nehmen: Schöning et al. (2009) präsentierten einen Ansatz, bei dem Nutzer „You-are-here“-Karten fotografieren konnten (siehe Kapitel 2.5). Innerhalb dieser Anzeige wurde daraufhin die Route eingezeichnet. Somit wurden Papierkarten direkt in digitale Kartendarstellungen umgewandelt. Die Motivation dieser Vorgehensweise war, dass in „You-are-here“-Karten häufig bereits Landmarken vermerkt sind, die bei der Orientierung dienlich sein können (Schöning et al., 2009, S. 14:3).

Wasinger, Stahl und Krüger (2003) stellten ein Navigations- und Informationssystem vor, das die Interaktion mit Landmarken ermöglichte. Ihr System ist potenziell auch im Innenbereich verwendbar, jedoch erfordert dies einen zusätzlichen Modellierungsaufwand (Wasinger et al., 2003, S. 482). Das Interface stellte eine schematische Karte dar, die zusätzlich Objekte und einen Navigationspfeil anzeigte. Die Objektauswahl basierte darauf, interessante Punkte für Touristen anzuzeigen. Ein Kernelement der Applikation war die Möglichkeit, mit den Landmarken zu interagieren, indem man beispielsweise durch eine Spracheingabe anfragt, wie eine Kirche in der Umgebung heißt (Wasinger et al., 2003, S. 483). Trotz des landmarkenzentrierten Ansatzes wurde nicht näher auf die Verwendung dieser Objekte für Navigationsanweisungen eingegangen. Auch Pospischil, Umlauf und Michlmayr (2002) stellten eine Applikation für Touristen vor, die in Kartendarstellungen Bezug auf Landmarken und Sehenswürdigkeiten nimmt. Weiterhin kombinierten van Elzaker, Delikostidis und van Oosterom (2008) Karteninterfaces mit der Anzeige von Points-of-Interest. Es wurden alle Objekte in der Umgebung der Nutzer angezeigt. Diese dienten jedoch nicht der Wegfindung, sondern sind lediglich als für Nutzer interessante Punkte einzuordnen.

Ein Navigationssystem, das direkt auf Landmarken zur Wegfindung verweist, wurde von Selvi et al. (2016) präsentiert. Dabei dienten Gebäude auf dem Campus einer Universität als Objekte für die Wegfindung. Diese wurden anhand einer Vorstudie identifiziert (siehe Selvi, Bildirici, Gartner & Ortog, 2011, S. 264). Während dieser wurde gefragt, welches Gebäude zur Erklärung einer Route am Campus verwendet werden würde, um einer Person, die sich auf dem Gelände nicht auskennt, den Weg zu erklären. Somit wurden Landmarken auf Gebäude reduziert und andere Objekte nicht berücksichtigt. Die Landmarken wurden anhand realistischer Icons in Anlehnung an die Design-Vorschläge von Elias und Paelke (2008) visualisiert. Alternativ erfolgte die Anzeige anhand von Pins, die zusätzlich den Namen des Gebäudes darstellten (Selvi et al., 2016, S. 5). Als Kartenmaterial dienten OpenStreetMap-Karten. Eine qualitative Studie zeigte positives Nutzerfeedback auf, jedoch wurde das System nicht mit anderen Designs verglichen. Auch die Landmarkenauswahl wurde nicht post hoc evaluiert.

Delikostidis et al. (2015) stellten ein Navigationssystem vor, das explizit auf Landmarken Bezug nahm. Dabei wurden die im Interface angezeigten Objekte anhand einer merkmalsbasierten Vorgehensweise ausgewählt. In diesem Zusammenhang wurde die Sichtbarkeit eines Objekts vom Standpunkt der Nutzer aus berechnet und berücksichtigt. Der Fo-

kus der Anzeige lag somit auf der Darstellung globaler Landmarken, die auch von Weitem sichtbar sind. In einer Studie zeigte sich, dass die Darstellung der Landmarken zu einer schnelleren Wegfindung führt. Weiterhin sind die Probanden zufriedener mit der landmarkenbasierten Anzeige und können sich anhand dieser besser orientieren (Delikostidis et al., 2015, S. 203). In dieser Untersuchung wurden jedoch keine unterschiedlichen Karten-Designs berücksichtigt.

Brügger, Richter und Fabrikant (2017) verwendeten Karten, die nur implizit auf Landmarken verwiesen, da entlang des Weges Gebäude wie „Die Post“ oder Bushaltestellen durch Icons referenziert wurden. Der Forschungsschwerpunkt in dieser explorativen Studie lag darin, den Zusammenhang von Interaktion mit dem Navigationsgerät und dem Erwerb von räumlichen Wissen zu untersuchen. Es zeigte sich, dass Personen mit einer dauerhaften Anzeige eines Lokalisierungspunkts deutlich größere Probleme beim Finden des Rückweges hatten, wobei sie jedoch in etwa die gleiche Zeit benötigten (Brügger et al., 2017, S. 35) .

Insgesamt ist zu sagen, dass die Ausrichtung einer Karte in Bewegungsrichtung auch für digitale Wegfindungssysteme sehr wichtig ist. Dies wird in meinen prototypischen Systemen umgesetzt. Weiterhin können aus den Untersuchungen der Kartendarstellungen für den Außenbereich Design-Richtlinien abgeleitet werden, wie beispielsweise die Erkenntnis von Stark et al. (2007), dass die Anzeige immer die Position der Nutzer, den Verlauf der Route sowie Landmarken enthalten sollte. Allozentrische und nicht realistische Kartendarstellungen führen im Allgemeinen zu einer schnelleren Wegfindung und werden deshalb in meinen Studien untersucht.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Anzeige von Landmarken zwar gängig, jedoch die Verwendung dieser Objekte zur Wegfindung zumeist nicht Forschungsschwerpunkt ist. Häufig werden alle verfügbaren Points-of-Interest mit Landmarken gleichgesetzt und angezeigt. Die Auswahl der Objekte wird zudem nicht post hoc evaluiert und unterschiedliche Kartendesigns werden nicht berücksichtigt. Lediglich Delikostidis et al. (2015) zeigten auf, dass die Referenzierung von Landmarken zu einer besseren Orientierung führt. Es bestätigte sich somit, dass die Integration dieser Objekte in ein Navigationssystem die Wegfindung unterstützt. Als abhängige Variablen werden Zeitmessungen sowie eine Workload-Erhebung mit dem NASA-TLX herangezogen. Auch der Erwerb des räumlichen Wissens ist ein Untersuchungsgebiet.

Nach Kray et al. (2003, S. 118 ff.) und Gartner und Radoczky (2006, S. 388 ff.) sind fotorealistische Darstellungen – neben Karten und Textanweisungen – die gängigste Form der Repräsentation von Wegfindungsinformationen. Im folgenden Kapitel wird auf diese Darstellungsformen eingegangen.

### 3.1.3 Fotorealistische Darstellungen

Fotorealistische Darstellungen stellen einen wichtigen Forschungsschwerpunkt in der Fußgänger-Navigation dar. Darunter fallen Bilder von Entscheidungspunkten oder Landmarken aber auch virtuelle und augmentierte Realität. Dabei wird teilweise eine „vorge-täuschte“ erweiterte Realität geschaffen, indem vorher aufgenommene Bilder von Entscheidungspunkten mit Richtungspfeilen überlagert werden und die Augmentation somit nicht in Echtzeit geschieht (siehe z. B.: Walther-Franks & Malaka, 2008). Im Folgenden

werden Studien vorgestellt, die derartige Darstellungen mit Kartenmaterial vergleichen. Dies soll Vor- und Nachteile fotorealistischer Anzeigen gegenüber der Visualisierung von Kartenmaterial aufzeigen.

Mulloni, Seichter und Schmalstieg (2011b) untersuchten, zu welchem Zeitpunkt Augmented-Reality-Darstellungen bei der Navigation zum Einsatz kommen sollten. Hierzu konnten die Testpersonen selbst entscheiden, wann sie eine Karte oder ein Umgebungsbild mit überlagerten Navigationspfeilen sehen wollten. Es zeigte sich, dass die Karte während der gesamten Wegfindungsaufgabe verwendet wurde, wohingegen die Augmented-Reality-Ansicht kurz vor oder nach Entscheidungspunkten betrachtet wurde. Eine Erklärung hierfür sei, dass Personen sich dadurch eindeutig entscheiden können, welche Richtung eingeschlagen werden muss (Mulloni et al., 2011b, S. 230). Landmarken wurden in dieser Studie nur implizit referenziert, indem beispielsweise Straßennamen eingeblendet wurden.

Partala und Salminen (2012) führten eine ähnliche Studie durch, in der sie drei unterschiedliche Interfaces miteinander verglichen. Zusätzlich zum „klassischen“ Kartenmaterial wurden Satellitenkarten und die Street-View-Ansicht von Google (Google, 2018b) im Experiment berücksichtigt. Wie auch in den Untersuchungen von Mulloni, Seichter und Schmalstieg (2011a) wurden Landmarken implizit durch die Anzeige von Straßennamen oder fotorealistischen Darstellungen der Umgebung referenziert. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass Testpersonen Objekte entlang der Route mit der Street-View-Ansicht einfacher identifizieren konnten. Jedoch verbrachten sie vergleichsweise mehr Zeit damit, auf diese Ansicht zu blicken. Dies wurde anhand einer Selbsteinschätzung der Nutzer gemessen. Zudem wurde die pragmatische und hedonische Qualität nach Hassenzahl (2004) bewertet. Es zeigte sich, dass die „klassische“ Karte höhere Werte für die pragmatische Qualität und demnach der Benutzbarkeit aufweist. Im Gegensatz dazu bieten die fotorealistischen Ansichten mehr hedonische Qualität, also eine angenehmere Nutzungserfahrung. Darüber hinaus ist die Street-View-Ansicht anstrengender und verursacht mehr Frustration. Dies wurde wie bei Goodman et al. (2004) mit dem NASA-TLX gemessen (Partala & Salminen, 2012, S. 206).

Wen, Helton und Billinghamurst (2013) stellten fest, dass in Bewegungsrichtung ausgerichtete Karten einfacher zu verwenden sind. Zudem zeigen diese das Navigationsziel deutlicher auf als eine Kompass- oder Augmented-Reality-Darstellung. Weiterhin reduzieren sie den Workload während der Navigation. Kartendarstellungen binden jedoch auch die meisten Aufmerksamkeitsressourcen (Wen et al., 2013, S. 1960 f.).

Fröhlich, Simon, Baillie und Anegg (2006) untersuchten, in welcher Darstellungsart Landmarken von Nutzern am besten wahrgenommen werden können. Es zeigte sich, dass die Probanden eine Karte mit textuellen Hinweisen gegenüber einer Kompassdarstellung und einer fotorealistischen Anzeige präferieren (Fröhlich et al., 2006, S. 111).

Chittaro und Burigat (2005) verglichen drei unterschiedliche Interface-Konfigurationen für mobile Touristenführer. Als Basissystem diente eine zweidimensionale Kartendarstellung. Diese wurde mit einer Karte verglichen, die es zudem erlaubte, Fotos der Navigationsszene anzuzeigen. Die Fotos wurden an Entscheidungspunkten präsentiert und es wurden zudem Richtungspfeile eingeblendet. Das dritte Vergleichssystem visualisierte auch Fotos, jedoch wurde anstelle der Karte lediglich ein einfacher Richtungspfeil verwendet. Auf Landmarken wurde in der fotorealistischen Darstellung kein direkter Be-

zug genommen. In der Kartendarstellung wurde auf Points-of-Interest verwiesen. Als abhängige Variablen wurden neben Navigationsfehlern und der gesamten Navigationszeit die Zeit erhoben, die eine Person benötigt, um sich zu orientieren. Dies ähnelt dem Ansatz der in meinen Experimenten verfolgt wird, jedoch wurde bei Chittaro und Burigat (2005, S. 111) die Zeit so definiert, dass sie endet, sobald eine Person zu gehen beginnt. In meinen Experimenten konnte ich anhand der erhobenen Eye-Tracking-Daten jedoch beobachten, dass Personen die zur Navigation notwendige Selbstverortung nicht zwangsläufig im Stehen durchführen. Demnach greife ich wie bereits beschrieben auf die Definition von „Orientierungszeit“, die in Kray et al. (2003) beschrieben ist, zurück. Chittaro und Burigat (2005, S. 112 f.) zeigten auf, dass die Nutzer mit einer reinen Kartendarstellung länger brauchen, um sich zu orientieren. Weiterhin wurde die Nützlichkeit der Fotoanzeige höher bewertet als die der Richtungspfeile. Die Testpersonen äußerten, dass fotorealistische Darstellungsformen die Zufriedenheit beim Navigieren erhöhen, jedoch Fotografien teilweise schwer zu interpretieren sind, da die Perspektive nicht immer der eigenen aktuellen Position entspricht.

Beeharee und Steed (2006) führten eine qualitative Studie durch, anhand derer sie die Eignung von Fotografien für die Navigation untersuchten. Dabei konnten die Nutzer durch Anklicken eines Icons auf einer Kartendarstellung Fotos von Landmarken an Entscheidungspunkten und entlang der Route aufrufen. Die Bilder wurden von den Testleitern für das Experiment erstellt. Die Testpersonen äußerten sich positiv gegenüber der Möglichkeit, Fotografien während der Navigation als Entscheidungshilfe heranziehen zu können. Jedoch kann es verwirrend sein, wenn die Perspektive der Aufnahmen nicht der tatsächlichen Nutzerposition entspricht (Beeharee & Steed, 2006, S. 87). Bezüglich der Kartendarstellung wurde festgestellt, dass die „Zoom“-Funktion von Nutzern nicht als nützlich erachtet wird (Beeharee & Steed, 2006, S. 84). Dies deckt sich mit meinen Beobachtungen (siehe z. B.: Kapitel 6.7.1), widerspricht jedoch den Design-Vorschlägen von Stark et al. (2007, S. 694). Weiterhin zeigt sich auch hier (siehe z. B.: Padgitt & Hund, 2012), dass eine metrische Distanzangabe von Navigierenden schlecht abgeschätzt werden kann (Beeharee & Steed, 2006, S. 88).

Einen ähnlichen Untersuchungsgegenstand hatte die Studie von Hile et al. (2008). Jedoch basierte die Auswahl der Landmarkenbilder in diesen Experimenten darauf, wie viele Fotos in einer von Nutzern befüllten Datenbank von einer bestimmten Landmarke hochgeladen wurden. Zudem wurde errechnet, ob das Objekt von der Route aus sichtbar ist. Darüber hinaus wurden in den Fotos Richtungspfeile angezeigt. Auf der Kartenansicht, die als Vergleichsinterface diente, waren hingegen Landmarken nur implizit vorhanden, da ein Satellitenbild verwendet wurde, das zum Beispiel Parks und Gebäudeumrisse sichtbar machte. Es wurden zudem keine Textanweisungen angezeigt, die sich auf Landmarken bezogen (Hile et al., 2008, S. 149). Die explorative Untersuchung zeigte, dass die Fotos insbesondere an Entscheidungspunkten als hilfreich erachtet werden, jedoch Verwirrung auftritt, wenn die Perspektive der Bilder nicht der eigenen Position entspricht. Demnach decken sich diese Ergebnisse mit denen der Studie von Beeharee und Steed (2006). Zudem scheinen die Richtungspfeile die Testpersonen zu verwirren. Insgesamt fanden die Teilnehmer die Kartenansicht am hilfreichsten (Hile et al., 2008, S. 150).

Auch Walther-Franks und Malaka (2008) verglichen Fotografien, die im Vorfeld des Experiments aufgenommen wurden, mit einer Kartendarstellung. Zudem wurden in den

Bildern auch Richtungspfeile angezeigt (ähnlich wie bei Hile et al. (2008)). Es zeigte sich, dass die Testpersonen die Kartenansicht bezüglich des System-Usability-Scores (siehe dazu Brooke (1996)) deutlich schlechter bewerteten (Walther-Franks & Malaka, 2008, S. 102). Insbesondere wenn Personen sich auf offenen Flächen bewegten, verloren sie mit der Karte die Orientierung. Dies lag jedoch hauptsächlich daran, dass diese immer nach Norden ausgerichtet war und zudem Pfade quer über Flächen im Kartenmaterial nicht vorhanden waren, sodass die Personen immer an den Rand des Platzes geführt wurden (Walther-Franks & Malaka, 2008, S. 101). Auch hier merkten die Testpersonen an, dass die Rezeption der Fotos stark davon abhängt, ob diese aus dem richtigen Blickwinkel aufgenommen wurden und demnach das Objekt gut zu erkennen ist (Walther-Franks & Malaka, 2008, S. 104). Die metrischen Distanzangaben zum Ziel wurden nur sehr selten beachtet (Walther-Franks & Malaka, 2008, S. 103).

Rehrl et al. (2012) verglichen Kartendarstellungen mit Sprachanweisungen und einer Augmented-Reality-Ansicht, bei der in Form von runden Markierungen auf das Ziel hingewiesen wurde. Landmarken wurden in beiden Visualisierungen implizit durch die Darstellung von Gebäuden und Straßennamen referenziert. In den Sprachanweisungen hingegen wurde teilweise explizit auf Gebäude oder Plätze verwiesen (Rehrl et al., 2012, S. 8). Die Ergebnisse einer Nutzerstudie zeigten, dass die Testpersonen mit der Augmented-Reality-Ansicht deutlich häufiger anhalten, um sich neu zu orientieren und einen höheren Workload erleben. Jedoch wurde die Usability der Augmented-Reality-Visualisierung besser bewertet. Zwischen der Kartenansicht und den Sprachanweisungen konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Eine interessante Beobachtung in dieser Studie war, dass insbesondere die ungenaue Positionsangabe der Augmented-Reality-Anwendung die Nutzer verwirrte und zu schlechter Gebrauchstauglichkeit führte, wohingegen die schlechte Verortung keinen Einfluss auf die Navigationsleistung beim Gebrauch der Kartenansicht hatte (Rehrl et al., 2012, S. 17 f.). Diese Erkenntnis ist einer der Gründe, warum ich in meiner Arbeit keine augmentierten Interfaces zum Vergleich herangezogen habe, da zum Zeitpunkt der Durchführung meiner Studien keine verlässliche Indoor-Lokalisierung zur Verfügung stand.

Im Allgemeinen können fotorealistische Darstellungen besonders an schwierigen Entscheidungspunkten hilfreich sein. Sie werden zudem positiver rezipiert. Jedoch verursachen sie mehr Workload (Wen et al., 2013, S. 1960 f.). Je nach Design können fotorealistische Darstellungen die Effizienz der Wegfindung erhöhen oder senken. Landmarken werden innerhalb dieser Darstellungen häufig nur implizit referenziert. Die Abbildung der Umgebung enthält dabei auffällige Objekte, allerdings wird auf diese nicht durch einen Hinweis oder eine Textanweisung Bezug genommen. Die Darstellung von Landmarken innerhalb von Kartenmaterial kann jedoch beispielsweise durch Icons explizit erfolgen und wird besser wahrgenommen (Fröhlich et al., 2006, S. 111). Zudem werden auch in fotorealistischen Darstellungen – wie schon beim Kartenmaterial – Points-of-Interest mit Landmarken gleichgesetzt und die Auswahl der Objekte erfolgt nicht durch einen nutzerzentrierten Ansatz. Kartendarstellungen sind besonders bei ungenauen Positionswerten einfacher zu rezipieren. Fotografien hingegen sind stark von dem Ort und der Qualität der Aufnahme abhängig. In meiner Arbeit beschränke ich mich auf die Analyse von unterschiedlichem Kartenmaterial. Fotorealistische Darstellungsformen könnten jedoch in zukünftigen Studien in Kombination mit meinen Designs verwendet werden. Aus der

Analyse dieser Anzeigeart kristallisieren sich hingegen abhängige Variablen heraus, die ich in meiner Forschung heranziehe. Diese sind die gesamte Navigationszeit, die Orientierungszeit, der Workload sowie die Usability, die beispielsweise mit dem System-Usability-Scale gemessen werden kann.

Neben der Anzeige von Karten und fotorealistischen Abbildungen werden zudem Darstellungsformen untersucht, die zumeist weitere Hardware benötigen. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

### 3.1.4 Weitere Darstellungsarten

Neben den bereits beschriebenen Ansätzen, Routeninformationen auf Smartphones darzustellen, wird in der Forschung zur Fußgänger-Navigation auch weitere Hardware untersucht. Dabei wird häufig eine Routenanweisungen auf dem Smartphone mit anderen Geräten kombiniert.

Seo et al. (2016) präsentierten beispielsweise einen Ansatz, der Landmarken anhand von Fotos anzeigte. Dabei wurden auch Panoramabilder sowie ein Richtungspfeil im Interface einer Augmented-Reality-Brille eingeblendet. Weiterhin wurde eine synchronisierte Kartenansicht auf einem Smartphone präsentiert. In diesem Zusammenhang wurden Fotografien von Points-of-Interest mit Landmarken gleichgesetzt. Je näher der potenzielle Point-of-Interest an der Route liegt und je höher das Objekt im Vergleich zu den anderen Objekten in der Umgebung ist, desto höher wird seine Eignung als Landmarke eingestuft. Dieses prototypische System ist bis dato jedoch nicht anhand einer Nutzerstudie evaluiert, zeigt aber, dass im Verlauf der Forschung der Fokus immer deutlicher auf Landmarken gelegt wird. Auch wird ersichtlich, dass mobile Kartendarstellungen in Zukunft beispielsweise mit einer Anzeige in Augmented-Reality-Brillen kombiniert werden können (siehe dazu z. B. auch das prototypische System von Schmalstieg und Reitmayr (2007)).

Rukzio, Müller und Hardy (2009) untersuchten, wie digitale Kartenanzeigen durch „public displays“ unterstützt werden können. Dabei installierten sie an Entscheidungspunkten zusätzliche Hardware, die, sobald sich ein Nutzer nähert, die Richtung durch ein aufblinkendes Licht visualisiert. Es zeigte sich, dass die zusätzliche Anzeige des „public displays“ den Workload der Probanden senkt (Rukzio et al., 2009, S. 300). Auch Müller, Jentsch, Kray und Krüger (2008) untersuchten, wie „public displays“ für die Wegfindung eingesetzt werden können. In diesem Zusammenhang wurden Karten auf öffentlichen Bildschirmen angezeigt. Zusätzlich erhielten die Nutzer Anweisungen auf einem Smartphone. Es stellte sich heraus, dass die öffentlichen Bildschirme vermehrt am Anfang der Wegfindung verwendet werden. Das Smartphone wird hingegen während der gesamten Aufgabe konsultiert (Müller et al., 2008, S. 316).

In N. Wenig et al. (2017) wurden zusätzlich zu Navigationsanweisungen mit Straßennamen, globale Landmarken auf Smartwatches angezeigt. Die Bildschirmfläche, die für Routeninstruktionen zur Verfügung stand, war somit deutlich kleiner als bei Smartphones. Eine Nutzerstudie zeigte, dass Probanden zufriedener mit dieser Anzeige sind, verglichen mit einer Darstellung, die ohne Landmarken ans Ziel führt (N. Wenig et al., 2017, S. 7:8). Dies zeigt auf, dass die Anzeige von Landmarken auch für kleine Displays einen Vorteil mit sich bringt.

Eine weitere wichtige Forschungsrichtung im Bereich der Fußgänger-Navigation beschäftigt sich mit taktilen Interfaces. Dabei wird anstelle von visuellen Navigationsanzeigen auf verschiedene Vibrationsmuster zurückgegriffen, um den Weg beziehungsweise die Richtung zu beschreiben. Dies soll die Ablenkung der Nutzer während der Navigation reduzieren (Pielot, Poppinga, Heuten & Boll, 2011, S. 3132). Ein Navigationssystem, das auf taktilen Feedback setzt, ist beispielsweise der „Tacticle Wayfinder“, beziehungsweise der „PocketNavigator“ (Pielot & Boll, 2010; Pielot, Poppinga, Heuten & Boll, 2012). Dabei wird entweder ein Gürtel eingesetzt (Pielot & Boll, 2010) oder direkt auf die Vibrationsfunktion des Smartphones zurückgegriffen (Pielot et al., 2012). So kann zum Beispiel ein zweimaliges kurzes Vibrieren für „geradeaus“ stehen (Pielot et al., 2012, S. 3133). Im Rahmen einer Studie wurde aufgezeigt, dass Personen, die die Vibrationsfunktion aktiviert haben, signifikant weniger mit dem Smartphone interagieren und das Display häufiger deaktivieren (Pielot et al., 2012, S. 3137). Dabei wurde zusätzlich eine Kartendarstellung zur Navigation angeboten, die jedoch keine Landmarken enthielt (Pielot et al., 2012, S. 3133). Die subjektiven Zufriedenheitsmaße zeigten, dass die Testpersonen sowohl die Karte als auch die taktile Rückmeldung etwa gleich nützlich zur Selbstverortung einschätzen (Pielot, Henze & Boll, 2009, S. 23:7). Ein ähnliches Konzept wurde auch von Rümelin, Rukzio und Hardy (2011) evaluiert. Dabei wurden zunächst unterschiedliche Vibrationsmuster auf ihre Tauglichkeit hin untersucht, Richtungsinformationen zu kommunizieren. Die am besten bewerteten Vibrationsmuster wurden mit dem taktilen Feedback von Pielot et al. (2012) und Audioausgaben, die sich auf metrische Anweisungen bezogen, verglichen. Die Ergebnisse zeigten auf, dass sich das taktile Feedback in Bezug auf Navigationsfehler und Usability-Bewertungen nicht von sprachlichen Anweisungen unterscheidet (Rümelin et al., 2011, S. 301 f.). Eine Erweiterung der haptischen Rückmeldungsfunktionen wurde von Jacob, Mooney und Winstanley (2011) vorgeschlagen. Dabei können die Nutzer zusätzlich zu Vibrationsmustern, die sie zum Ziel führen, mit ihrem Navigationsgerät die Umgebung „scannen“ und erhalten eine Rückmeldung durch eine Vibration, sobald sie in die Richtung des nächsten Wegpunktes deuten. Dadurch sollen die Wegfinder mehr Freiheit während der Navigation haben, da sie sich nicht strikt an die kürzeste Route halten müssen (Jacob et al., 2011, S. 17). Smets et al. (2008) untersuchten taktilen Feedback in Kombination mit verschiedenen Kartenausrichtungen. Dabei mussten die Testpersonen in einer virtuellen Umgebung eine Person auffinden und wieder zum Startpunkt zurückkehren. Als Navigationshilfe diente dabei eine Karte, die entweder nach Norden oder in Bewegungsrichtung ausgerichtet war. Weiterhin trugen die Testpersonen eine Weste, die taktilen Feedback geben konnte. Es zeigte sich, dass das in Bewegungsrichtung ausgerichtete Kartenmaterial zu einem signifikant besseren Navigationserfolg führte, wobei das taktile Feedback keine Verbesserung hervorrief. Darüber hinaus bewerteten die Testpersonen die Karte als nützlicher und komfortabler (Smets et al., 2008, S. 78).

In keiner der oben genannten Studien wurde explizit auf Landmarken Bezug genommen. Diese Lücke versuchten Srikulwong und O'Neill (2011) zu schließen, indem sie bestimmten Vibrationsmustern auffällige Objekte zuordneten. Hierzu verwendeten sie einen Vibrationsgürtel und evaluierten ihr Konzept in einer Laborstudie. Die Anzahl war jedoch auf sieben mögliche Landmarken eingeschränkt (Srikulwong & O'Neill, 2011, S. 2032). In Kombination mit haptischem Feedback, das auf die Richtung verweist, wurden Landmarkenmuster mit etwa 80 % Genauigkeit erkannt. Weiterhin konnten sich die Testpersonen

Landmarkenvibrationsmuster im Vergleich zu Richtungsanweisungen schlechter merken (Srikulwong & O’Neill, 2011, S. 2037). Taktile Navigation mit Vibrationsmustern – sei es ausgelöst durch Smartphones oder „wearable devices“ – können im Allgemeinen nur sehr geringfügig Landmarken in Anweisungen referenzieren, da Personen bereits bei wenigen Vibrationsmustern Schwierigkeiten haben, sich diese zu merken (siehe Pielot et al. (2012, S. 3137) sowie Srikulwong und O’Neill (2011, S. 2032)). Somit ist eine Kodierung vieler unterschiedlicher Objekte kaum möglich. Ähnlich verhält es sich mit Ansätzen, bestimmte Tonfolgen für solche Zwecke einzusetzen (siehe z. B.: Lin, Cheng & Yu, 2008).

Die soeben beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, dass Wegfindungsinformationen auch mit zusätzlicher Hardware oder Vibrationsmustern kommuniziert werden können. Jedoch ist insbesondere bei Anweisungen, die auf taktilem Feedback beruhen, die Referenzierung von Landmarken fast unmöglich. Zudem stellt sich heraus, dass Probanden dem Smartphone immer noch mehr Aufmerksamkeit schenken als „public displays“. Häufig werden prototypische Systeme nicht mit Kartenmaterial verglichen, sodass keine Aussage dazu gemacht werden kann, ob diese einen Vorteil bei der Wegfindung bringen. Die Studie von N. Wenig et al. (2017) belegte jedoch erneut, dass der Bezug auf Landmarken bei der Orientierung hilft.

Aus den Studien im Außenbereich habe ich bereits mehrere Design-Empfehlungen abgeleitet, die ich für meine Experimente anwende. Zudem stellte sich heraus, dass insbesondere die Zeit, die zur Wegfindung benötigt wird und subjektive Zufriedenheitsmaße gängige abhängige Variablen darstellen. Im folgenden Kapitel wird nun zusammengefasst, welche Interface- und Experimentdesigns im Innenbereich üblich sind und wie sich dies auf meine Arbeit auswirkt. Zudem zeige ich die Forschungslücke auf, die ich mit meinen Experimenten schließe.

## 3.2 Innenbereich

Bezüglich des Designs und der Implementierung von Fußgänger-Navigationssystemen für den Innenbereich sind im Vergleich zum Außenbereich einige Einschränkungen zu beachten. So ist beispielsweise im Innenraum kein GPS-Signal verfügbar, das zur Positionsbestimmung der Nutzer herangezogen werden kann (Huang & Gartner, 2010, S. 307). Folglich muss auf andere Signale wie WLAN oder Bluetooth zurückgegriffen werden (Fallah et al., 2013, S. 23). Für meine Studien stand keine Lokalisierungstechnik zur Verfügung. Aus diesem Grund mussten die Nutzer durch Drücken eines „Weiter“-Buttons selbst entscheiden, wann sie die nächste Anweisung erhalten wollten.

Weiterhin ist im Innenbereich selten routingfähiges Kartenmaterial verfügbar. Somit ist häufig im Vorfeld eine Modellierung eines Wegenetzes nötig (Karimi, 2011, S. 62 ff.). In dieser Arbeit baue ich auf ein im Rahmen eines Forschungsprojektes meines Kollegen Manuel Ullmann, geb. Müller, angelegtes Umgebungsmodell der Universität Regensburg auf. In diesem Zusammenhang wurde der gesamte Campus modelliert und für meine Arbeit relevante Punkte wie Treppen und Türen verortet. Details zu diesem Vorgehen sind in Müller et al. (2017) und Müller, Ohm und Ludwig (2014) näher beschrieben.

Das für Innenräume verfügbare Kartenmaterial liegt zudem in unterschiedlicher Qualität bezüglich der Genauigkeit und Art der Darstellung vor, da es für diesen Bereich keine einheitlichen Design-Richtlinien gibt (Lorenz et al., 2013b, S. 201). Des Weiteren unter-

scheiden sich Landmarken im Innenbereich von auffälligen Objekten im Außenbereich (siehe Kapitel 2.4.1).

Im Folgenden wird ein Überblick über verschiedene Darstellungsarten von Routeninformationen im Innenbereich gegeben. Hier werden auch Systeme aufgeführt, die die Navigation im Innen- und Außenbereich verbinden. Wie bereits für den Außenbereich werden unterschiedliche Darstellungsarten aufgezeigt. Dabei wird im Speziellen auf das verwendete Kartenmaterial eingegangen. Zudem wird beschrieben, wie diese Anzeigen evaluiert wurden.

### 3.2.1 Textanweisungen

Ein Forschungsschwerpunkt im Innenbereich liegt darin, unterschiedliche Arten von Textanweisungen zu untersuchen. Dabei wird insbesondere versucht, die Frage zu beantworten, welche Informationen diese beinhalten müssen, um den Fußgänger bei der Wegfindungsaufgabe zu unterstützen.

Nurmi et al. (2011) untersuchten zwei verschiedene Anweisungsarten in einem Supermarkt. Dabei wurde auf zwei Landmarken-Kategorien Bezug genommen. Diese basierten zum einen auf der Beschilderung, die sich bereits in den Gängen des Marktes befand („Gehen Sie zur Gemüseabteilung“). Die zweite Variante referenzierte Produkte („Gehen Sie an der Eiscreme vorbei“). Die Landmarken sind dabei von den Testleitern festgelegt worden (Nurmi et al., 2011, S. 36). Weiterhin mussten die Probanden auch ohne Hilfe und demnach nur anhand der Beschilderung des Marktes an ihr Ziel finden. Die Anweisungen erhielten die Testpersonen dabei als Sprachausgabe (Nurmi et al., 2011, S. 35). Die landmarkenbasierte Navigation führte die Nutzer an ihr Ziel, wohingegen die Wegfindung ohne Hilfe häufig fehlschlug (Nurmi et al., 2011, S. 38). Weiterhin waren die Fußgänger mit der Referenzierung der Beschilderung erfolgreicher. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Suche nach spezifischen Produkten mehr visuelle Ressourcen fordert (Nurmi et al., 2011, S. 40). Als zusätzliche abhängige Variable wurde gemessen, wie viel räumliches Wissen sich die Probanden während der Wegfindungsaufgabe aneignen konnten. Es stellte sich heraus, dass bei beiden Anweisungsarten insgesamt sehr wenig räumliche Information gemerkt wird, obwohl die Sprachausgabe keine visuelle Aufmerksamkeit von den Probanden fordert (Nurmi et al., 2011, S. 40). Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen von Münzer et al. (2006, S. 305) im Außenbereich. Eine Navigationshilfe wird zwar als sinnvoll eingestuft, jedoch kann anhand dieser kaum räumliches Wissen angeeignet werden.

Der räumliche Aufbau des Gebäudes, in dem die Navigation stattfand, bestimmte die Anweisungsarten, die von Mast, Jian und Zhekova (2012) untersucht wurden. Die Autoren gehen allgemein davon aus, dass die Navigation durch größere Freiflächen, wie beispielsweise Aulen oder Hallen, Anweisungen benötigt, die durch mehr räumliche Information angereichert sind. Anstelle sich von einer Landmarke zur nächsten zu bewegen, sollte die gesamte Aufgabe beschrieben werden. Diese „deskriptiven“ Anweisungen erklären die Szene, indem sie beispielsweise sehr genau angeben, wo sich in der Halle Türen und Treppen befinden. Die Anweisungsgenerierung und die Landmarkenauswahl wurde für die Studie von den Testleitern durchgeführt (Mast et al., 2012, S. 1973 f.). Die Testpersonen erhielten die Instruktionen vor dem Navigationstask an einem Infokiosk in schriftlicher Form und mussten sich dort die Route merken (Mast et al., 2012, S. 1974). Mit

den „deskriptiven“ Anweisungen fanden die Probanden häufiger und mit weniger Umwegen ans Ziel. Des Weiteren fühlten sie sich dabei sicherer (Mast et al., 2012, S. 1975 f.). Eine automatische Generierung von deskriptiven Anweisungen erfordert jedoch weitere Untersuchungen.

Millonig und Schechtner (2007, S. 46) führten Nutzer per Sprachausgabe in einem Bahnhof ans Ziel. Dabei wurde besonders viel Wert auf die Integration von Landmarken gelegt. Diese sind anhand einer Nutzerbefragung gewonnen worden (siehe Sefelin et al., 2005). Eine Evaluation zeigte auf, dass die Sprachinstruktionen nicht zu viele Landmarken beinhalten sollten, da die Nutzer sonst die wesentliche Information vergessen (Sefelin et al., 2005, S. 289). Diese Ergebnisse weisen somit einen Widerspruch zu Mast et al. (2012) auf.

Xu et al. (2014) untersuchten Textanweisungen, die auf einer Aufnahme des momentanen Blickpunktes der Probanden basierten. Die Anweisungen enthielten viele Landmarken wie Türen, Räume oder Aufzüge und beschrieben ähnlich zu Mast et al. (2012) die Szene relativ genau. Die Textanweisungen wurden mit einer zweidimensionalen Karte verglichen, in der jedoch keine Landmarken eingezeichnet waren. Zur Evaluation wurden die Zeit zur Bewältigung der Aufgabe sowie subjektive Zufriedenheitsmaße als abhängige Variablen herangezogen. Es stellte sich heraus, dass die landmarkenbasierten Textanweisungen zu einer höheren Zufriedenheit der Nutzer führen (Xu et al., 2014, S. 117 f.).

Textanweisungen, die Landmarken referenzieren, sind demnach ein effektives Hilfsmittel, das sowohl die Nutzerzufriedenheit als auch die Effizienz der Wegfindung steigert. Aus diesem Grund werden diese in allen meinen Studien zusätzlich zur Kartendarstellung präsentiert. Die Landmarkenauswahl innerhalb der beschriebenen Untersuchungen wird häufig von den Testleitern getroffen. In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass detaillierte Informationen besser geeignet sind. Wird hingegen ein nutzerzentriertes Landmarken-Auswahlverfahren wie bei Millonig und Schechtner (2007) herangezogen, so sollte die Menge der kommunizierten Information reduziert werden. Im Folgenden soll nun aufgezeigt werden, welche Kartendarstellungen für die Wegfindung im Innenbereich bereits untersucht worden sind.

### 3.2.2 Kartendarstellungen

Nach Huang und Gartner (2010, S. 312) sind Gebäudepläne die für die Indoor-Navigation am häufigsten verwendete Anzeigeform. Folglich beschäftigten sich diverse Studien mit der Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Kartendarstellungen.

Bereits 1997 stellten Abowd et al. einen Navigationsprototypen für Innenbereiche vor, der sehr detailliertes Kartenmaterial anzeigte. In dieser frühen Phase waren jedoch technische Einschränkungen wie die Größe des Interfaces und die Datenübertagung Forschungsschwerpunkt (Abowd et al., 1997, S. 430).

In neueren Studien wurde zum Beispiel von Hermann, Bieber und Duesterhoeft (2003) eine Untersuchung zur Kartenausrichtung durchgeführt. Anhand der Zeit und der Fehler, die die Testpersonen während der Wegfindungsaufgabe machten, konnte ermittelt werden, dass eine automatisch ausgerichtete Karte gegenüber einer genordeten besser abschneidet. In der dritten untersuchten Ausprägung konnten die Probanden das Gerät drehen. Auch diese Form der Karten-Navigation war weniger effizient als die automati-

sche Ausrichtung. Auf Landmarken wurde nicht direkt Bezug genommen. Für den untersuchten Innenbereich wurden somit etwas andere Ergebnisse als im Außenbereich erzielt (siehe Seager & Fraser, 2007). Eine automatische Ausrichtung ist folglich besser als das manuelle Drehen des Gerätes. Demnach wurde in meinen Studien nicht näher darauf eingegangen, das händische Drehen des Gerätes von Nutzern zu ermöglichen oder zu untersuchen. Weiterhin erwähnenswert ist, dass die verwendete Kartendarstellung von Hermann et al. (2003, S. 35) sehr ähnlich zu meinen in Kapitel 5 und 6 beschriebenen Visualisierungen ist.

Bouwer, Nack und El Ali (2012) implementierten ein Navigationssystem für eine Messe. Dabei wurde ein Hallenplan mit eingezeichneten Messeständen sowie die aktuelle Nutzerposition eingezeichnet. Die Position wurde anhand einer Wi-Fi-Lokalisierungskomponente ermittelt. Die Karte war statisch nach Norden ausgerichtet (Bouwer et al., 2012, S. 174). Auf Landmarken wurde nur implizit durch Standnummern sowie Toiletten- und Restaurant-Icons Bezug genommen. Die Standnamen beispielsweise wurden nicht referenziert (Bouwer et al., 2012, S. 174). In einer Evaluation wurde ermittelt, dass die Testpersonen ihr Ziel effizient erreichen. Jedoch war es für die Nutzer schwer, die Landmarken, also die Stände der Messehalle, zu identifizieren und sich selbst zu verorten (Bouwer et al., 2012, S. 178). Folglich habe ich in meinen Studien den Fokus darauf gelegt, die Landmarken sehr deutlich durch Icons hervorzuheben. Zudem wird auf diese Objekte in einer Textanweisung verwiesen.

Ähnliche Erkenntnisse machten auch Puikkonen et al. (2009). Diese Studie wurde in einem Einkaufszentrum durchgeführt. Auch hierbei wurden Landmarken nur implizit durch das Anzeigen unterschiedlicher Geschäfte im Einkaufszentrum referenziert. Die Anzahl der Objekte konnte anhand von Kategorie-Filtern durch Nutzereingaben verändert werden (Puikkonen et al., 2009, S. 16:2). Die Testpersonen wurden bei der Durchführung verschiedener Aufgaben, wie dem Finden eines bestimmten Ladens, beobachtet. Die Autoren empfehlen, die digitale Kartenrepräsentation für den Innenbereich stark zu vereinfachen, um die kognitive Belastung der Nutzer zu minimieren. Weiterhin haben die Nutzer nach weiteren Landmarken gesucht, um sich besser orientieren zu können. Folglich wird empfohlen, stärker auf auffällige Objekte Bezug zu nehmen (Puikkonen et al., 2009, S. 16:4).

Krisp et al. (2015) visualisierten Indoor-Routen in einem dreidimensionalen Modell eines Universitätsgebäudes. Dabei wurden Gebäudepläne, die von der Universitätsverwaltung zur Verfügung gestellt wurden, nachbearbeitet und mit Landmarken wie Toiletten, Aufzügen und Treppen angereichert (Krisp et al., 2015, S. 38 f.). Die Darstellung war dabei nach Norden ausgerichtet und visualisierte die Route anhand einer roten Linie (Krisp et al., 2015, S. 40 f.). Als Nutzergruppe wurden Studierende festgelegt. Diese kennen den allgemeinen Aufbau der Universität und haben zumeist Smartphone-Erfahrung. Dies ermöglicht, dass sie anhand der Visualisierung ihr mentales Modell der Umgebung und somit ihre kognitive Karte weiter ausbauen können und die Applikation ihnen bei der Wegfindung helfen kann (Krisp et al., 2015, S. 38). Eine Nutzerbefragung ergab sehr hohe Werte für die Übersichtlichkeit und Verständlichkeit der Darstellung. Jedoch wurde das System nicht mit anderen Darstellungen verglichen.

Lorenz, Thierbach, Baur und Kolbe (2013a) untersuchten zweidimensionale und dreidimensionale Karten. Dabei wurde die 2D-Ansicht in mehrere Teilstücke unterteilt, wo-

hingegen die 3D-Karte einen Überblick der Route bot. Somit wurde in den Darstellungen entweder Überblicks- oder Routeninformation visualisiert. In einer Nutzerstudie zeigte sich, dass die Probanden mit der 3D-Anzeige zufriedener sind (Lorenz et al., 2013a, S. 205). Es ist anzumerken, dass die Vergleichbarkeit der Karten aufgrund des unterschiedlichen Bezugs sehr eingeschränkt ist. In diesem Zusammenhang wurden zudem Landmarken referenziert, die von den Testleitern ausgewählt wurden. Die Anzahl variierte dabei zwischen den Interfaces und für jeden Schritt der zweidimensionalen Darstellung. Es zeigte sich, dass eine Referenzierung mehrerer Landmarken in der Karte entgegen den Annahmen der Forscher nicht besser bewertet wird (Lorenz et al., 2013a, S. 206). Inwiefern die Anzeige mehrerer Landmarken bei der Wegfindung dienlich sein kann, untersuche ich innerhalb der Studie, die in Kapitel 7 beschrieben ist.

Bezüglich der Aneignung von räumlichem Wissen wurden zwischen zweidimensionalen und dreidimensionalen Karten in einer Untersuchung von H. Li und Giudice (2013) keine Unterschiede festgestellt. Jedoch präferieren Nutzer in diesem Zusammenhang die zweidimensionale Ansicht (H. Li & Giudice, 2013, S. 11).

In einem weiteren Forschungsprojekt wurde ein Navigationssystem für den öffentlichen Personennahverkehr vorgestellt, das auch innerhalb von Verkehrsknotenpunkten wie Bahnhöfen Wegfindungsassistenz leistet (Rehrl, Bruntsch & Mentz, 2007; Rehrl et al., 2005; Rehrl, Göll, Leitinger, Bruntsch & Mentz, 2007). Dabei wurden zusätzlich zu Gebäudeplänen begehbare Bereiche, die Route, Stockwerksübergänge, Schilder und optional auch Orientierungspunkte angezeigt (Rehrl et al., 2005). Die Autoren ordnen dies als „vereinfachte“ Kartendarstellung ein, die nur Informationen enthält, die für die Wegfindung nötig sind (Rehrl et al., 2005, S. 238). In den Textanweisungen und teilweise auch in der Kartendarstellung wurden explizit Landmarken referenziert, die von den Forschern ausgesucht wurden. Darunter fallen insbesondere Schilder, Geschäfte und Stockwerksübergänge wie Treppen und Aufzüge (Rehrl et al., 2005, S. 237 ff.) sowie Verkaufsautomaten (Rehrl, Bruntsch & Mentz, 2007, S. 35). Die Navigationsanweisungen wurden automatisch weiter geschaltet, sofern eine Innenraum-Lokalisierung möglich war. Zudem gab es einen manuellen Modus, bei dem die Nutzer auf „Weiter“ klicken mussten (Rehrl, Göll et al., 2007, S. 37). Auch in meinen Untersuchungen mussten die Probanden die Navigationsanweisungen selbst weiter schalten, da keine Positionsbestimmung möglich war. Eine qualitative Studie zeigte, dass das Kartenmaterial von den Nutzern als nützlich für die Navigation eingeschätzt wird (Rehrl et al., 2005, S. 241). Jedoch wurde diese Darstellung nicht mit anderen Visualisierungen verglichen.

Ähnlich wie Schöning et al. (2009) im Außenbereich präsentierten Löchtfeld, Gehring, Schöning und Krüger (2010) einen Ansatz, bei dem Nutzer Fotografien von „You-are-here“-Karten machen können, innerhalb derer daraufhin die Route eingezeichnet wird. Die Darstellung ist somit stark von dem Design der Aushänge abhängig. Ein ähnlicher Ansatz wird von Müller, Schöning und Krüger (2006) vorgeschlagen. In einer Nutzerstudie zeigte sich, dass Probanden, die lediglich mit den ausgehängten Karten zum Ziel finden mussten und keine Ortskenntnis hatten, mehr Fehler bei der Wegfindung machten (Müller et al., 2006, S. 409). Dies zeigt die Nützlichkeit einer digitalen Assistenz im Innenraum auf.

Bezüglich des Designs von Kartenmaterial für die Innenraumnavigation werden neben den bereits beschriebenen Ansätzen weitere Vorschläge gemacht, jedoch nicht innerhalb einer Studie mit anderen Darstellungen verglichen: Nossum (2011) schlägt vor, vorhan-

dene architektonische Gebäudepläne zu vereinfachen. In diesem Zusammenhang werden lediglich Gänge angezeigt. Die Anzeige überlagert zudem verschiedene Stockwerksansichten. Nikander, Järvi, Usman und Virrantaus (2013) erstellten eine Visualisierung, die Gebäudepläne über OpenStreetMap-Kartenmaterial legt. Die Karte zeigte alle Raumnummern an und enthielt ansonsten keine Landmarken. Die Darstellung basierte somit stark auf architektonischen Gebäudeplänen. In Colley, Rantakari und Häkkinen (2014) wird diskutiert, mehrere Gebäudepläne zu überlagern, um die Wahrnehmung verschiedener Stockwerke zu ermöglichen. Zudem schlagen Heidmann, Hermann und Peissner (2003) vor, zusätzliche Informationen zu Objekten in der Umgebung in einer interaktiven Karte anzuzeigen. Dabei könnten die Nutzer auf Wunsch durch Anklicken eines Elements beispielsweise zusätzliche Daten zu Ständen in einer Messe erlangen. Diese Information wird in diesem Konzept jedoch nicht zur Routenbeschreibung eingesetzt. Als Erweiterung der Darstellung von Wasinger et al. (2003) für den Außenbereich (siehe Kapitel 3.1.2) werden in Krüger et al. (2004) zusätzlich Gebäudepläne für die Navigation im Innenbereich angezeigt. Diese ähneln meinen Kartendarstellungen, die in Kapitel 8 evaluiert werden, enthalten jedoch keine Landmarken. Auch Kargl, Geßler und Flerlage (2007) stellen die Route in Gebäudeplänen dar, referenzieren jedoch keine Landmarken. Die Anzeige kann stattdessen potenziell durch Panorama-Bilder ergänzt werden (Kargl et al., 2007, S. 115).

Insgesamt zeigt sich, dass die Darstellung von Gebäudeplänen zur Wegfindung im Innenbereich dominiert. Häufig werden in diesem Zusammenhang Designvorschläge gemacht, die jedoch nicht evaluiert werden. Eine Abstraktion des Kartenmaterials wird von Nossum (2011) vorgeschlagen und von Puikkonen et al. (2009) gefordert. An diese Forschungsidee schließe ich mit meiner Arbeit an.

Landmarken werden in der verwandten Forschungsarbeit entweder gar nicht oder in unbestimmter Menge referenziert. Die Auswahl der Objekte erfolgt zudem durch die Testleiter. Innerhalb der Untersuchungen von Bouwer et al. (2012) und Puikkonen et al. (2009) zeigte sich, dass Landmarken deutlicher und expliziter im Interface referenziert werden sollten. Auch hier schließt meine Arbeit an, indem ich meinen Forschungsschwerpunkt auf landmarkenbasierte Kartendarstellungen lege. In meinen Untersuchungen werden auffällige Objekte durch eine Nutzerstudie erhoben. Zudem untersuche ich, wie sich die Anzahl der präsentierten Objekte auf die Wegfindung auswirkt.

Auch im Innenbereich sind Studien verbreitet, die fotorealistische Interfaces mit Kartenmaterial kombinieren oder vergleichen. Diese werden im Folgenden dargestellt.

### 3.2.3 Fotorealistische Darstellungen

Fotorealistische Darstellung für die Fußgänger-Navigation im Innenbereich greifen auf unterschiedliche Darstellungsarten zurück. Darunter fallen Interfaces, die Fotografien abbilden sowie Augmented-Reality- und Virtual-Reality-Anwendungen. Dabei werden diese Anzeigen zumeist durch Karten ergänzt.

Taher, Cheverst, Harding und Fitton (2009) und Taher und Cheverst (2011) untersuchten eine Kombination aus verschiedenen Visualisierungen für die Navigation im Inneren eines Bürogebäudes einer Universität. Dabei wurde ein architektonischer Gebäudeplan mit eingezeichneter Route sowie eine dreidimensionale Visualisierung der Route an einem Informationskiosk angezeigt. Die Nutzer konnten diese Darstellungen weiterhin auf

ein Smartphone laden und während der Wegfindung zu Navigationszwecken verwenden, wobei sie frei zwischen zweidimensionaler und dreidimensionaler Darstellung wählen konnten. Zudem wurden neben den Bürotüren „digitale Türschilder“ angebracht, die beim Vorbeigehen Richtungspfeile anzeigten. Die Testpersonen wurden bei einer Navigationsaufgabe beobachtet und danach befragt. Die Ergebnisse zeigten auf, dass die Nutzer die Anzeige auf den digitalen Türschildern nur selten bemerken. Weiterhin wurde die Möglichkeit, die Anweisungen während der Navigation auf dem Smartphone anzuzeigen, als wichtig eingestuft, da sich Nutzer sehr auf diese Navigationshilfe verlassen. Das Kartenmaterial wurde insbesondere dann als nützlich bewertet, wenn Unsicherheiten während der Wegfindung auftraten oder die dreidimensionale Anzeige nicht exakt der Wirklichkeit entsprach (Taher & Cheverst, 2011, S. 207 f.). Weiterhin ist eine Kartenanzeige besonders für die initiale Orientierung wichtig (Taher et al., 2009, S. 5:9). Auch in dieser Studie zeigte sich die Notwendigkeit von Landmarken für die Fußgänger-Navigation: Wenn die dreidimensionale Darstellung gewählt wurde, suchten die Nutzer gezielt nach diesen Objekten in ihrer Umgebung (Taher & Cheverst, 2011, S. 207). Das Kartenmaterial hingegen nahm nicht Bezug auf Landmarken.

In Brush et al. (2010) sowie Mulloni et al. (2011a) wurde die augmentierte Outdoor-Implementierung, die in Mulloni et al. (2011b) vorgestellt wurde, für den Innenbereich erweitert. Dabei wurden Navigationsanweisungen basierend auf den „Aktivitäten“, die die Nutzer ausführen mussten, gegeben. Eine Beispiel hierfür ist die Anweisung „*Gehe 10 Schritte*“ (Mulloni et al., 2011a, S. 212). Es wurde nicht auf Landmarken Bezug genommen. Zusätzlich zu diesen Anweisungen erhielten die Probanden eine Visualisierung des aktuellen Schrittes anhand einer augmentierten Szene, die einen Navigationspfeil in Bewegungsrichtung einblendete. An sogenannten Informationspunkten konnten die Nutzer einen am Boden befindlichen Code scannen, der die aktuelle Nutzerposition setzte und weiterhin eine Karte einblendete, in der der zu absolvierende Weg eingezeichnet war. Diese Punkte befanden sich primär an Entscheidungspunkten (Mulloni et al., 2011a, S. 214). Eine Nutzerstudie in einem Universitätsgebäude zeigte, dass die Funktion, zusätzliche Wegfindungsinformation an Infopunkten abrufen zu können, zu weniger Abweichungen von der Route führte. Die Navigationszeit sowie der durch den NASA-TLX festgestellte Workload unterschieden sich jedoch nicht signifikant (Mulloni et al., 2011a, S. 217). Es zeigt sich somit, dass das zusätzliche Anzeigen einer Karte für die Wegfindungsaufgabe förderlich ist. Weiterhin hängt die Rezeption des Augmented-Reality-Interfaces sehr stark von der Genauigkeit der Ausrichtung des Navigationspfeiles ab und Nutzer können nur schwer mit Ungenauigkeiten in diesem Bereich umgehen (Mulloni et al., 2011a, S. 218). Da jedoch der Kompass von Smartphones in Innenbereichen häufig keine zuverlässigen Daten zur Verfügung stellt (Mulloni et al., 2011a, S. 215), ist das Risiko relativ groß, eine ungenaue Anzeige zu erzeugen. Eine weitere wichtige Beobachtung dieser Studie für meine Arbeit ist, dass Personen aktiv nach Landmarken wie Treppen in der Umgebung suchen, insbesondere wenn sie die Orientierung verlieren (Mulloni et al., 2011a, S. 218). Auch hier wird deutlich, dass das Anreichern von Innenraum-Navigationssystemen mit Landmarken ein wichtiges Forschungsgebiet darstellt.

Einen sehr ähnlichen Ansatz, jedoch vollständig ohne Kartenmaterial, präsentierten Möller et al. (2013) und Möller et al. (2014). Die Autoren implementierten eine Augmented-Reality-Ansicht, die den Weg anhand von Panoramabildern, die zusätzlich einen Rich-

tungspfeil beinhalteten, visualisierte. Die Bilder wurden entweder nur an Entscheidungspunkten oder kontinuierlich neu geladen (Möller et al., 2013, S. 453). Eine Studie in einem Universitätsgebäude zeigte, dass ein kontinuierliches Laden zu kürzeren Navigationszeiten führt. Im Gegensatz dazu äußerten die Nutzer im qualitativen Feedback, dass eine Anzeige, die sich nur an Entscheidungspunkten verändert, durchaus ausreichend sei (Möller et al., 2013, S. 454 f.). Ähnlich wie bei Mulloni et al. (2011a, S. 218) schlugen Möller et al. (2014, S. 456) vor, die Anzeige mit Landmarken anzureichern, um die Navigation zu erleichtern. Weiterhin zeigte sich, dass Nutzer auch entlang der Route, wenn keine Entscheidung notwendig ist, Informationen bezüglich des weiteren Weges benötigen, um sich während der Wegfindung sicher zu fühlen (Möller et al., 2014, S. 456). Diese Ergebnisse decken sich somit mit den Beobachtungen von Lovelace et al. (1999). Möller et al. (2014) visualisierten keine Karten. Ekman und Lankoski (2002, S. 623) zeigten in diesem Zusammenhang jedoch auf, dass eine zusätzliche Darstellung einer Karte zu einer schnelleren Navigation in einer dreidimensionalen Umgebung führt.

Auch Münzer und Stahl (2011) untersuchten die Auswirkungen verschiedener Interface-Varianten auf die Wegfindung im Innenraum. Als Untersuchungsgegenstand wurde dazu entweder ein Gebäudeplan, Bilder von Entscheidungspunkten mit eingezeichnetem Navigationspfeil oder ein Video, das eine Animation des Weges zeigte, herangezogen. Die Testpersonen mussten die Route selbstständig und ohne Hilfe abschreiten, nachdem sie eine dieser Visualisierungen auf einem Tablet gesehen hatten (Münzer & Stahl, 2011, S. 296). Es zeigte sich, dass die Karte genauso effektiv ans Ziel führte wie die anderen Darstellungsvarianten, jedoch vermuten die Autoren, dass die Testpersonen hierfür eine höhere mentale Anstrengung aufwenden mussten (Münzer & Stahl, 2011, S. 303). Auch in dieser Studie wurde nicht explizit auf Landmarken Bezug genommen.

Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al. (2016) stellten eine Implementierung vor, die eine Navigation im Innen- und Außenbereich einer Universität ermöglichen soll. Dabei wurden Landmarken explizit referenziert. Im Außenbereich sollen Gebäude und Monumente als Landmarken dienen, im Innenbereich Eingänge, dekorative Objekte und Informationstafeln (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 26). Die Landmarkenauswahl soll automatisiert, basierend auf einem dreidimensionalen Modell der Universität und anhand von Merkmalen wie beispielsweise der Größe der Objekte durchgeführt werden (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 33). Genauere Angaben zur Extraktion der Landmarken im Innenbereich werden jedoch nicht gemacht. Es wurden Fotos von Objekten zur Navigation herangezogen und auf einer OpenStreetMap-Karte angezeigt. Weiterhin wurde versucht, so viele Landmarken wie möglich entlang des Weges zur Navigation heranzuziehen (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016, S. 30). In einer Evaluation zeigte sich, dass 82 % der Probanden die Landmarken hilfreich fanden, jedoch auch 32 % glaubten, die Fotos verlangsamten die Navigation (Basiri, Amirian & Winstanley, 2016, S. 39).

In Baus et al. (2002) wurde die Implementierung der Darstellungsmöglichkeiten vorgestellt, die von Butz et al. (2001) diskutiert werden (siehe Kapitel 2.5). Für den Innenbereich wurde hierbei hauptsächlich auf Richtungspfeile und reduziertes Kartenmaterial mit Points-of-Interest zurückgegriffen. Weiterhin bestand die Möglichkeit das Ziel mittels eines dreidimensionalen Modells zu finden. Auch im Außenbereich wurde eine schematische Karte angezeigt (Baus et al., 2002, S. 18 ff.). Die Besonderheit dieses Forschungs-

prototypen war, dass explizit auf den Übergang zwischen Innen- und Außenraum eingegangen wurde. Die Autoren identifizierten die Notwendigkeit, unterschiedliche Anzeigen für diese Bereiche umzusetzen. Weiterhin wird für den Innenbereich ein deutlich höherer Abstraktionslevel des Kartenmaterials vorgeschlagen (Baus et al., 2002, S. 18).

Eine weitere Kombination von Karten- und Fotoanzeige wurde in E. Wang und Yan (2014) vorgestellt. Dabei wurde eine „You-are-here“-Karte als Überblicksinformation und Fotos entlang der Route zur Wegfindung eingeblendet (E. Wang & Yan, 2014, S. 1600 f.). Bilder von Türen, dem Ende oder Anfang eines Ganges sowie entlang der Route sollten der kontinuierlichen Nutzerführung dienen. Auch Landmarken, wie beispielsweise auffällige Räume, sollten anhand der Fotos referenziert werden (E. Wang & Yan, 2014, S. 1602 f.). Das Navigationssystem wurde jedoch nicht mit Nutzern untersucht. Makita et al. (2016) schlagen die Anzeige einer dreidimensionalen Karte kombiniert mit einer Augmented-Reality-Darstellung vor, um Wartungspersonal zum Ziel zu führen. Auch diese Applikation wurde nicht durch eine Nutzerstudie evaluiert. In einer eigenen Studie, die in Ohm, Ludwig und Gerstmeier (2015) beschrieben wurde, konnte festgestellt werden, dass Fotografien von Landmarken besonders an komplexen Entscheidungspunkten hilfreich sein können.

Es zeigt sich, dass fotorealistische Darstellungen eine zusätzliche Assistenz bei der Wegfindung bieten können. Jedoch sollten diese immer mit Kartenmaterial kombiniert werden. Auch in diesem Zusammenhang werden Landmarken eher selten referenziert oder in unbestimmter Menge angezeigt. Die in diesem Kapitel beschriebenen Studien bestätigen zudem, dass die Wiedergabe dieser Objekte bei der Wegfindung zu empfehlen ist. Im Folgenden wird auf weitere Darstellungsarten von Wegfindungsinformationen im Innenbereich eingegangen. Wie bereits beim Außenbereich greifen diese auf zusätzliche Hardware zurück.

### 3.2.4 Weitere Darstellungsarten

Im Innenbereich wurden wie bereits beschrieben beispielsweise digitale Türschilder als Wegfindungshilfe herangezogen (Kray, Kortuem & Krüger, 2005; Taher & Cheverst, 2011). Diese wurden jedoch nur selten von den Probanden bemerkt (Taher & Cheverst, 2011, S. 207). Auch können stationäre Informationskioske eingesetzt werden (Taher & Cheverst, 2011, S. 204). Müller et al. (2006) zeigten jedoch, dass die Möglichkeit, eine Karte auf einem Smartphone während der gesamten Wegfindungsaufgabe zu betrachten, zu einer effizienteren Wegfindung führt.

Im Außenbereich stellt die Kommunikation von Routenanweisungen durch Vibrationsmuster einen großen Forschungsschwerpunkt dar (siehe Kapitel 3.1.4). Für den Innenbereich wurde von Bosman et al. (2003) ein Konzept vorgestellt, bei dem die Nutzer Wegfindungsinformationen durch vibrierende Aktuatoren, die sie an ihren Handgelenken trugen, erhielten. Es zeigte sich, dass die Probanden damit schneller ans Ziel gelangen verglichen mit der Beschilderung eines Gebäudes (Bosman et al., 2003, S. 361).

Weiterhin existieren Konzepte, die unter Verwendung von „head-mounted displays“ Umgebungsinformationen visualisieren: Rehman und Cao (2015) schlagen vor, mithilfe einer Augmented-Reality-Brille Pfeile in Richtung der Fortbewegung anzuzeigen. Landmarken werden somit nicht referenziert. In Elmqvist et al. (2006) wurde zudem diskutiert,

eine Gesten-Interaktion zu ermöglichen. Diese Ansätze befinden sich jedoch noch in einer sehr konzeptuellen Phase.

Wie schon für den Außenbereich (siehe N. Wenig et al., 2017) stellten D. Wenig, Schöning, Hecht und Malaka (2015) ein Konzept vor, Wegfindungsinformationen auf einer Smartwatch anzuzeigen. In diesem Zusammenhang wurden zweidimensionale Karten mit einem Element verglichen, das eine 2D-Karte in einen eindimensionalen Streifen transformiert, sodass Richtungsänderungen durch Überlagerung von Kartenelementen sichtbar gemacht werden. Zudem wurde eine Textanweisung mit Darstellung eines Richtungspfeils in der Evaluation berücksichtigt. Als abhängige Variablen wurden die Navigationszeit und Fehler, der System-Usability-Scale sowie der NASA-TLX herangezogen. Es zeigte sich, dass die „eindimensionale“ Karte eine bessere Usability aufweist und weniger Workload verursacht als die Textanweisung (D. Wenig et al., 2015, S. 58 f.). Das Kartenmaterial war in diesem Fall sehr detailliert und stellte dadurch implizit Landmarken wie Treppen, Türen und Möbel dar. In einer Folgestudie wurde zudem die Darstellung einer Augmented-Reality-Ansicht auf der Smartwatch untersucht (D. Wenig, Steenbergen, Schöning, Hecht & Malaka, 2016). Dabei wurden Bilder von Entscheidungspunkten mit Richtungspfeilen überlagert. Diese wurden mit der eindimensionalen Karte aus D. Wenig et al. (2015) verglichen. Es zeigte sich, dass die Augmented-Reality-Anwendung zu weniger Fehlern bei der Wegfindung und zu einem geringeren Workload führt (D. Wenig et al., 2016, S. 403). Insgesamt sind die Visualisierungen, die auf der Smartwatch dargestellt wurden, sehr detailliert. Sie erweisen sich aber als eine effektive Wegfindungshilfe. Es stellt sich somit die Frage, ob auch die Darstellung von schematischem Kartenmaterial, das meinen Forschungsschwerpunkt bildet, auf Smartwatches sinnvoll sein kann. Hier ist somit eine Weiterführung meiner Untersuchungen für kleine Endgeräte in Zukunft möglich.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Navigationszeit, die Fehler während der Wegfindung sowie subjektive Zufriedenheitsmaße gängige abhängige Variablen bei der Evaluierung von Fußgänger-Navigationssystemen sind. Im Folgenden wird dargestellt, wie auch das Blickverhalten von Probanden während der Wegfindung analysiert werden kann und welche Untersuchungen hierzu bereits durchgeführt worden sind. Zudem wird auf die Eye-Tracking-Technologie eingegangen, die in meiner Arbeit zum Einsatz kommt.

### 3.3 Eye-Tracking und Fußgänger-Navigation

Die Analyse des Blickverhaltens einer Person fußt auf der Grundannahme, dass die visuelle Rezeption eine mentale Verarbeitung der wahrgenommenen Information zur Folge hat. Diese auf Just und Carpenter (1976) zurückgehende Annahme wird als „Eye-Mind-Assumption“ bezeichnet. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass diese Verarbeitung unmittelbar und demnach ohne Zeitverzögerung stattfindet („Immediacy-Assumption“). Die Untersuchung des Blickverhaltens ist auch in der Wegfindungsforschung verbreitet. Wie und zu welchem Zweck diese Daten erhoben wurden, wird im Folgenden dargestellt. Daraufhin wird das von mir verwendete System kurz beschrieben.

### 3.3.1 Einsatz in der Wegfindungsforschung

Eye-Tracking-Daten wurden in der Wegfindungsforschung häufig im Rahmen von Laborstudien analysiert. Gunzelmann, Douglass und Khooshabeh (2008) beispielsweise führten eine Untersuchung durch, innerhalb derer Probanden ihre Position auf einer allozentrischen Karte identifizieren mussten während sie eine egozentrische Ansicht der Szene betrachteten. Die Umgebung war in diesem Zusammenhang virtuell dargestellt. Die Ergebnisse zeigten einen Lerneffekt auf: Die Testpersonen wechselten im Laufe des Experiments weniger häufig den Blick zwischen den beiden Ansichten, wobei sie die Aufgabe gleichzeitig effizienter absolvieren konnten (Gunzelmann et al., 2008, S. 88). Weiterhin untersuchten Spiers und Maguire (2008), wie Taxifahrer eine Wegfindungsaufgabe lösen. In diesem Zusammenhang mussten die Probanden Selbstauskünfte über ihre Strategien erteilen, nachdem sie in einer virtuellen Repräsentation in einer Art Fahrsimulator zum Ziel gefunden hatten. Dabei nannten sie beispielsweise Landmarken, an denen sie sich orientiert hatten. Die Eye-Tracker-Daten dienten lediglich dazu, zu kontrollieren, ob die Probanden das genannte Objekt auch betrachtet hatten (Spiers & Maguire, 2008, S. 244). In Wiener et al. (2012) wurde ein Wegfindungsexperiment in einem virtuellen Raum durchgeführt. Dabei wurden den Testpersonen mehrere Screenshots von Entscheidungspunkten präsentiert, die im Wesentlichen aus einer Anordnung von Wänden bestanden. Es handelte sich demnach um eine virtuelle Repräsentation eines Innenraumes. In dieser Laborstudie wurden keine Landmarken oder sonstige räumliche Besonderheiten dargestellt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden dazu tendierten, in die Richtung zu blicken, die sie später einschlugen (Wiener et al., 2012, S. 719). In Emo (2012) wurden Fotografien von Kreuzungen präsentiert. Dabei wurde beispielsweise die Helligkeit verschiedener Routen-Alternativen verändert. Es zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede im Betrachtungsverhalten (Emo, 2012, S. 476). Franke und Schweikart (2017b, S. 32) untersuchten anhand einer abstrakten Karte, wie lange unterschiedliche Landmarkendarstellungen betrachtet werden und stellten fest, dass Objekte, die in Erinnerung bleiben, nicht zwangsläufig auch länger fixiert werden. Zudem verglichen Liao, Dong, Peng und Liu (2017) zweidimensionale Karten und dreidimensionale fotorealistische Kartendarstellungen für den Außenbereich. Die Ergebnisse zeigten, dass die dreidimensionale Karte häufiger betrachtet wird und zu einem höheren Workload führt. An komplexen Entscheidungspunkten kann diese Darstellungsart jedoch zu einer schnelleren Wegfindung führen (Liao et al., 2017, S. 481).

Darüber hinaus sind Untersuchungen im Feld gängig, die jedoch keine Wegfindungshilfe analysieren: Schuchard, Connell und Griffiths (2006) untersuchten, wo Schilder innerhalb eines Krankenhauses angebracht werden sollten, indem Patienten mit leichter Demenz untergebracht waren. In dieser explorativen Studie zeigte sich beispielsweise, dass diese spezielle Probandengruppe Schilder, die eher im unteren Bereich des Sichtfeldes angebracht sind, häufiger betrachten (Schuchard et al., 2006, S. 33). Pinelo da Silva (2011) untersuchte, welche Eigenschaften der Umgebung während einer Wegfindung ohne Hilfsmittel visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen und fand beispielsweise heraus, dass Gebäudekanten auffällig sind. In Kiefer, Giannopoulos, Kremer, Schlieder und Raubal (2014) zeigte sich, dass die gesamte Fixationszeit von Probanden, die ein Stadtpanorama betrachten, mit der Anzahl des Zurückkehrens der Blicke auf unterschiedliche

Bereiche der Szene steigt.

Weiterhin ist es üblich, die Rezeption von Papierkarten innerhalb von Feldstudien zu analysieren. In Kiefer, Giannopoulos und Raubal (2014) wurde ein mobiler Eye-Tracker eingesetzt, um die Effizienz der Selbstverortung bei der Verwendung dieser Wegfindungshilfe zu untersuchen. Die Studie zeigte unter anderem, dass Probanden, die sich erfolgreich selbst verorten konnten, mehr visuelle Aufmerksamkeit auf Karteninformationen richten, die sich auf Objekte in ihrem Sichtfeld beziehen (Kiefer, Giannopoulos & Raubal, 2014, S. 22). Auch Franke und Schweikart (2017a) analysierten Papierkarten. In diesem Zusammenhang wurden Landmarken eingezeichnet oder weggelassen. Dieser Unterschied in der Darstellung führte jedoch nicht zu einer signifikant unterschiedlichen Betrachtung der Landmarken in der Umgebung oder des Kartenmaterials (Franke & Schweikart, 2017a, S. 120).

Feldstudien, die die Gebrauchstauglichkeit von Fußgänger-Navigationssystemen evaluieren, sind eher selten. Dies ist beispielsweise dadurch zu begründen, dass im Außenbereich die Sonneneinstrahlung eine wesentliche Störvariable darstellt, die die Qualität der Aufnahme beeinträchtigt. So wollte Delikostidis (2011) Kartendarstellungen für den Außenbereich untersuchen, die Landmarken entweder als Bilder oder Icons darstellen. Diese Applikation sollte mithilfe eines mobilen Eye-Trackers evaluiert werden, jedoch mussten die Daten aufgrund von einstrahlendem Sonnenlicht verworfen werden (Delikostidis, 2011, S. 157).

Kluge und Asche (2012) analysierten die Nützlichkeit augmentierter Interfaces im Vergleich zur Kartennavigation mithilfe eines mobilen Eye-Trackers. In Analogie zu Mulloni et al. (2011b) (siehe Kapitel 3.1.3) stellten sie fest, dass die augmentierte Ansicht häufiger an Entscheidungspunkten betrachtet wird. Die Wichtigkeit von Landmarken wird betont, jedoch wird in den Prototypen nicht explizit auf sie Bezug genommen. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass man anhand der Augmented-Reality-Ansicht Landmarken in der eigenen Umgebung verorten kann, ohne dass diese explizit referenziert werden müssen. Es ist anzumerken, dass nur drei Testpersonen an der Studie teilnahmen. Die Ergebnisse müssten demnach in weiteren Untersuchungen validiert werden.

Brügger, Richter und Fabrikant (2018) untersuchten, wie sich das Blickverhalten einer Person mit und ohne Assistenzsystem im Außenbereich unterscheidet. Die Ergebnisse zeigten, dass Probanden ohne Hilfsmittel signifikant häufiger nach vorne und zurück blicken, um sich zu orientieren (Brügger et al., 2018, S. 24 f.). Auch in dieser Studie war die Probandenanzahl mit 15 Teilnehmern relativ klein.

Lediglich Schnitzler et al. (2016) führten eine Untersuchung im Innenbereich mit einer großen Stichprobe von 60 Teilnehmern durch. Es wurde die Fixationshäufigkeit auf Papierkarten und digitalem Kartenmaterial sowie das Blickverhalten, wenn keine Navigationshilfe außer der Beschilderung im Innenraum zur Verfügung steht, analysiert. Als Untersuchungsgebiet diente hierzu ein Bürogebäude einer Universität. Es stellte sich heraus, dass es keine Fixationsunterschiede zwischen der Papierkarte und der digitalen Karte gab. Insgesamt wird relativ viel visuelle Aufmerksamkeit vom Kartenmaterial gebunden. Im Allgemeinen wird das Kartenmaterial häufiger an komplexen Entscheidungspunkten und weniger in Gängen konsultiert. Wenn mit einer Karte navigiert wird, wird deutlich weniger auf die Beschilderung geachtet. Insbesondere der Startpunkt der Navigation und Entscheidungspunkte, an denen ein Stockwerkswechsel möglich ist, erfordern viel visu-

elle Aufmerksamkeit. Insgesamt benötigen die Testpersonen weniger Fixationen, um sich in Gängen zurecht zu finden als an komplexeren Entscheidungspunkten (Schnitzler et al., 2016, S. 91).

Weiterhin können Eye-Tracker dazu eingesetzt werden, Geoinformationssysteme anhand des Blickverhaltens der Nutzer anzupassen. So können bestimmte Inhalte einer Karte ausgeblendet werden, sobald anhand der Augenbewegungen wie beispielsweise der Länge einer Sakkade (Kiefer, Giannopoulos & Raubal, 2013, S. 500) eine bestimmte Intention des Probanden erkannt werden kann (Kiefer et al., 2016, S. 4 ff.). Zudem könnten in einer real-weltlichen Szene zusätzliche Information zu dem Objekt bereitgestellt werden, wenn ein Blick darauf festgestellt wird (Anagnostopoulos et al., 2017, S. 1786).

Ein weiteres Forschungsgebiet ist, Eye-Tracking-Analysen zur Usability-Bewertung unterschiedlicher Kartendarstellungen für Desktop-Darstellungen einzusetzen. Dabei untersuchten beispielsweise Cöltekin, Heil, Garlandini und Fabrikant (2009) Visualisierungen von Verbrechenstatistiken. Darüber hinaus analysierten Fabrikant, Hespanha und Hegarty (2010) Wetterkarten. Swienty, Reichenbacher, Reppermund und Zihl (2008) zeigten auf, dass das Hervorheben bestimmter Informationen in einer Desktop-Karte die visuelle Aufmerksamkeit auf diese Bereiche lenkt. Weiterhin fanden Ooms, Maeyer und Fack (2014) heraus, dass Probanden, die keine Erfahrung im Kartenlesen haben, signifikant länger auf komplexe Karten blicken.

Im Rahmen der Forschung zur Wegfindung wird die Analyse der Blickdaten zudem dazu verwendet, die Rezeption von Landmarken zu analysieren. In diesem Zusammenhang kommt kein Navigationssystem oder Ähnliches zum Einsatz. Wenczel, Hepperle und von Stülpnagel (2017) untersuchten, ob sich das Blickverhalten von Probanden ändert, wenn sie beim Absolvieren einer Route bewusst oder unbewusst Landmarken verinnerlichen. Bei der bewussten Wahrnehmung wurden die Probanden informiert, dass sie nach der Wegfindung die Route beschreiben müssen. Die Untersuchung wurde im Außenbereich durchgeführt. Es zeigte sich, dass visuell auffällige Landmarken auch mehr visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen, unabhängig davon, ob die Route gezielt oder ungezielt verinnerlicht wird. Zudem stellte sich heraus, dass mehr Entscheidungspunkt-Landmarken betrachtet werden, wenn explizit nach Wegfindungsinformationen gesucht wird. Darüber hinaus wurde die Position einer fixierten Landmarke an einem Entscheidungspunkt analysiert. Objekte in Bewegungsrichtung werden dabei am häufigsten fixiert (Wenczel et al., 2017, S. 132 ff.). In meinen Untersuchungen, die in Kapitel 4 beschrieben sind, wird eine ähnliche Studie für den Innenbereich durchgeführt. Jedoch unterscheide ich nicht zwischen bewusstem und unbewusstem Lernen. Die Probanden wurden im Vorfeld informiert, dass sie die Route nach dem Experiment beschreiben müssen.

Auch im Innenbereich wurden bereits Untersuchungen zur Landmarkenrezeption durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass Landmarken der Kategorie „Tür“ besonders häufig fixiert werden (Viaene, Ooms et al., 2014, S. 55). Weiterhin wird in Viaene et al. (2016) davon ausgegangen, dass anhand des Blickverhaltens der Nutzer vorhergesagt werden kann, ob ein Objekt im Innenraum als Landmarke dienlich sein kann. Die Ergebnisse zeigten unter anderem auf, dass Objekte, die länger betrachtet werden, auch häufiger als Landmarken genannt werden (Viaene et al., 2016, S. 6 f.). Eine ähnliche Analyse wird von mir in Kapitel 4 beschrieben. In diesem Zusammenhang gehe ich zudem näher auf Landmarkenpositionen und -kategorien ein.



Abbildung 3.1: Experiment-Aufbau mit Eye-Tracker (links: „SMI Eye-Tracking Glasses 1“ und Wegfindung mit Smartphone; rechts: „SMI Eye-Tracking Glasses 2“ und Wegfindung mit Tablet).

Im Folgenden wird die von mir verwendete Eye-Tracking-Technologie und die dabei notwendige Daten-Annotation kurz beschrieben.

#### 3.3.2 Verwendete Eye-Tracking-Technologie

Meine Experimente wurden hauptsächlich mit dem „SMI Eye-Tracking Glasses 1“-Eye-Tracker durchgeführt.<sup>1</sup> Dieser besteht aus einem am Kopf des Probanden befestigten binokularen Aufnahmegerät, das mit drei Aufnahmekameras versehen ist. Zwei Kameras nehmen die Augen des Probanden mit einer Abtastrate von 30 Hz auf. Zusätzlich dazu nimmt eine Frontkamera die wahrgenommene Szene in einer Auflösung von 1280 x 960 Pixel und einer Abtastrate von 24 fps auf. Die Brille wird durch ein Kabel an einen Laptop angeschlossen, der als Speichermedium dient. Dieser wird während des gesamten Experiments in einem Rucksack mitgeführt. Die Brille wird mit einem Band am Kopf fixiert. Der Sitz der Brille kann mit verschiedenen Aufsätzen korrigiert werden, damit die Aufnahme der Augen fehlerfrei erfolgen kann. Ein beispielhaftes Set-up innerhalb meiner Experimente ist in Abbildung 3.1 (links) zu sehen.

Die mitgelieferte Software „iView“ der Firma SMI führt zunächst eine automatische Kalibrierung durch. Nach dieser Phase muss eine manuelle Kalibrierung anhand von drei Punkten in der Umgebung der Nutzer erfolgen. Falls die Abweichung des festgestellten Blicks zu groß ist, kann die Kalibrierung wiederholt werden. Brillenträger durften an keiner der Studien teilnehmen, da das Brillengestell die Aufnahmekameras der Augen abschirmt.

Für das Experiment, das in Kapitel 8 beschrieben ist, stand eine neuere Version des Auf-

---

<sup>1</sup>Alle technischen Daten beziehen sich auf die Angaben des Herstellers.

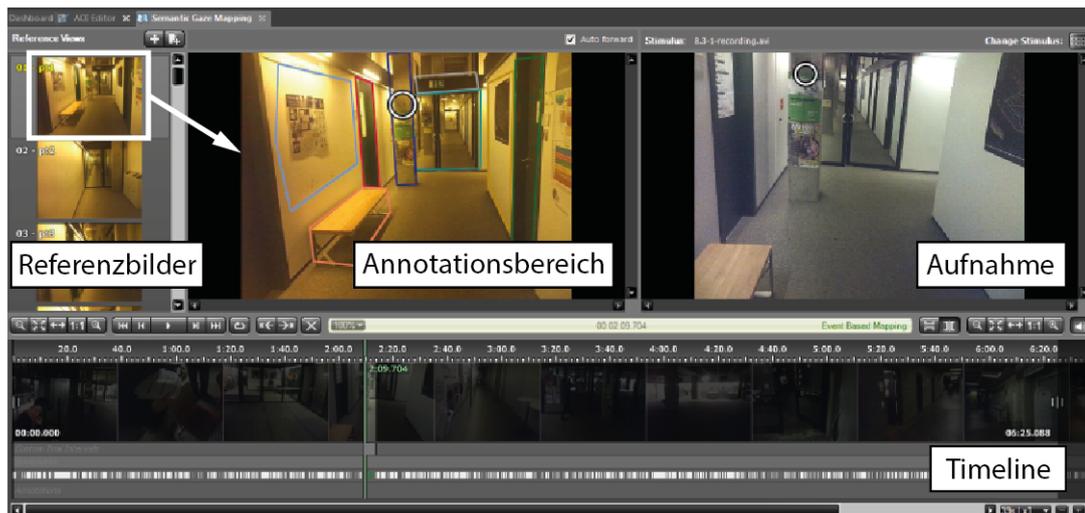


Abbildung 3.2: Annotation der Eye-Tracker-Daten.

nahmeegerätes zur Verfügung. Der Unterschied des „Eye-Tracking Glasses 2“-Eye-Trackers zum Vorgängermodell besteht darin, dass die Blicke mit einer Abtastrate von 60 Hz statt 30 Hz gespeichert werden. Zudem erfolgt die Aufnahme über ein Smartphone, das in einer kleinen Tasche bei sich getragen werden kann, sodass der „Tragekomfort“ für die Probanden erhöht ist (siehe Abbildung 3.1, rechts). Weiterhin erfolgt die manuelle Kalibrierung mit diesem Gerät anhand lediglich eines Punktes der Umgebung.

Nach jedem Experiment müssen die Daten dieser Eye-Tracker manuell annotiert werden. Hierzu wurde die Software „BeGaze 3.7“ der Firma SMI verwendet. In diesem Zusammenhang werden Blicke auf ein Referenzbild übertragen, das frei gewählt werden kann. Ein Beispiel aus meinen Experimenten ist in Abbildung 3.2 zu sehen. Der Proband fixiert ein Objekt in der Umgebung. Dies wird in der Aufnahme durch einen Kreis angezeigt. Diese Fixation wird durch einen Mausklick innerhalb des Annotationsbereichs auf ein Referenzbild – in diesem Fall eine Fotografie der Umgebung – übertragen. Der annotierte Blick wird danach auch als Kreis im Referenzbild angezeigt. Durch die Definition von „Areas-of-Interest“ auf dem Referenzbild, die im Annotationsbereich durch farbige Rahmen dargestellt sind, können für diese Bereiche nach der Annotation Blickdaten exportiert und analysiert werden. Es ist zudem möglich mehrere Referenzbilder heranzuziehen. Die Details der Annotation sind in den jeweiligen Experimenten beschrieben.

Nach der Annotation der Blickdaten können unterschiedliche Blickereignisse analysiert werden. Grundsätzlich wird in diesem Zusammenhang zwischen Fixationen und Sakkaden unterschieden (siehe z. B.: Duchowski, 2007, S. 42 ff.). Während einer Fixation verweilt das Auge auf einer Informationseinheit und nimmt diese wahr. Eine Sakkade hingegen ist eine schnelle Augenbewegung zu einem anderen Betrachtungspunkt. Dabei findet keine Wahrnehmung statt.

Die Detektion der Fixationen in „BeGaze 3.7“ basiert bei Abtastraten unter 200 Hz auf der in Salvucci und Goldberg (2000) näher beschriebenen Methode der „Low Speed Event Detection“ (SMI, 2014, S. 320 f.). Weiterhin können theoretisch auch die „Dwell Time“, also alle Fixationen und Sakkaden in einer „Area-of-Interest“ sowie „Glances“ untersucht werden. Letztere beinhalten zusätzlich zu den Daten der „Dwell Time“ auch die Dauer

der Sakkade, die erstmals in die „Area-of-Interest“ aus einem anderen Bereich hinein-führt (SMI, 2014, S. 218 ff.). Es wird jedoch davon abgeraten bei der Verwendung eines 30 Hz beziehungsweise 60 Hz Eye-Trackers eine Sakkaden-Analyse vorzunehmen, da die Abtastrate zu gering ist (Andersson, Nyström & Holmqvist, 2010, S. 2). Deshalb ziehe ich in meinen Experimenten lediglich die Fixationen heran.

In meiner Arbeit analysiere ich zudem die Variable „Revisits“. Diese zeigt auf, wie häufig mit dem Blick auf einen Bereich zurückgekehrt wird (SMI, 2014, S. 219). In Kiefer, Giannopoulos, Kremer et al. (2014) zeigte sich beispielsweise ein Unterschied bezüglich dieser Variable bei der Betrachtung eines Stadtpanoramas, weshalb ich auch in meinen Analysen auf die „Revisits“ zurückgreife.

Im Folgenden werden die Erkenntnisse zur Forschung an Fußgänger-Navigationssystemen zusammengefasst und in den Kontext meiner Arbeit gestellt.

### 3.4 Zusammenfassung und Bezug zur Arbeit

In diesem Kapitel wurde ein Überblick über die Forschung zu Fußgänger-Navigationssystemen für den Innen- und Außenbereich gegeben. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, wie die Analyse des Blickverhaltens einer Person in der Wegfindungsforschung zum Einsatz kommen kann.

Bezüglich der unterschiedlichen Darstellungsformen, die innerhalb der zumeist prototypischen Navigationssysteme verwendet werden, hat sich herauskristallisiert, dass unterschiedliche Kartendarstellungen sowohl im Innen- als auch im Außenbereich einen Forschungsschwerpunkt bilden. Zweidimensionale Karten sind dabei die am häufigsten verwendete Darstellungsform von Navigationsanweisungen (Chittaro & Burigat, 2005, S. 109). Jedoch sind auch fotorealistische Visualisierungen, die zumeist mit Karten kombiniert werden, ein weiterer wichtiger Untersuchungsgegenstand. Besonders im Außenbereich wird darüber hinaus untersucht, wie Vibrationsmuster zur Routenkommunikation eingesetzt werden können.

Insgesamt zeigte sich, dass digitale Karten die Wegfindung effizienter unterstützen als Papierkarten (Goodman et al., 2004, S. 44), Augmented-Reality-Interfaces (Rehrl et al., 2012, S. 12) sowie haptisches Feedback (Smets et al., 2008, S. 78). Im Innenbereich fanden Taher und Cheverst (2011, S. 209) zudem heraus, dass die Wegfinder es präferieren, eine Karte zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Navigation sehen zu können.

Offen bleibt hingegen die Frage, wie viele Informationen Kartendarstellungen im mobilen Kontext referenzieren sollten, insbesondere wenn das Navigationssystem zusätzlich explizit auf Landmarken Bezug nimmt. Die Abstraktion des Kartenmaterials wird zwar häufig diskutiert, jedoch nicht analysiert. Diese Forschungslücke schließe ich mit meiner Arbeit. Dabei nehme ich beispielsweise Bezug auf Puikkonen et al. (2009), die eine Vereinfachung der Anzeige empfehlen, um zu vermeiden, dass die Nutzer sich auf ein spezifisches Interface-Element fokussieren und dadurch die relevante Information nicht wahrnehmen können.

Weiterhin haben sich aus den verwandten Forschungsarbeiten einige grundlegende Design-Richtlinien ergeben, die ich in meinen Darstellungen berücksichtige. Darunter fällt insbesondere die Empfehlung, Karten in Bewegungsrichtung der Nutzer auszurichten. Eine genordnete Karte führt zum Beispiel zum physischen Drehen des Gerätes (Walther-

Franks & Malaka, 2008, S. 102). Außerdem sollte die Darstellung immer die Route und Landmarken referenzieren sowie auf Audioausgaben verzichtet werden (Stark et al., 2007, S. 694).

In meinen Analysen vergleiche ich schematische Karten nach Gartner und Radoczky (2005, S. 44) und Gartner und Radoczky (2006, S. 385) mit Gebäudeplänen. Hierzu verwende ich zwei unterschiedliche Darstellungen. Die architektonischen Gebäudepläne, die ich in Kapitel 5 und 6 heranziehe, ähneln dabei beispielsweise der verwendeten Anzeige von Taher und Cheverst (2011, S. 206) sowie Münzer und Stahl (2011, S. 2090) und werden von Nossum (2011, S. 198) als prototypisches Material bezeichnet. Die überarbeiteten Karten, die in Kapitel 8 untersucht werden, sind dabei mit den Visualisierungen von Kargl et al. (2007, S. 116) sowie Krüger et al. (2004, S. 164) zu vergleichen. Es werden demnach übliche Darstellungsformen mit einer bisher nicht untersuchten, abstrahierten Anzeige verglichen.

Wenn Landmarken in Interfaces referenziert werden, so sind diese im Außenbereich zumeist Points-of-Interest (z. B.: van Elzakker et al., 2008). Teilweise wird auch auf eine merkmalsbasierte Auswahl von Objekten zurückgegriffen (z. B.: Delikostidis et al., 2015). Im Innenbereich werden Landmarken implizit durch die Darstellung der Umgebung in einer Karte oder durch Fotografien angezeigt (z. B.: Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016). Ein direkter Bezug auf auffällige Objekte innerhalb von Kartendarstellungen ist kaum vorhanden. Bouwer et al. (2012) und Puikkonen et al. (2009) folgern jedoch aus ihren Untersuchungen, dass Landmarken deutlicher und expliziter im Interface referenziert werden sollten. Die Objekte sind zumeist von den Testleitern ausgewählt und werden in unbestimmter Menge dargestellt. Häufig werden alle verfügbaren Objekte referenziert. Ein nutzerzentrierter Ansatz, Landmarken zu erheben, ist eher selten vertreten. Eine Ausnahme bildet hier beispielsweise die Studie von Millonig und Schechtner (2007), die untersuchte, wie Landmarken im Innenbereich in textuellen Beschreibungen referenziert werden sollten. Hier zeigt sich sehr deutlich eine weitere Forschungslücke, die ich mit meiner Arbeit schließe. In meinen Kartendarstellungen werden Landmarken explizit dargestellt und zur Routenbeschreibung herangezogen. Zudem basiert die Auswahl der Objekte auf einer Nutzerstudie, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die referenzierten Objekte auch als Wegfindungshilfe geeignet sind.

Zur Evaluation der Interfaces wird primär auf Fehler während der Wegfindung – also einem „Verlaufen“ (z. B.: Goodman et al., 2004) – sowie die Zeit, die benötigt wird, sich zu orientieren (z. B.: Krüger et al., 2000) oder ans Ziel zu kommen (z. B.: Chittaro & Burigat, 2005), zurückgegriffen. Diese abhängigen Variablen werden somit auch in allen meinen Studien betrachtet. Weiterhin ist es üblich, die Usability eines Systems zu messen, beispielsweise mit dem System-Usability-Scale (z. B.: Rehl et al., 2012; D. Wenig et al., 2015). Zudem wird vermehrt der Workload mit dem NASA-TLX während der Verwendung der Assistenz untersucht (z. B.: Partala & Salminen, 2012; Seager & Fraser, 2007). Auch diese Messungen werden in meinen Experimenten vorgenommen. Ein weiterer, relativ neuer Untersuchungsschwerpunkt liegt darin, zu analysieren, wie viel räumliches Wissen eine Person nach der Wegfindung mit einem Navigationssystem erlangt hat (z. B.: Brügger et al., 2017). Dies wird in meiner Arbeit nicht untersucht und könnte somit für zukünftige Forschungsarbeiten eine sinnvolle Ergänzung der Analyse darstellen.

In den verwandten Forschungsarbeiten wird ähnlich zu meinen Experimenten häufig

ein Universitätscampus als Untersuchungsgebiet herangezogen (siehe Krisp et al., 2015; Möller et al., 2014; Mulloni et al., 2011a; Schnitzler et al., 2016). Somit sind meine Ergebnisse mit diesen Arbeiten direkt vergleichbar. Weiterhin werden im Innenbereich zumeist Routen ausgewählt, die mindestens zwei Abbiegungen (Nurmi et al., 2011, S. 37) und einen Stockwerksübergang enthalten (Mulloni et al., 2011a, S. 213). Die Routen sind zwischen 108 Meter (Münzer & Stahl, 2011, S. 289) und 332 Meter (Möller et al., 2013, S. 453) lang. Bei der Auswahl meiner Teststrecken habe ich darauf geachtet, dass diese mit den Komplexitätskriterien der verwandten Forschungsarbeiten vergleichbar sind.

Bezüglich des Einsatzes von Eye-Trackern in der Wegfindungsforschung lässt sich zusammenfassend feststellen, dass ein Großteil der Analysen im Rahmen von Laborstudien erfolgte, da die Verwendung des Gerätes im Feld durch äußere Faktoren wie beispielsweise Sonneneinstrahlung erschwert wird (Giannopoulos, 2016, S. 14). Weiterhin ist anzumerken, dass kleine Stichproben von weniger als 20 Probanden durchaus üblich sind (Franke & Schweikart, 2017b, S. 32). Häufig werden Untersuchungen durchgeführt, bei denen die Wegfindung ohne Assistenzsystem analysiert wird. Studien im Innenraum sind sehr selten, lediglich Schnitzler et al. (2016) analysieren Papier- und digitale Karten in diesem Bereich. In dieser Untersuchung lag der Fokus jedoch nicht auf der detaillierten Analyse des digitalen Assistenzsystems. Diese „Forschungslücke“ schließe ich im Rahmen meiner Arbeit. Ich untersuche wie digitale Kartendarstellungen im Innenbereich bei einer realweltlichen Wegfindungsaufgabe rezipiert werden. Zudem achte ich darauf, keine kleinen Stichproben heranzuziehen.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt im Bereich der Blickanalyse ist, die Rezeption von Landmarken zu untersuchen. An diese Forschung schließe ich im Rahmen meiner Analysen an. Diese sind im nächsten Kapitel beschrieben.

# 4

## Vorstudie: Landmarkenerhebung im Innenbereich

### 4.1 Motivation

Um Landmarken innerhalb eines Navigationssystems zur Anzeige zu bringen, ist es notwendig, im Vorfeld geeignete Objekte zu identifizieren. Im Folgenden wird eine Vorstudie beschrieben, die dazu diente, Landmarken für die in Kapitel 5 und 6 dargestellten Interfaces zu sammeln. Zudem wurde in diesem Zusammenhang die Relation zwischen visueller Aufmerksamkeit, die ein Objekt auf sich zieht, und der Nennung als Landmarke analysiert.

In Kapitel 2.4.2 wurden unterschiedliche Möglichkeiten dargestellt, auffällige Objekte zu ermitteln. In meiner Arbeit verwende ich eine nutzerzentrierte Herangehensweise, die es ermöglicht, ohne detaillierte Informationen über die Beschaffenheit eines Objektes wie beispielsweise dessen Größe geeignete Objekte zu identifizieren. Weiterhin gilt das Vorgehen, Landmarken in situ zu sammeln, als die Methode, die dem natürlichen Navigationsverhalten einer Person am ähnlichsten ist und wird somit als Goldstandard angesehen (Kattenbeck, 2016, S. 41).

In der Forschung zu vorhandenen Fußgänger-Navigationssystemen wird die Anzeige von Landmarken häufig nicht thematisiert. So werden Objekte in der Umgebung beispielsweise bei bildbasierten Systemen nur implizit dargestellt, das heißt das System referenziert die Objekte nicht durch eine zusätzliche Markierung (siehe z. B.: Bouwer et al., 2012). Sofern Landmarken angezeigt werden, basiert deren Auswahl überwiegend auf einer Entscheidung der Testleiter (siehe z. B.: Nurmi et al., 2011). Ein Überblick über diese Problemstellung wird in Kapitel 3.2 gegeben. Die in diesem Kapitel beschriebene Studie soll diese methodische Lücke dadurch schließen, dass die Interface-Darstellungen meiner Arbeit Objekte referenzieren, die durch einen nutzerzentrierten Ansatz erhoben worden

sind.

Im Folgenden wird das durchgeführte Experiment beschrieben. Darüber hinaus war zur Analyse der Daten eine Annotation der Landmarken sowie der gesammelten Eye-Tracker-Daten notwendig. Diese wird im Anschluss erläutert, worauf die Darstellung der Ergebnisse folgt. Die deskriptive Statistik dieser Vorstudie wurde erstmals in Ohm, Müller, Ludwig und Bienk (2014) publiziert. Da sie die Basis für zwei der Hauptexperimente bildet, ist sie ebenso in Ohm, Müller und Ludwig (2015) und Ohm, Müller und Ludwig (2017) enthalten.

## 4.2 Testumgebung

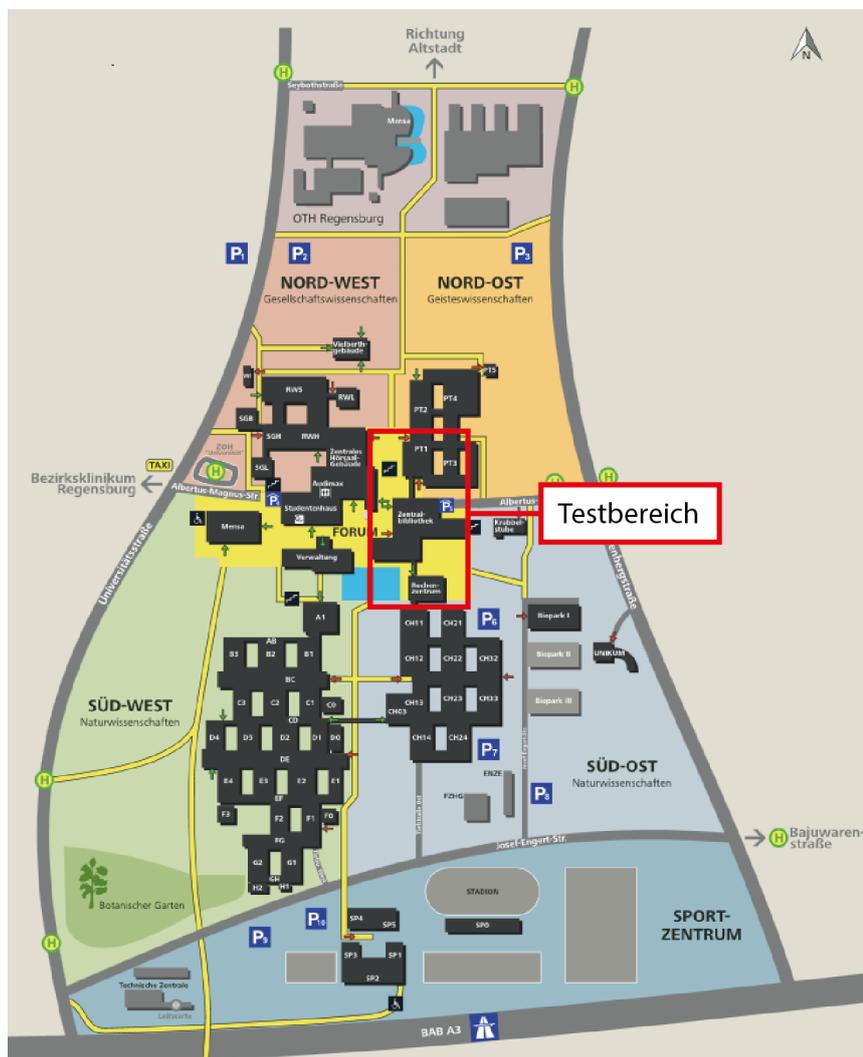


Abbildung 4.1: Campus der Universität Regensburg mit markiertem Testbereich (Bildquelle: Universität Regensburg (2017); Ausschnitt).

Meine Untersuchungen wurden alle an der Universität Regensburg durchgeführt. Der gesamte Campus erstreckt sich über eine Fläche von annähernd 0,5 km<sup>2</sup>. Er besteht aus mehreren, teilweise verbundenen Gebäuden, sodass fast alle Räume durch eine im Inne-

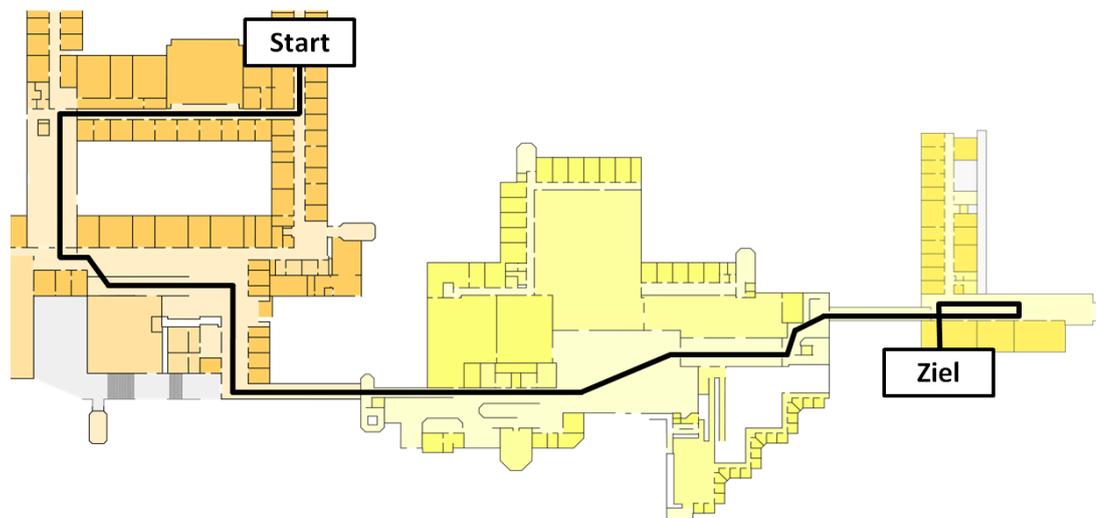


Abbildung 4.2: Testroute mit Start- und Zielpunkt. Verschiedene Gebäudeteile sind farblich unterschiedlich dargestellt.

ren liegende Strecke oder zumindest durch überdachte Wege erreichbar sind (siehe Abbildung 4.1). Alle Gebäude bestehen aus mehreren Stockwerken, wobei der strukturelle Aufbau sich innerhalb der verschiedenen Ebenen verändern kann. Zudem kann ein Gebäudewechsel auch über den Außenbereich des Campus erfolgen.

Für die Voruntersuchung zur Landmarkenauswahl wurde eine Strecke gewählt, die durch drei Gebäude führt (siehe Abbildung 4.2). Wie in Abbildung 4.1 zu sehen ist, umfasst diese nur einen kleinen Teil des gesamten Areals. Meine Arbeiten fokussieren sich auf die Wegfindung im Innenbereich. Übergänge im Außenbereich des Campus wurden aus diesem Grund nicht berücksichtigt. Die Teststrecke ist etwa 366 Meter lang. Somit ist die Route deutlich länger oder ungefähr gleich lang wie Teststrecken in vergleichbaren Studien im Innenbereich (siehe Kapitel 3.4). Sie führt durch die unterschiedlichen Gebäudeteile „Philosophie-Theologie“, „Zentralbibliothek“ und „Rechenzentrum“. Ersteres ist dadurch charakterisiert, dass es neben relativ schmalen Bürogängen auch größere Freiflächen und breite Gänge aufweist. Das Gebäude „Zentralbibliothek“ besteht im Gegensatz dazu beinahe nur aus größeren Freiflächen und Treppen, beziehungsweise Stufen, die keinen Stockwerkswechsel zur Folge haben, da das Gebäude am Hang gebaut ist. Ein Foyer, das durchquert werden musste, bietet viele Möglichkeiten, die Richtung zu wechseln, öffentlich zugängliche Räume zu betreten oder das Gebäude zu verlassen (siehe Abbildung 4.3, links). Das Rechenzentrum ist eher einfach aufgebaut mit einem breiten Gang, über den man öffentlich zugängliche Bereiche, wie CIP-Pools oder eine Treppe, erreichen kann (siehe Abbildung 4.3, rechts). Die Übergänge zwischen den Gebäuden erfolgen lediglich über Türen und sind nicht gesondert gekennzeichnet. Die Route beinhaltet acht Richtungs- sowie zwei „echte“ Stockwerkswechsel. Weiterhin mussten drei Mal Treppen in der Zentralbibliothek verwendet werden, um weiter auf dem vorgegebenen Pfad zu bleiben.



Abbildung 4.3: Beispiele für Szenen entlang der Teststrecke (links: ein Foyer in der Zentralbibliothek; rechts: ein Gang im Rechenzentrum).

### 4.3 Testpersonen

An der Studie nahmen 33 Personen teil, davon waren 17 männlich und 16 weiblich. Das Durchschnittsalter lag bei 22,7 Jahren ( $SD = 2,83$ ), mit einem Minimum von 19 Jahren und einem Maximum von 30 Jahren. Alle Testpersonen waren Studierende der Universität, somit ist die Testpopulation bezüglich Alter und Bildungsstand homogen. In Lovelace et al. (1999) wird aufgezeigt, dass es notwendig ist, dass Testpersonen eine Route kennen sollten, da sie ansonsten unvollständig wiedergegeben wird. Insbesondere verwenden Personen ohne Ortskenntnis weniger Landmarken entlang der Route, wenn sie diese beschreiben sollen (Lovelace et al., 1999, S. 75). Aus diesem Grund wurden für diese Vorstudie Studierende als Probanden gewählt, da diese zumindest Grundkenntnisse über den räumlichen Aufbau der Universität aufweisen. Weiterhin wurde die Vertrautheit mit der spezifischen Route des Experiments durch ein obligatorisches Abschreiten der Strecke abgesichert, da nicht jeder Studierende zwangsläufig jeden Gang der weitläufigen Universität kennt. Dies wird im Folgenden beschrieben.

### 4.4 Experiment-Durchführung

Das Experiment fand im Spätherbst 2013 zwischen 9:00 Uhr und 16:00 Uhr statt. Die Probanden wurden während des Experiments von zwei studentischen Testleitern begleitet. Diese wurden in einer etwa 60-minütigen Schulung über die Durchführung aufgeklärt. Zudem wurde die Funktionsweise und Handhabung des Eye-Trackers erklärt. Es wurde ein „SMI Eye-Tracking Glasses 1“-Eye-Tracker verwendet, der Blicke mit einer Rate von 30 Hz aufnimmt (siehe Kapitel 3.3.2). Weiterhin kann das Gerät eine Audioaufnahme vornehmen.

Die Testpersonen-Akquise oblag den studentischen Testleitern. Als Probanden durften nur Studierende der Universität herangezogen werden. Zudem durften keine Brillen-Träger teilnehmen, da die Aufnahme der Augen durch das Brillengestell abgeschirmt wird.

Der Testdurchlauf gliederte sich in zwei Teile. Zunächst wurden die Probanden über einen Umweg, der die Teststrecke nicht kreuzte, an den Startpunkt geführt und ihre de-

mografischen Daten aufgenommen. Daraufhin wurde der Eye-Tracker aufgesetzt, kalibriert und danach die Aufnahme gestartet. Im ersten Durchlauf sollten die Probanden noch keine Objekte nennen, sondern die Route ablaufen und auf Landmarken entlang der Strecke achten. Währenddessen wurden die Blickdaten der Probanden erhoben, so dass festgestellt werden konnte, welche Objekte visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Der Testleiter begleitete die Probanden, ohne sie zu drängen und gab durch kurze Gesten den Weg vor. Es wurden keine Hinweise auf auffällige Objekte entlang des Weges gegeben. Somit wurde auch sichergestellt, dass Probanden gut mit der Teststrecke vertraut sind. Dies ist eine Voraussetzung, Landmarken entlang der Strecke wählen zu können, sofern keine Vorauswahl bezüglich der Objekte vorgenommen wird (siehe May et al., 2003, S. 332). Die wörtliche Anweisung des ersten Durchlaufs lautete:

Bitte achten Sie beim Ablaufen der Route auf markante Objekte und prägen Sie sich diese Objekte so gut wie möglich ein. Diese Information wird im weiteren Verlauf des Experiments eine wichtige Rolle spielen.

Durch diese Instruktion wurde die Aufmerksamkeit auf auffällige Objekte entlang der Route gelenkt. Dadurch sollte verhindert werden, dass die Testpersonen beispielsweise nur den Testleiter fixieren. Nachdem die Strecke einmal begangen worden war, wurden die Probanden erneut zum Startpunkt der Route geführt. Daraufhin mussten sie die Teststrecke nochmals absolvieren, jedoch sollten sie in diesem zweiten Durchgang Landmarken, die zur Erklärung der Route geeignet sind, nennen. Dabei wurde auf die von Sefelin et al. (2005) beschriebene Thinking-aloud-Methode zur Landmarken-Erhebung im Innenbereich zurückgegriffen. Die Anweisung für den zweiten Durchgang lautete:

Gehen Sie die Route ab und sprechen Sie laut und deutlich Navigationsanweisungen für eine fiktive, nicht ortskundige Person aus, der Sie den Weg erklären. Beziehen Sie sich dabei vor allem auf markante Objekte („links an der Treppe vorbei“). Fixieren Sie bitte zur Verdeutlichung das jeweils bezeichnete Objekt mit den Augen.

Da diese Studie hauptsächlich dazu dienen sollte, eine Sammlung von Landmarken für die Hauptstudien zu generieren, wurde der Fokus der Probanden auf die Nennung von auffälligen Objekten gelenkt. Auch während des zweiten Durchlaufs wurde mittels des Eye-Trackers eine Aufnahme durchgeführt. Diese diente primär dazu, eine Audioaufnahme zu machen, die im Nachgang die Identifikation der referenzierten Objekte ermöglicht. Zudem sollten die Probanden die Landmarken, auf die sie Bezug nehmen, fixieren. Somit kann bei einer ambiguen Nennung wie „die Tür“ oder Ähnlichem im Nachgang festgestellt werden, welches Objekt gemeint war. Nach dem zweiten Durchlauf war das Experiment beendet. Zusammenfassend wurden somit zwei Datensätze pro Person erhoben. Einerseits die Blickdaten auf die unterschiedlichen Objekte während des ersten Durchlaufs, die aufzeigen, welche Objekte visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Andererseits die „Navigationsanweisungen“ der Probanden während des zweiten Durchlaufs, durch die eine Sammlung an Landmarken entlang der Strecke generiert werden konnte. Für beide Datensätze war eine Daten-Annotation notwendig, die im Folgenden beschrieben ist.



Abbildung 4.4: Beispielhafte Referenzbilder mit definierten Areas-of-Interest.

## 4.5 Daten-Annotation

Zunächst mussten die Blickdaten des mobilen Eye-Trackers annotiert werden, um sie in eine zur Analyse geeignete Form zu bringen. Hierzu wurde das Programm „BeGaze 3.7“ der Firma SMI verwendet.<sup>1</sup> Der Eye-Tracker liefert zunächst nur ein Umgebungsvideo, auf dem die Blicke verortet sind. Folglich muss annotiert werden, welche Objekte tatsächlich betrachtet wurden. Zu diesem Zweck muss ein sogenanntes Referenzbild erstellt werden, auf dem die Blicke übertragen werden können. Dafür wurden von jeder Szene Fotografien der Umgebung erstellt und als Referenzbilder herangezogen (siehe zwei Beispiele in Abbildung 4.4). Für die gesamte Teststrecke wurden 48 Fotografien erstellt, die den gesamten Bereich abbilden. Während der Annotation wird ein festgestellter Blick auf ein Objekt (rechts in Abbildung 4.5) auf das Referenzbild übertragen (links in Abbildung 4.5). Somit müssen die Referenzbilder relativ häufig gewechselt werden.

Entlang der Route wurden 256 Landmarken-Kandidaten basierend auf den Erkenntnissen, die in Kapitel 2.4.1 beschrieben sind, identifiziert. Diese umfassen so gut wie alle Objekte entlang des Weges, wie Türen, Treppen, Informationstafeln, Schilder, Pflanzen, und Ähnlichem. Der Boden und die Decke wurden nicht als Objekte gezählt. Die Objekte wurden innerhalb der Referenzbilder als Areas-of-Interest festgelegt und mit einer eindeutigen Identifikationsnummer referenziert (siehe Abbildung 4.4). Durch dieses Vorgehen konnte im Nachgang für jedes der 256 Objekte die Fixationsdauer pro Proband festgestellt werden. Die Areas-of-Interest wurden außerdem während der Annotation angezeigt, um das Übertragen der Blicke auf die einzelnen Objekte zu erleichtern. Die Datenaufbereitung wurde von einer studentischen Hilfskraft durchgeführt.

Für die Annotation der selektierten Objekte im zweiten Durchgang wurde eine Liste mit allen 256 Objekten erstellt. Für jeden Probanden wurde die Audioanweisung dahingehend analysiert, welche dieser Objekte genannt wurden. Sofern eine Landmarke referenziert wurde, wurde dies im Datensatz vermerkt. Bei Unklarheiten konnte die Eye-Tracker-Aufnahme zur Klärung herangezogen werden. Zusätzliche Objekte wurden gesondert notiert.

<sup>1</sup>Alle in dieser Arbeit abgebildeten Referenzbilder und Annotationsbeispiele sind zugeschnittene Original-Screenshots des Programms „BeGaze 3.7“ der Firma SMI. Zur besseren Lesbarkeit wurden Beschriftungen in Referenzbildern nachträglich bearbeitet.

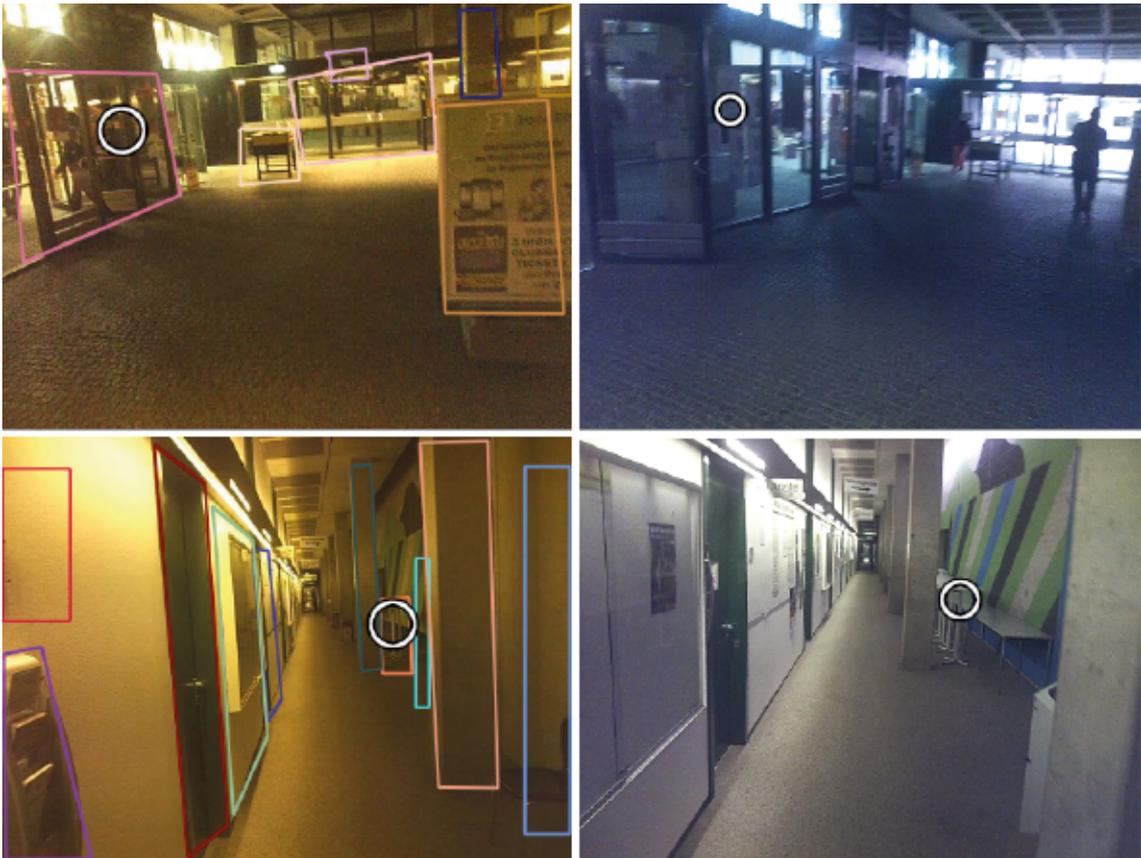


Abbildung 4.5: Annotation der Eye-Tracker-Daten (links: Referenzbild mit Areas-of-Interest; rechts: Aufnahme mit festgestelltem Blick).

## 4.6 Ergebnisse

Insgesamt wurden von den Probanden im zweiten Durchlauf 793 Objekte zur Beschreibung der Route herangezogen. Durchschnittlich nannte ein Proband 24,03 Objekte entlang der gesamten Strecke ( $SD = 12,18$ ). Für die Auswahl spezifischer Objekte, die in den Hauptexperimenten zur Anzeige kommen, ist somit insgesamt ein großer Datenbestand entstanden. Um auch allgemeinere Aussagen über die Art der Landmarken treffen zu können, die Nutzer im Innenbereich referenzieren, wurde für die nachfolgenden Auswertungen zunächst eine Einteilung der Objekte vorgenommen. Dabei wurden vier unterschiedliche Kategorien vergeben:

- Architektonische Objekte: Säulen, verkleidete Fronten, Glaswände
- Funktion: Türen, Treppen, Aufzüge
- Information: Schilder, Poster, Schaukästen
- Möbel: Tische, Stühle, Bänke, Verkaufsautomaten

Für eine Person konnten keine selektierten Objekte festgestellt werden, da die Tonqualität der Aufnahme nicht ausreichend war. Diese wurde in den nachfolgend dargestellten Ergebnissen nicht berücksichtigt.

	Architektur	Funktion	Information	Möbel	$\sum_{cat}$
(1) Selektierte Objekte	101	509	94	89	793
(2) $P(cat sel=true)$	0,13	0,64	0,12	0,11	1,00
(3) $P(sel=true cat)$	0,05	0,21	0,05	0,05	-
(4) Fixierte Objekte	617	1002	647	351	2617
(5) $P(cat fix=true)$	0,24	0,38	0,25	0,13	1,00
(6) $P(fix=true cat)$	0,31	0,40	0,32	0,19	-

Tabelle 4.1: Beobachtungen bezüglich der Fixationen und der Nennungen, gruppiert nach Landmarken-Kategorien (cat = Kategorie; sel = selektiert; fix = fixiert): Anzahl selektierter (1) und fixierter (4) Objekte pro Kategorie; Wahrscheinlichkeit, dass ein selektiertes (2) oder fixiertes (5) Objekt zu einer bestimmten Kategorie gehört; Wahrscheinlichkeit, dass ein Objekt einer bestimmten Kategorie ausgewählt (3) oder fixiert (6) wird.

Wie in Tabelle 4.1 zu sehen ist, verwendeten die Probanden größtenteils Objekte des Typs „Funktion“, um die Route zu beschreiben (Zeile 1 und 2). Etwa 64 % aller referenzier-ten Objekte sind somit Türen oder Treppen (entlang der Testroute befand sich lediglich ein Aufzug, der 13 Mal genannt wurde). Die anderen Objekte werden etwa gleich häufig referenziert. Die vermehrte Nennung der funktionalen Objekte ist nicht nur dadurch begründet, dass dieser Objekt-Typ im Innenbereich am häufigsten vorkommt: Die Wahr-scheinlichkeit, dass ein Objekt der Kategorie „Funktion“ ausgewählt wird beträgt 21 % und ist somit deutlich höher als die Wahrscheinlichkeit der anderen Kategorien (Zeile 3).

Betrachtet man die Anzahl der Nennungen pro Proband über die gesamte Strecke als abhängige Variable, zeigen sich hoch signifikante Unterschiede zwischen den Kategorien. Da die Daten nicht normalverteilt waren (geprüft mit einem Shapiro-Wilk-Test;  $p < 0,05$ ) wurde ein nicht-parametrischer Friedman-Test für verbundene Stichproben als Omnibus-Test verwendet ( $\chi^2 = 59,22$ ;  $p < 0,001$ ).

Ein Post-hoc-Test mit adjustiertem Signifikanzniveau nach Bonferroni zeigte auf, dass die Gruppe der funktionalen Objekte signifikant häufiger genannt wurde als alle anderen Gruppen ( $p < 0,001$ ). Abbildung 4.6 zeigt, dass durchschnittlich 15,42 dieser Landmarken in die Beschreibung miteinbezogen wurden, wohingegen die anderen Objekte im Schnitt nur etwa drei Mal referenziert werden. Zwischen den anderen Kategorien wurden keine Unterschiede festgestellt.

Auch bezüglich der Bindung der visuellen Aufmerksamkeit lässt sich ein ähnlicher Zusammenhang erkennen. Zu diesem Zweck wurde zunächst untersucht, welche Objek-te betrachtet wurden. Es wurde somit eine binäre Einteilung vorgenommen (betrachtet ja/nein). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein fixiertes Objekt zur Kategorie „Funktion“ ge-hört, beträgt 38 % und ist somit am höchsten (siehe Tabelle 4.1, Zeile 5). Auch ist die Wahr-scheinlichkeit, dass ein Objekt dieser Kategorie betrachtet wird, mit 40 % im Vergleich zu den anderen Kategorien am höchsten (Zeile 6). Der Friedman-Test zeigte auch für die Betrachtungshäufigkeit einen signifikanten Effekt auf ( $\chi^2 = 79,57$ ;  $p < 0,001$ ). Zwischen allen Paaren außer Information-Architektur bestehen signifikante Unterschiede. Objekte der Kategorie „Funktion“ werden am häufigsten fixiert, Möbel hingegen eher selten.

Als nächster Schritt wurde die mittlere Fixationsdauer pro Kategorie analysiert. Die durchschnittliche Fixationszeit war innerhalb der unterschiedlichen Kategorien nicht nor-malverteilt. Somit wurde wieder auf einen nicht-parametrischen Friedman-Test für ver-

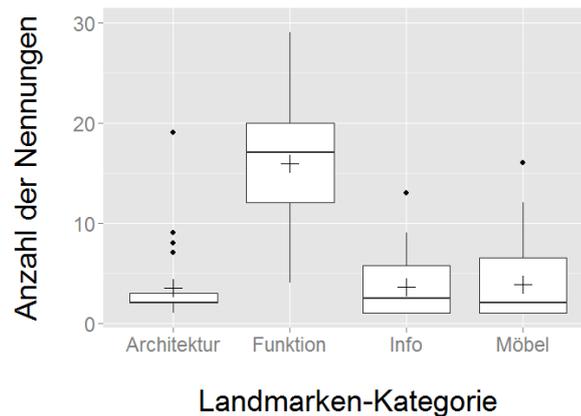


Abbildung 4.6: Anzahl der genannten Landmarken, aufgeteilt nach Landmarken-Kategorie.

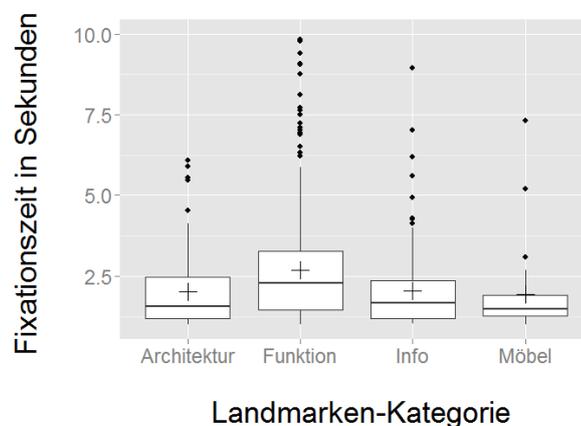


Abbildung 4.7: Durchschnittliche Fixationsdauer der Landmarken, aufgeteilt nach Landmarken-Kategorie.

bundene Stichproben als Omnibus-Test zurückgegriffen. Es zeigten sich hoch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $\chi^2 = 67,43$ ;  $p < 0,001$ ). Der Post-hoc-Test gab wieder, dass für alle Paare außer Information-Architektur hoch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bestehen. Die Objekte der Kategorie „Funktion“ werden somit durchschnittlich signifikant länger betrachtet als die anderen Objekte. Möbel werden am wenigsten fixiert (siehe Abbildung 4.7). Insgesamt ist also zu sagen, dass funktionale Objekte am häufigsten als Landmarken genannt werden, selbst unter Berücksichtigung, dass diese Objekte vermehrt entlang des Weges auftreten. Weiterhin werden sie häufiger und länger fixiert. Diese Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen bezüglich der Landmarken im Innenbereich von Viaene, Vanclooster, Ooms und Maeyer (2014, S. 109) und Viaene, Ooms et al. (2014, S. 55).

Eine weitere gängige Vorgehensweise ist die Einteilung von Landmarken anhand ihrer Position relativ zur Route (siehe Kapitel 2.4.1). Um auch diese Variable in meine Analysen einzubeziehen, wurden die Objekte zunächst in drei Kategorien aufgeteilt. In Anlehnung an Anacta et al. (2014, S. 316) wird zwischen Landmarken entlang der Route, demnach ohne Richtungswechsel, sowie Objekten an Entscheidungspunkten, also Punkten an de-

	auf	entlang	EP	$\sum_{cat}$
(1) Selektierte Objekte	358	303	132	793
(2) $P(cat sel=true)$	0,45	0,38	0,17	1,00
(3) $P(sel=true cat)$	0,49	0,06	0,05	-
(4) Fixierte Objekte	573	1422	622	2617
(5) $P(cat fix=true)$	0,22	0,54	0,24	1,00
(6) $P(fix=true cat)$	0,77	0,28	0,26	-

Tabelle 4.2: Beobachtungen bezüglich der Fixationen und der Nennungen, gruppiert nach Landmarken-Position (EP = Entscheidungspunkt; cat = Kategorie; sel = selektiert; fix = fixiert): Anzahl selektierter (1) und fixierter (4) Objekte pro Kategorie; Wahrscheinlichkeit, dass ein selektiertes (2) oder fixiertes (5) Objekt zu einer bestimmten Kategorie gehört; Wahrscheinlichkeit, dass ein Objekt einer bestimmten Kategorie ausgewählt (3) oder fixiert (6) wird.

nen die Richtung gewechselt wird, unterschieden. Weiterhin wird eine Kategorie „auf“ hinzugefügt, die alle Objekte beinhaltet, die direkt auf der Route liegen. Die deskriptive Statistik zu diesen Ergebnissen ist in Tabelle 4.2 zusammengefasst.

Es zeigte sich, dass die von Nutzern selektierten Objekte zu 45 % zur Kategorie „auf“ der Route gehören (Zeile 2). Sollte ein Objekt auf der Route liegen, so wird es mit einer Wahrscheinlichkeit von knapp 50 % auch genannt (Zeile 3). Hier wird der Zusammenhang zwischen der häufigen Nennung des Typs „Funktion“ und der Position des Objekts deutlich. Beinahe alle Objekte dieser Kategorie sind funktionale Objekte (89 %), da Türen und Treppen häufig auf der Route liegen und „verwendet“ werden müssen. Dies ist eine besondere Charakteristik des Innenraums. Einige Schilder, die beispielsweise über Türen angebracht sind oder architektonische Besonderheiten wie Glasfronten bilden die restlichen 11 % in dieser Gruppe. Bezüglich der Blickdaten der Gruppe „auf“ kann beobachtet werden, dass 77 % der Objekte auf der Route auch betrachtet werden (Zeile 6).

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein fixiertes Objekt „entlang“ der Route liegt beträgt 54 % und ist somit höher als der Wert für die Position „auf“ (Zeile 5). Diese zweite Landmarken-Gruppe wird sehr häufig fixiert, da sich die Objekte vermutlich vermehrt im Sichtfeld der Nutzer befinden. Diese Landmarken werden zudem relativ häufig zur Routenbeschreibung herangezogen (Zeile 1 und 2). Jedoch kann dies durchaus unter anderem dadurch erklärt werden, dass diese Objektkategorie sehr oft auf der Gesamtstrecke vorkommt (Zeile 3). In dieser Positionskategorie kommen die funktionalen Objekte wieder am häufigsten vor, jedoch werden auch die anderen Kategorien genannt (Funktion: 39 %; Möbel: 28 %; Architektur: 19 %; Information: 14 %).

Nur 17 % aller gewählten Objekte sind an einem Entscheidungspunkt verortet. Alle anderen Landmarken dienen der Bestätigung, auf dem richtigen Weg zu sein, oder dem Hinweis, dass eine räumliche Barriere wie eine Tür oder Treppe überwunden werden muss. Dies zeigt auch für den Innenbereich die wichtige Rolle von Orientierungsinformation, die für den Außenbereich beispielsweise in Anacta et al. (2016) untersucht wurde.

Auch an Entscheidungspunkten werden vermehrt funktionale Objekte gewählt (Funktion: 55 %; Info: 26 %; Architektur: 15 %; Möbel: 4 %). Bezüglich der Positionen der Objekte an einem Entscheidungspunkt wurde eine genauere Analyse durchgeführt. Hierfür wurden ähnlich wie bei Röser et al. (2012) die Objekte in vier Kategorien eingeteilt. Die

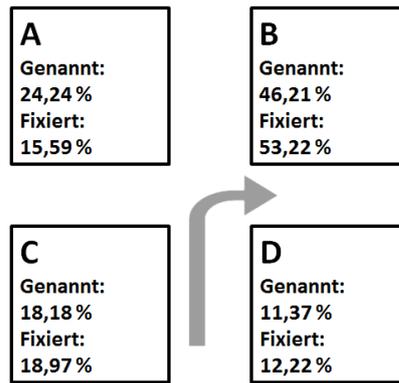


Abbildung 4.8: Landmarken-Positionen an Entscheidungspunkten.

Aufteilung ist in Abbildung 4.8 beispielhaft für eine Abbiegung nach rechts illustriert. Die Richtungen wurden bei der Analyse nicht unterschieden, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass hierfür ein Unterschied besteht (Röser et al., 2012, S. 86). Anders als bei Röser et al. (2012) waren in der Stichprobe neben drei „Plus“-Kreuzungen auch vier „T“-Kreuzungen enthalten. Letztere wurden ebenfalls in vier Quadranten eingeteilt, indem die Strecke, die „unterbrochen“ wird, „imaginär“ verlängert wurde.

Für die Analyse der Häufigkeit der Nennungen der unterschiedlichen Positionen an Entscheidungspunkten wurde aufgrund des Verstoßes gegen die Normalverteilungsannahme wieder auf den Friedman-Test für verbundene Stichproben zurückgegriffen. Dieser wies auf signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen hin ( $\chi^2 = 26,15$ ;  $p < 0,001$ ). Der Post-hoc-Test zeigte nach Bonferroni-Korrektur, dass sich die Gruppen B und C sowie B und D signifikant voneinander unterscheiden. Landmarken, die in Bewegungsrichtung nach der Kreuzung positioniert sind (Gruppe B) werden signifikant häufiger gewählt als Objekte auf der gleichen Seite der Kreuzung. Diese Position ist somit für die Auswahl von Landmarken zu präferieren. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Röser et al. (2012) im virtuellen Raum. Dort wird die Hypothese aufgestellt, dass Objekte auf der gegenüberliegenden Seite aufgrund ihrer guten Sichtbarkeit häufiger verwendet werden. Diese Behauptung kann anhand des gemessenen Blickverhaltens an Entscheidungspunkten validiert werden (Ergebnis des Friedman-Tests:  $\chi^2 = 52,50$ ;  $p < 0,001$ ): Objekte der Position B werden signifikant öfter betrachtet als alle anderen Objekte. Zwischen den weiteren Positionskategorien konnte hingegen kein Unterschied festgestellt werden. Bezüglich der durchschnittlichen Fixationsdauer der Objekte zeigte sich, dass Objekte der Kategorie A im Schnitt signifikant kürzer betrachtet werden (unter 100 Millisekunden) als alle anderen Positionen (circa 200 Millisekunden). Zwischen den anderen Gruppen wurde kein Unterschied festgestellt (Ergebnis des Friedman-Tests:  $\chi^2 = 28,86$ ;  $p < 0,001$ ). Folglich ist auch ein Objekt auf der anderen Seite der Kreuzung, das nicht in Bewegungsrichtung liegt, vermutlich schwierig zu rezipieren, auch wenn bezüglich der Nennung als Landmarke keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden.

Teilweise nannten die Probanden zusätzliche Landmarken, die keiner Area-of-Interest zugeordnet werden konnten. Insgesamt wurden 41 zusätzliche Objekte zur Beschreibung des Weges verwendet. Davon bezog sich der Großteil (35 Nennungen) auf Merkmale in der Umgebung, die nicht punktförmig sind, so wie Türen, sondern eine Fläche beschrei-

ben (siehe zur Einteilung von Landmarken anhand ihrer Ausdehnung: Furlan et al., 2007, S. 12). Dazu gehören zum Beispiel die Eingangshalle der Bibliothek, eine Cafeteria und der Bezug auf Gänge. Sechs der weiteren Nennungen referenzierten nur temporär vorhandene Merkmale wie eine Weihnachtsfeier, ein spezifisches Poster oder Fahrräder, die im Gang abgestellt wurden.<sup>2</sup> Da die flächenartigen Objekte lediglich 3,52 % aller genannten Objekte ausmachten, wurden diese in meinen weiteren Studien nicht berücksichtigt.

### 4.7 Zusammenfassung und Diskussion

In dieser Studie mussten Probanden eine vordefinierte Teststrecke zwei Mal ablaufen. Im ersten Durchgang wurde mithilfe eines mobilen Eye-Trackers festgestellt, welche Objekte visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Im zweiten Durchlauf nannten die Testteilnehmer Objekte, die sie zur Beschreibung der Route verwenden würden. Es zeigte sich, dass bezüglich der Kategorie der Landmarken vor allem funktionale Objekte – also Treppen und Türen – visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Diese Objekte werden signifikant länger betrachtet. Darüber hinaus werden sie auch signifikant häufiger zur Beschreibung der Route verwendet. Demnach sind diese Objekte gut geeignet, um eine Route im Inneren eines Gebäudes zu beschreiben. Diese Erkenntnis deckt sich mit Beobachtungen in verwandten Forschungsarbeiten (siehe zum Beispiel: Viaene, Ooms et al., 2014). Weiterhin gaben die Ergebnisse wieder, dass diese Objekte vermehrt referenziert werden, wenn sie auf oder entlang der Route positioniert sind. Im Allgemeinen ist zu sagen, dass ein Objekt, sofern es auf der Route liegt, sehr wahrscheinlich zur Beschreibung verwendet wird und visuelle Aufmerksamkeit auf sich zieht. Auffällig ist auch die Beobachtung, dass die Probanden nicht nur dann Objekte zur Beschreibung verwenden, wenn ein Richtungswechsel erfolgen muss. Es wird somit vermehrt auch auf Landmarken, die zur Aufrechterhaltung der Orientierung dienen, Bezug genommen. Dieser Zusammenhang wurde für den Außenbereich bereits festgestellt (Anacta et al., 2016). Bezüglich der Position einer Landmarke an einem Entscheidungspunkt, an dem die Richtung gewechselt werden muss, konnte festgestellt werden, dass Objekte auf der gegenüberliegenden Seite der Kreuzung in Bewegungsrichtung häufiger genannt und fixiert werden. Zudem wird das Objekt, das nicht in Bewegungsrichtung liegt, signifikant kürzer betrachtet. Somit können für diese Einteilung der Landmarken anhand ihrer Position Erkenntnisse aus verwandten Forschungsarbeiten reproduziert, auf ein real-weltliches Szenario übertragen und anhand des Blickverhaltens der Probanden detaillierter erklärt werden (siehe dazu Röser et al., 2012).

Als Einschränkung ist die Abhängigkeit der gewählten Objekte von der Teststrecke und der Richtung der Route zu nennen. Jedoch zeigt die Übereinstimmung mit den verwandten Forschungsarbeiten auf, dass die Ergebnisse zumindest für ein Universitätsgebäude generalisierbar sind. Bezüglich der Abhängigkeit der gewählten Landmarken von der Art des Gebäudes ist zu sagen, dass in Ohm, Müller und Ludwig (2015) aufgezeigt wird, dass die funktionalen Objekte auch in anderen Innenbereichen wie Kaufhäusern und Bahnhöfen neben Geschäften die wichtigste Landmarken-Kategorie darstellen.

Hinsichtlich der Position der Objekte an Entscheidungspunkten wurde nicht zwischen verschiedenen Kreuzungsarten unterschieden. Zudem wurden sehr komplexe Abbiege-Si-

---

<sup>2</sup>Der Bezug auf Objekte, die nicht dauerhaft in der Umgebung verbleiben, wurde im Außenbereich auch von Ishikawa und Nakamura (2012, S. 10) festgestellt.

tuationen, bei denen man mehr als drei Möglichkeiten hat, den Weg fortzuführen, nicht analysiert. Hier besteht somit noch weiterer Forschungsbedarf. Auch wurde die Nennung von globalen Landmarken nicht berücksichtigt. Auf Objekte abseits der Route wurde in diesem Versuch kein Bezug genommen. Dies kann jedoch durch den Testaufbau beeinflusst sein. Weitere Studien geben Hinweise darauf, dass diese Art von Objekt zwar im Innenbereich eine kleinere Rolle spielt als außerhalb eines Gebäudes (siehe Bauer, Müller, Ludwig & Zhang, 2017), sie jedoch durchaus zur Beschreibung einer Route herangezogen werden können.

Die in dieser Vorstudie erhobenen Landmarken dienen als Datensatz für meine Hauptstudien. Die in den folgenden Kapiteln 5 und 6 beschriebenen Kartendarstellungen bringen die auffälligen Objekte zur Anzeige. Somit wird in den Hauptstudien auch untersucht, ob die gewählten Landmarken der Vorstudie für andere Personen bei der Orientierung hilfreich sind.



# 5

## Darstellung der Umgebung – statischer Prototyp

### 5.1 Motivation

„Mobile maps can differ in scale, content, and style. As a result, the effectiveness of different types of maps (ranging from sketch or schematic map to topographic map or other detailed map) for indoor route communication should be evaluated. However, little work has been done on that.“ (Huang & Gartner, 2010, S. 312)

Obwohl dieses Zitat aus dem Jahr 2010 stammt, zeigen meine Literatur-Analysen, die in Kapitel 3.2.2 beschrieben sind, dass dieser Sachverhalt für den Innenbereich immer noch zutrifft. Es existieren zwar bereits Untersuchungen zu unterschiedlichem Kartenmaterial, jedoch wurden in diesen Arbeiten keine Gebäudepläne mit schematischen Karten während einer real-weltlichen Wegfindungsaufgabe mithilfe eines Navigationssystems verglichen. Es blieb somit offen, ob abstrahierte Kartendarstellungen die Wegfindungsaufgabe in gleicher Weise wie Gebäudepläne unterstützen. Weiterhin fehlen in den meisten Navigationsprototypen Landmarken (siehe Kapitel 3.4), die jedoch in der kognitionspsychologischen Literatur zur räumlichen Wahrnehmung als einer der wichtigsten Bestandteile zur Lösung der Wegfindungsaufgabe identifiziert wurden (siehe z. B.: Montello & Sas, 2006, S. 2004). Diese „Forschungslücke“ wird in der vorliegenden Arbeit thematisiert. Hierzu werden schematische Karten mit Architekturplänen verglichen, die beide ein wichtiges Hilfsmittel für die Wegfindung in Innenräumen darstellen (siehe Kapitel 2.5 und 3.4). Dabei wird explizit auf Landmarken Bezug genommen. In diesem Zusammenhang werden die Objekte, die in der Vorstudie als geeignet für eine Routenbeschreibung identifiziert wurden (siehe Kapitel 4), in textuelle und bildliche Navigationsanweisungen

integriert. Im Folgenden werden das Experiment-Design sowie die Ergebnisse der ersten von insgesamt vier Studien in diesem Bereich beschrieben.

Teile der Ergebnisse bezüglich des Blickverhaltens der Probanden des nachfolgend beschriebenen Experiments sind in der Fachpublikationen Ohm et al. (2017) veröffentlicht. Details zu der Navigationszeit wurden in Ohm, Bienk, Kattenbeck, Ludwig und Müller (2016) publiziert.

### 5.2 Testumgebung und Landmarkenauswahl

Es wurde die gleiche Testroute wie in der Vorstudie zur Analyse der Landmarken im Innenbereich verwendet (siehe Kapitel 4.2). Demnach wurden wieder drei Gebäude durchquert sowie mehrere Treppen verwendet. Die Navigation fand in unterschiedlichen Bereichen wie Bürogängen, größeren Gängen und Foyers statt (siehe Abbildung 5.1).

Als Erstes wurden in Anlehnung an Klippel, Hansen, Richter und Winter (2008) verschiedene Routensegmente definiert, an denen davon ausgegangen werden kann, dass Wegfinder eine Navigationsanweisung benötigen. Dies geschah nach folgendem Prinzip: Zunächst wurden alle Entscheidungspunkte entlang der Route identifiziert, das heißt Punkte entlang des Weges, an denen zumindest zwei Möglichkeiten bestehen, den Weg fortzusetzen. In diesem Zusammenhang wurden auch potenzielle Entscheidungspunkte berücksichtigt (siehe Kapitel 2.4.1 zur Einteilung von Landmarken an Entscheidungspunkten). Dabei wird davon ausgegangen, dass Wegfindungsinformation an Punkten, an denen man zwar nicht abbiegen muss, jedoch die Richtung ändern kann, wichtig für die Erfüllung der Navigationsaufgabe ist (Anacta et al., 2016, S. 13).

Die Einteilung anhand von Entscheidungspunkten beinhaltet alle bis auf sechs Schritte, die in Tabelle 5.1 aufgeführt sind. Die Tabelle listet zudem für jeden Navigationsschritt den Branching-Faktor auf, also die Anzahl der Möglichkeiten, den Weg fortzuführen, in-

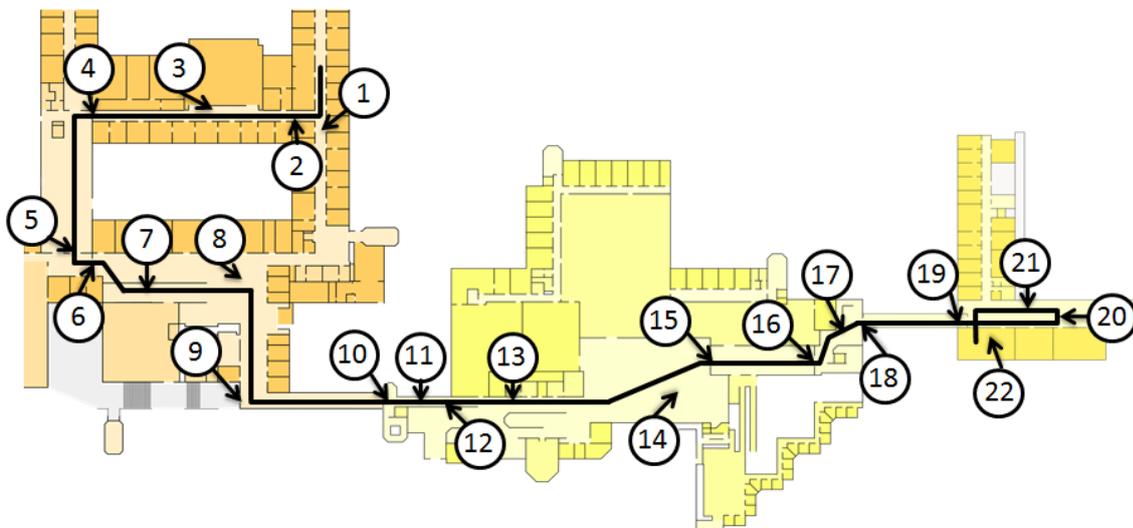


Abbildung 5.1: Testroute mit eingezeichneten Landmarken-Positionen.

klusive der Rückrichtung. Bei den Schritten 2, 10, 16, 18 sowie 19 wurde eine Anweisung formuliert, da hier Türen durchquert und somit eine räumliche Barriere überwunden werden musste. Dass die Nennung dieser Objekte für eine Wegbeschreibung wichtig ist, zeigen auch die Ergebnisse der Vorstudie, die zur Gewinnung der in diesem Experiment verwendeten Landmarken durchgeführt wurde. Diese fünf Türen wurden insgesamt durchschnittlich 18,8 Mal als Landmarken genannt. Somit stuften mehr als die Hälfte der Testpersonen der Vorstudie diese Objekte als geeignet ein (von insgesamt 33 Testpersonen). Weiterhin wurde untersucht, ob zwischen zwei Entscheidungspunkten Routensegmente existieren, an denen mehr als die Hälfte der Probanden der Vorstudie eine Landmarke benannten, obwohl keine (potenzielle) Richtungsänderung möglich war und keine Tür durchquert oder Treppe verwendet werden musste. In diesem Fall wurde von einer notwendigen Landmarke entlang der Route ausgegangen (siehe Anacta et al., 2014, S. 316). Dies war bei Schritt 3 der Fall, bei dem die Testpersonen die Säulen entlang eines Ganges als wichtig einstuften (siehe Abbildung 5.2, links).

S	Anweisung	Landmarke	N	Richtung	BF
1	Biegen Sie vor der Glastür rechts ab.	Glastür	13	rechts	3
2	Gehen Sie durch die Glastür.	Glastür	20	–	2
3	Gehen Sie geradeaus an den Säulen vorbei.	Säulen	17	geradeaus	2
4	Gehen Sie durch die Glastür und dann links.	Glastür	23	links	4
5	Gehen Sie geradeaus durch die Glastür.	Glastür	25	geradeaus	3
6	Gehen Sie links und dann durch die Glastür.	Glastür	13	links	4
7	Gehen Sie die Treppe hinauf.	Treppe	28	hinauf	4
8	Gehen Sie bei den Säulen rechts.	Säulen	8	rechts	4
9	Gehen Sie bei der Glastür links.	Glastür	8	links	3
10	Gehen Sie geradeaus durch die Glastür.	Glastür	19	geradeaus	2
11	Gehen Sie geradeaus die Treppe hinauf.	Treppe	29	hinauf	3
12	Gehen Sie geradeaus die Treppe hinauf.	Treppe	21	hinauf	5
13	Gehen Sie geradeaus am WC vorbei.	WC	15	geradeaus	5
14	Gehen Sie geradeaus auf die Treppe zu.	Treppe	15	geradeaus	6
15	Gehen Sie links durch die Glastür.	Glastür	15	links	5
16	Gehen Sie geradeaus durch die grüne Tür.	grüne Tür	24	geradeaus	2
17	Gehen Sie nach links und die Treppen hinauf.	Treppen	23	links	4
18	Gehen Sie durch die Tür.	Tür	19	–	2
19	Gehen Sie geradeaus durch die Tür.	Tür	12	geradeaus	2
20	Gehen Sie geradeaus auf die Treppe zu.	Treppe	16	geradeaus	4
21	Gehen Sie links die Treppe hinab.	Treppe	16	hinab	3
22	Das Ziel (Informationszentrum) liegt links vor Ihnen.	Ziel	–	links	4

Tabelle 5.1: Textanweisungen und referenzierte Landmarken (S = Schrittnummer; N = Anzahl der Nennungen in der Vorstudie von insgesamt 33 Testpersonen; BF = Branching-Faktor, also Möglichkeiten, den Weg fortzuführen, inklusive der Rückrichtung).



Abbildung 5.2: Beispielhafte Landmarken und Navigationsszenen. Die Nummerierung bezieht sich auf die Einteilung in Tabelle 5.1.

Dieses Vorgehen resultierte in 21 Schritten plus der Anweisung, die beim Erreichen des Ziels gegeben wurde. Als Nächstes wurden für die Entscheidungspunkte Landmarken ausgesucht (die zusätzlichen Schritte enthalten durch ihre Auswahlkriterien eine Landmarke, sodass für diese kein Objekt gewählt werden muss). Zu diesem Zweck wurde zunächst annotiert, welche Landmarken an einem bestimmten Entscheidungspunkt sichtbar sind. Daraufhin wurde aus dieser Menge das Objekt ausgewählt, das in der Vorstudie am häufigsten zur Routenbeschreibung herangezogen wurde. Folglich besteht die Auswahl hauptsächlich aus Türen und Treppen (siehe die Ergebnisse der Vorstudie in Kapitel 4.6), bis auf Schritt 13, bei dem auf eine Toilette Bezug genommen wird. Die Benennung der Objekte richtet sich nach den Formulierungen der Testpersonen aus der Vorstudie. Ein Beispiel für eine Treppen-Landmarke ist in Abbildung 5.2 (rechts) zu sehen. Eine Übersicht über die Routen-Einteilung und die Lage der Objekte kann Abbildung 5.1 entnommen werden.<sup>1</sup>

### 5.3 Testmaterial

Im Folgenden wird auf das Testmaterial, insbesondere auf die unterschiedlichen Interface-Designs des Navigationsprototypen, eingegangen. Des Weiteren wird der verwendete Fragebogen beschrieben. Die Experimente wurden mit einem Nexus 4 Smartphone durchgeführt. Die Bildschirmdiagonale des Geräts beläuft sich auf 11,9 cm (4,7 Zoll). Zudem wurde wie in der Studie zur Erhebung der Landmarken der „SMI Eye-Tracking Glasses 1“-Eye-Tracker verwendet, um das Blickverhalten der Probanden zu analysieren.

#### 5.3.1 Interface

Die Testapplikation wurde in Android implementiert. Es wurden zwei unterschiedliche Versionen programmiert, die sich dahingehend unterschieden, wie viele Informationen

<sup>1</sup>Das für diese Abbildung verwendete Kartenmaterial stand zum Zeitpunkt des Experiments noch nicht zur Verfügung und dient hier der Veranschaulichung der Testroute. Eine Analyse der Eignung dieses Kartenmaterials wird in Kapitel 8 beschrieben.

den Nutzern zur Orientierung angezeigt wurden. Die erste Version illustrierte die Navigationsanweisungen mithilfe von Ausschnitten aus architektonischen Gebäudeplänen, die von der technischen Zentrale der Universität Regensburg zur Verfügung gestellt wurden (siehe Abbildung 5.4, rechts). Architekturpläne werden in verwandten Forschungsarbeiten häufig als Hilfsmittel für die Navigation herangezogen und sind demnach als Baseline-Darstellungsart einzuordnen (siehe Kapitel 3.4). Die Architekturpläne der Universität werden beispielsweise auch angezeigt, wenn man Informationen zu Räumen und deren Position abfragt und dienen somit auch im Untersuchungsgebiet als Navigationshilfe (siehe ein Beispiel in Abbildung 5.3). Im Gegensatz dazu zeigt die zweite Version lediglich die Route und die im Vorfeld ausgewählte Landmarke an, ohne zusätzlich Umgebungsinformationen in Form von Karten bereitzustellen (siehe Abbildung 5.4, links). Das Interface führt somit die Idee weiter, die Anzeige der Umgebung zu abstrahieren (siehe z. B.: Butz et al., 2001) und ist dem Design der Papierkarten, die von Bigler et al. (2014) zur Navigation verwendet wurden, sehr ähnlich. Diese Version wird im Folgenden aufgrund ihrer optischen Ähnlichkeit zu einer Graphen-Struktur als „Graph“-Interface bezeichnet. In der Literatur wird bereits länger diskutiert, schematische Karten als Hilfsmittel für die Wegfindung einzusetzen (siehe Kapitel 2.5). Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Anzeige des aktuellen Standorts der Person, der Route sowie einer Landmarke als minimale Informationsmenge notwendig ist, um die Wegfindungsaufgabe erfolgreich zu absolvieren (Tversky & Lee, 1999, S. 61). Ob dies der Fall ist und darüber hinaus, ob diese Art, Navigationsinformationen darzustellen, im Vergleich zu Gebäudeplänen einen Vorteil bietet, ist die Hauptforschungsfrage meiner Arbeit.

Die zu absolvierende Route ist im Interface für jeden Navigationsschritt durch einen Graphen dargestellt, der durch Pfeile in Bewegungsrichtung erweitert wurde. Die Land-

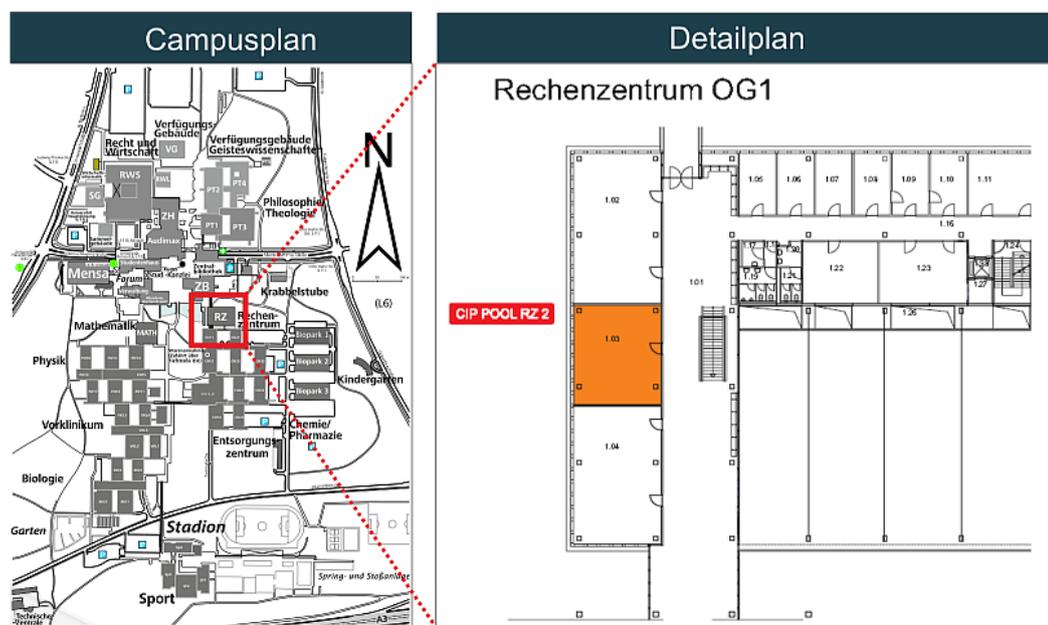


Abbildung 5.3: Beispielhafte Anfrage an die Rauminformation der Universität Regensburg (Universität Regensburg, 2018, Ausschnitt). Die Abbildung zeigt den Bereich von Navigationsschritt 20 und 21 (siehe Abbildung 5.1).

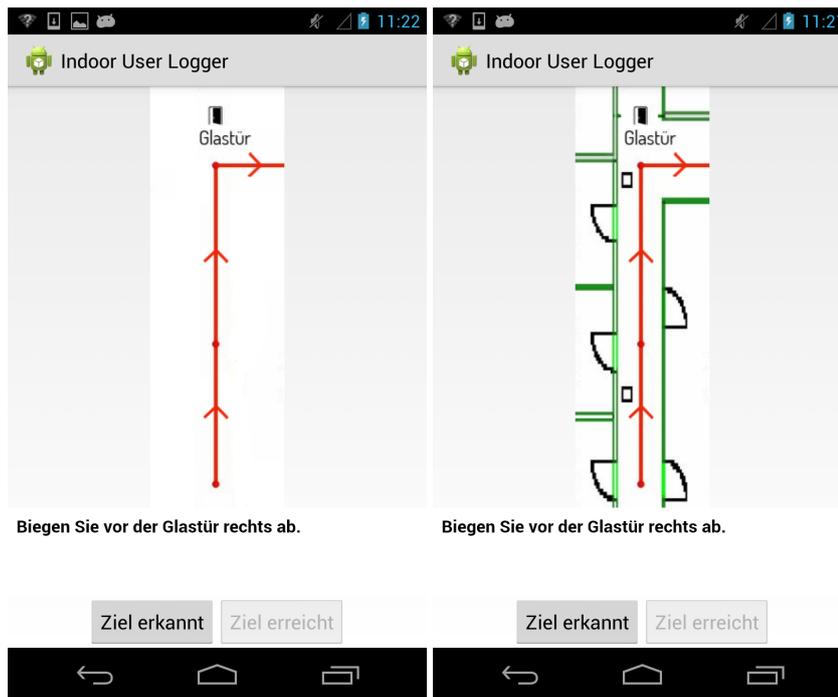


Abbildung 5.4: Interface-Design des statischen Prototypen (links: reduzierte Darstellung; rechts: Kartenmaterial der Universität Regensburg).

marke, die die Wegfinder zur Orientierung nutzen sollen, ist gemäß den Vorschlägen von Elias und Paelke (2008, S. 44) durch ein Icon dargestellt, das zudem mit einer Beschriftung versehen ist. Die Screenshots in Abbildung 5.4 zeigen beispielsweise die Landmarke „Glastür“. Eine Übersicht der verwendeten Icons ist in Abbildung 5.5 zu sehen. Es wurden lediglich drei Icons verwendet („Tür“, „Treppe“, „WC“) sowie ein Punkt für „Säulen“ und eine Zielfahne am Ende der Route. Die Beschriftungen für „Tür“ können diese wiederum näher spezifizieren („Glastür“ oder „grün“). Diese Benennungen wurden von den Probanden aus der Vorstudie verwendet. In beiden Kartendarstellungen wurden die selben Landmarken-Icons angezeigt. Es unterschied sich demnach nur die Menge an Informationen bezüglich der weiteren Umgebung der Nutzer.

Die Karten wurden per Hand bearbeitet und die Route sowie die Icons mit einem Grafikeditor eingefügt. Der jeweilige Kartenabschnitt wurde immer in Bewegungsrichtung ausgerichtet, da bereits mehrfach gezeigt wurde, dass diese Art der Ausrichtung einer statischen Karte präferiert wird (siehe z. B.: Smets et al., 2008; Walther-Franks & Malaka, 2008). Weiterhin wird nur der aktuelle Schritt dargestellt, vergangene oder zukünftige Schritte sind nicht zu sehen.

Die Implementierung zeigt lediglich eine Reihenfolge dieser Bilder an, es erfolgt keine weitere Ausrichtung und der Kartenausschnitt ist nicht „zoom“-bar. Für keine meiner



Abbildung 5.5: Verwendete Icons mit Beschriftungen.

Studien stand eine Lokalisierungskomponente zur Verfügung. Der Standort der Person wurde demnach nicht angezeigt. Somit mussten sich die Testpersonen ohne diese Information selbst verorten.

Beide Interfaces sind in drei Bereiche aufgeteilt. Etwa zwei Drittel des Bildschirms zeigen die unterschiedlichen Kartendarstellungen. Weiterhin ist unmittelbar unter diesem Element eine Textanweisung platziert. Kray et al. (2003, S. 120) betonen, dass eine textuelle Anweisung, neben Kartenmaterial, eine der wichtigsten Navigationshilfen darstellen und empfehlen deshalb, Karten immer mit einer Textanweisung zu kombinieren. Aus diesem Grund wurde für alle meine Prototypen eine solche Anweisungsform integriert. Die Textanweisungen wurden von mir nach folgendem Schema formuliert: Es wurde immer auf die Landmarke Bezug genommen sowie eine Richtung integriert. Weitere erzählerisch-erklärende Elemente, wie beispielsweise von Mast et al. (2012) vorgeschlagen, wurden nicht hinzugefügt, um eine potenzielle automatische Generierung der Anweisungen nicht auszuschließen. Die Textanweisungen waren für beide Interfaces unveränderlich. Eine Übersicht über diese Art der Anweisungen ist in Tabelle 5.1 gegeben. In acht Schritten musste die Richtung geändert („rechts“, „links“) und in vier eine Treppe hinauf oder hinab gegangen werden. Die häufigste Richtung war „geradeaus“ (acht Nennungen). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Anacta et al. (2016, S. 8), die aufzeigten, dass Landmarken entlang des Weges sowie an potenziellen Entscheidungspunkten einen wichtigen Bestandteil von Navigationsanweisungen darstellen, da sie Orientierungsinformation bereitstellen. Weiterhin empfehlen auch Millonig und Schechtner (2007, S. 46), Objekte entlang der Route in Anweisungen zu integrieren, obwohl sich die meisten Fußgänger-Navigationsprototypen auf Landmarken an Entscheidungspunkten fokussieren. Zwei Anweisungen enthielten keine explizite Richtungsinformation (Anweisung 2 und 18). Jedoch wird hier implizit die Richtung „geradeaus“ angegeben, da es beide Male heißt, man soll durch eine Tür, die unmittelbar vor den Wegfindern liegt, gehen.

Das dritte Interface-Element umfasst zwei Buttons am unteren Bildschirmrand, die unter der Textanweisung platziert sind. Diese sind mit „Ziel erkannt“ sowie „Ziel erreicht“ beschriftet. Der erste Button sollte von den Testpersonen gedrückt werden, sobald sie die Navigationsanweisung verstanden hatten. Hiermit wird die Zeit gemessen, die die Wegfinder zur Orientierung benötigen. Diese Variable wurde in Anlehnung an Chittaro und Burigat (2005) erhoben und sollte zusätzlich zur gesamten Navigationszeit Einblick geben, wie lange die Orientierungsphase der Navigation dauert (siehe Kapitel 2.1 zur Einteilung der verschiedenen Navigations- und Wegfindungsphasen). Der Button „Ziel erreicht“ konnte erst betätigt werden, wenn angegeben wurde, dass das Ziel erkannt wurde. Dieser sollte gedrückt werden, sobald die Person die jeweilige Landmarke passiert oder durchschritten hatte, zum Beispiel bei Treppen und Türen. Daraufhin wurde der nächste Karten-Ausschnitt mit dazugehöriger Textanweisung angezeigt. Die Zeiten, wann die jeweiligen Buttons geklickt wurden, wurden in eine Logdatei gespeichert. Es war nicht möglich, vorhergehende Schritte nochmals zu betrachten, da ich analysieren wollte, wie die Stimuli beim ersten Betrachten rezipiert werden. Das fehlerfreie Funktionieren des Prototypen wurde durch einen Pre-Test mit zwei Testpersonen (ein Proband je Interface-Variante) abgesichert. Die Daten dieser Testläufe wurden nicht in die Analyse miteinbezogen.

### 5.3.2 Fragebogen

Im Rahmen dieses Experiments wurden Fragen zur Vorkenntnis sowie zum Orientierungssinn auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala von „stimme gar nicht zu“ bis „stimme voll zu“ erhoben. Die Fragen lauteten wie folgt:

1. Ich habe viel Erfahrung im Umgang mit Smartphones.
2. Ich habe viel Erfahrung im Umgang mit Fußgänger-Navigationssystemen.
3. Mein Orientierungssinn ist sehr gut.
4. Andere sagen über mich, dass mein Orientierungssinn gut ist.
5. In meiner Stadt kann ich von einem beliebigen Punkt aus spontan angeben, in welchen Richtungen markante Gebäude oder Bezugspunkte liegen.
6. Ich kannte mich bereits vor dem Experiment im Bereich der Testroute sehr gut aus.

Die ersten beiden Items fragen somit allgemeine Erfahrung im Umgang mit Smartphones und Fußgänger-Navigationssystemen ab. Die drei Fragen zum Orientierungssinn sind aus dem Fragebogen zu räumlichen Strategien von Münzer und Hölscher (2011) entnommen. Es wurde demnach nur eine grobe Selbsteinschätzung zur globalen, beziehungsweise egozentrischen Orientierung erhoben. Die letzte Frage bezüglich der Kenntnis der Route wurde erst nach dem Experiment beantwortet.

## 5.4 Testpersonen

81 Testpersonen nahmen an diesem Experiment teil, davon waren 37 weiblich. Das durchschnittliche Alter der Teilnehmer war 22,9 Jahre ( $SD = 4,17$ ; Minimum 18 Jahre; Maximum 42 Jahre). Wie in der Vorstudie, die in Kapitel 4 beschrieben ist, waren alle Testpersonen Studierende und demnach ist die Testpopulation bezüglich Alter und Bildungsstand homogen. Hinsichtlich der Smartphone-Erfahrung der Nutzer lag der Mittelwert mit 5,13 deutlich über dem theoretischen Mittel von 3,5 einer siebenwertigen Likert-Skala ( $SD = 1,82$ ; Median = 6). Das heißt, dass die Testpersonen relativ gut mit Smartphones vertraut waren. Anders verhielt es sich bezüglich der Erfahrungen mit Fußgänger-Navigationssystemen. Hier lag der Wert unter dem theoretischen Mittel bei 2,90 und der Median bei 2 ( $SD = 1,94$ ). Demnach waren die Testpersonen nur geringfügig mit Fußgänger-Navigationssystemen vertraut.

In Abbildung 5.6 (links) ist zu sehen, wie gut die Ortskenntnis der Testpersonen auf der Teststrecke war. Da es sich bei den Probanden um Studierende handelte, war diese eher überdurchschnittlich ausgeprägt. Jedoch waren auch Personen mit geringer Kenntnis Teil der Stichprobe. Zwischen den beiden Systemen war diese Variable nicht signifikant unterschiedlich ausgeprägt ( $Z = 1,23$ ;  $p = 0,218$ ). Dies wurde mit einem Mann-Whitney-U-Test untersucht, da die Daten in beiden Untergruppen nicht normalverteilt waren ( $p < 0,001$ ). Auf Normalverteilung wurde, wie in allen meinen Analysen, mit einem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Zur Berechnung der Einschätzung des Orientierungssinns der Probanden wurden die Fragen drei bis fünf, die in Kapitel 5.3.2 beschrieben sind, herangezogen. Aus den Antworten wurde der Mittelwert gebildet und wieder nach Interface-Variante in Gruppen aufgeteilt. Es zeigte sich, dass in beiden Untergruppen eine große Bandbreite an Orientierungssinn-Werten vertreten ist und die Angaben der Testpersonen etwas über dem

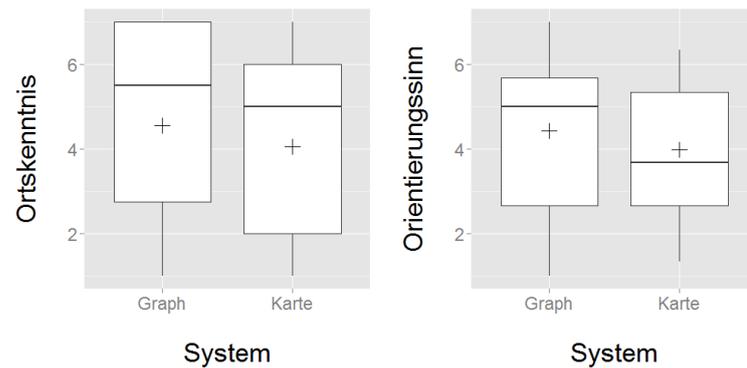


Abbildung 5.6: Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen, gemessen auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala.

theoretischen Mittelwert liegen (siehe Abbildung 5.6, rechts). Die Unterschiede zwischen den Interface-Gruppen sind nicht signifikant ( $Z = 1,16$ ;  $p = 0,245$ ). Insgesamt kann also von einer Stichprobe ausgegangen werden, die sich gut mit Smartphones, jedoch kaum mit Fußgänger-Navigationssystemen auskennt. Weiterhin sind die Testpersonen mit der Umgebung bereits vertraut und „mittelmäßig“ orientiert. Jedoch besteht bezüglich der beiden letzten Variablen eine deutliche Heterogenität.

## 5.5 Experiment-Durchführung

Das Experiment wurde im Winter 2013/2014 zwischen 9:00 Uhr und 16:00 Uhr durchgeführt. Die Testpersonen wurden während des Experiments von zwei Studierenden begleitet. Letztere wurden im Vorfeld in einer detaillierten Einführung (circa 90 Minuten) über das Vorgehen aufgeklärt. Zudem erhielten die Testleiter Bögen mit Instruktionen. In einer weiteren einstündigen Einführung wurde den Testleitern die Funktionsweise des Eye-Trackers erklärt. Die Testpersonen-Akquise oblag den Testleitern. Es durfte niemand an diesem Experiment teilnehmen, der bereits an der Vorstudie teilgenommen hatte. Zudem mussten die Probanden Studierende sein.

Die Testpersonen wurden zu Beginn des Experiments über einen Umweg, der die Testroute nicht querte, zum Startpunkt geführt. Dort mussten sie den ersten Teil des Fragebogens bis auf die Frage, wie gut sie sich im Bereich der Testroute auskannten, ausfüllen. Daraufhin wurde der Eye-Tracker aufgesetzt, kalibriert und der Laptop im Rucksack verstaut (siehe Kapitel 3.3.2). In diesem Experiment kam ein 30 Hz Eye-Tracker zum Einsatz.

Ein ausgedruckter exemplarischer Bildschirm ohne Details wie Landmarken oder Kartenvariationen (siehe Abbildung 5.7) diente zur Erläuterung der Funktionsweise des Prototypen. Dieser wurde den Probanden vor dem Experiment gezeigt. Insbesondere die Funktionsweise der Buttons „Ziel erkannt“ und „Ziel erreicht“ sowie der Zeitpunkt, wann diese gedrückt werden mussten (siehe Kapitel 5.3.1) wurden erklärt und die Personen konnten diesbezüglich Rückfragen stellen.

Nach dieser Erklärung wurde den Probanden das Testgerät überreicht und die Applikation gestartet. Dabei wurden die unterschiedlichen Interface-Varianten randomisiert auf die Testläufe verteilt und auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis geachtet. Jede

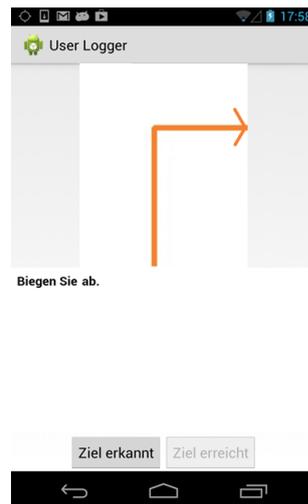


Abbildung 5.7: Screenshot, der zur Erklärung des Prototypen diente. Dieser wurde in ausgedruckter Form präsentiert.

Versuchsperson navigierte mit nur einer Version des Prototypen, es handelte sich demnach um eine unverbundene Stichprobe. Wie bei Münzer und Stahl (2011, S. 289) wurde das Ziel der Testroute nicht genannt, um zu vermeiden, dass Personen auf ihr Wissen bezüglich der Umgebung zurückgreifen können. Somit konnten auch Probanden, die sich bereits sehr gut in der Testumgebung auskannten, nur mit Hilfe des Prototypen zum Ziel gelangen.

Es war nicht möglich vorhergehende Bildschirminhalte zu sehen. Daraus resultierte auch, dass der Testlauf beendet wurde, sobald sich eine Testperson verlaufen hatte. Dabei wird „Verlaufen“ nach Goodman et al. (2004, S. 43) als ein Ereignis definiert, bei dem die Experimentleiter eingreifen müssen. Dies war der Fall, wenn Personen an einem Entscheidungspunkt falsch abbogen oder äußerten, dass sie die Wegfindungsaufgabe ohne Hilfe nicht bewältigen können.

Während des gesamten Testlaufs wurden die Blicke der Probanden mithilfe des Eye-Trackers aufgezeichnet. Am Ende der Testroute oder im Falle eines „Verlaufens“ wurde der Test beendet und die Eye-Tracker-Brille abgenommen. Daraufhin mussten die Probanden angeben, wie gut sie sich im Bereich der Testroute ausgekannt hatten. Die notwendigen Schritte, um die Daten, die der Eye-Tracker aufnimmt, in eine verarbeitbare Form zu bringen, werden im nächsten Kapitel erläutert.

## 5.6 Annotation der Eye-Tracker-Daten

Die Eye-Tracker-Daten wurden mithilfe der Software „BeGaze 3.7“ der Firma SMI ausgewertet. Die Rohdaten, die lediglich den Blickpunkt auf dem Umgebungsvideo zeigen (siehe Kapitel 3.3.2), müssen somit auf ein sogenanntes Referenzbild übertragen werden. Als erster Schritt muss dieses Bild erstellt und Areas-of-Interest definiert werden. Zu diesem Zweck wurde das Design, das in Abbildung 5.8 dargestellt ist, angefertigt.

Das Referenzbild besteht aus einem Screenshot der Applikation sowie einem kleinen Karten-Fragment, das daneben platziert ist. Blicke auf das Testgerät werden auf den Be-

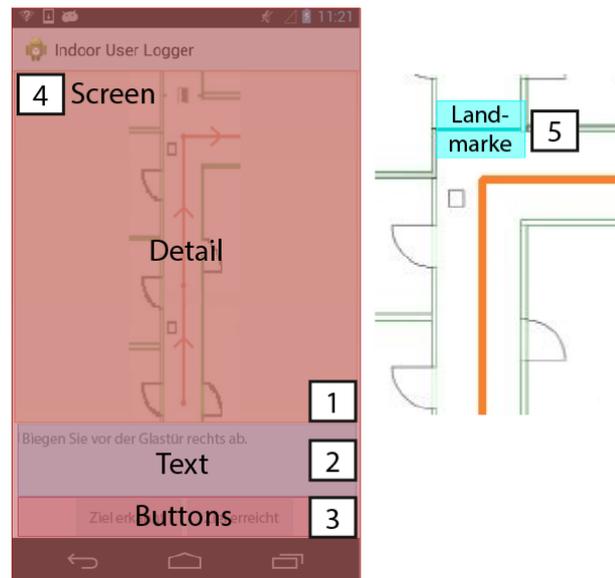


Abbildung 5.8: Festgelegte Areas-of-Interest für die Datenanalyse mithilfe des mobilen Eye-Trackers.

reich des Referenzbildes übertragen, der den Screenshot beinhaltet. Eine beispielhafte Situation einer derartigen Übertragung ist in Abbildung 5.9 (oben) zu sehen. Auf der rechten Seite sieht man die Aufnahme. Eine kreisförmige Markierung zeigt den festgestellten Blickpunkt an. Auf der linken Seite ist das Referenzbild zu sehen. Der manuell annotierte Blick ist auch hier durch eine kreisförmige Markierung visualisiert.

Das Kartenelement im Referenzbild zeigt nur den Bereich, der für die Testperson an diesem Punkt der Navigation sichtbar war und soll diese real-weltliche Szene repräsentieren. Sollten die Probanden in die Umgebung blicken, werden in diesem Bereich des Referenzbildes Blicke annotiert (siehe Abbildung 5.9, unten). Fixationen auf den Boden oder die Decke wurden nicht annotiert, da diese lediglich der Fortbewegung und somit nicht der Orientierung dienen (siehe Kapitel 2.1). Aus demselben Grund wurden auch Blicke auf Passanten sowie Fixationen auf Türen, während diese geöffnet oder Treppen während diese begangen werden, nicht annotiert.

Im Gegensatz zur Vorstudie wurde bezüglich der Landmarkenauswahl (siehe Kapitel 4) nicht auf Fotografien der Umgebung zurückgegriffen, da hierdurch sehr viele Referenzbilder entstünden (etwa 50 für diese Testroute), sodass ein häufiges Wechseln der Referenzbilder notwendig wäre. Dies würde die Annotation erschweren. Außerdem wären die Fotografien teilweise sehr schwer zu unterscheiden, da sich viele Innenbereiche stark ähneln.

Für jeden Schritt der Navigation wurde ein separates Referenzbild angefertigt. Dies resultierte folglich in 22 Abbildungen. Weiterhin wurden unterschiedliche Referenzbilder für die beiden Interface-Varianten erstellt, um die Übertragung zu vereinfachen. Die Annotation wurde von studentischen Hilfskräften durchgeführt.

Als Nächstes wurden Areas-of-Interest festgelegt. Diese unterscheiden sich innerhalb der Referenzbilder nicht. Zunächst ist der gesamte Bildschirm ein Bereich von Interesse (siehe Abbildung 5.8, Markierung „4“). Dieser ist wiederum in drei weitere Bereiche

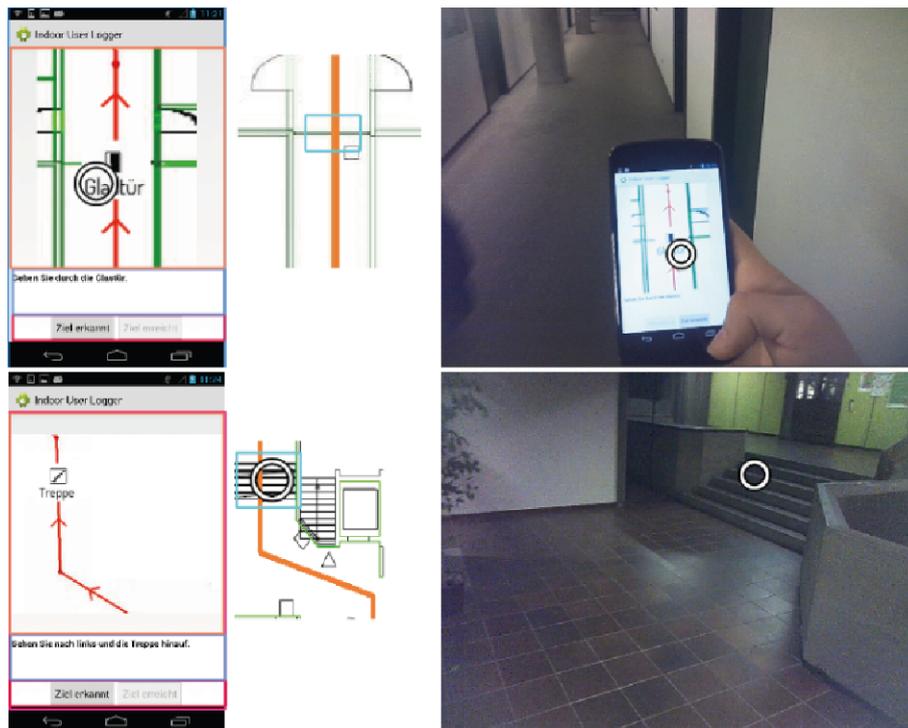


Abbildung 5.9: Annotation der Eye-Tracker-Daten (oben: Blick auf das Smartphone; unten: Blick auf eine Landmarke).

eingeteilt:

1. Interface-Element „Detail“, das entweder die Karte oder das „Graph“-Interface anzeigt (Markierung „1“ )
2. Textanweisung (Markierung „2“ )
3. Buttons (Markierung „3“ )

Darüber hinaus wurde eine Area-of-Interest „Landmarke“ innerhalb des Karten-Fragments definiert (Markierung „5“ ). Sollte ein Proband die Landmarke, auf die in der jeweiligen Anweisung Bezug genommen wird, fixieren, werden diese Blicke in diesen Bereich annotiert (siehe Abbildung 5.9, unten). Alle anderen Blicke in der Umgebung werden nicht genauer unterschieden und in den „White Space“ übertragen, der alle Bereiche des Referenzbildes umfasst, die keine Areas-of-Interest beinhalten.

Durch dieses Vorgehen konnten zusätzlich zu den Interaktionsdaten mit dem Testgerät, Blicke auf die referenzierte Landmarke sowie auf den Bildschirm zur Analyse herangezogen werden.

## 5.7 Ergebnisse

Ausgehend von der Grundannahme, dass eine Reduktion der Informationsmenge, die während der Navigation angezeigt wird, zu einer besseren Bewältigung der Wegfindungsaufgabe führt, wurde die folgende Hypothese aufgestellt:

- $H_1$ : Ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterstützt die Wegfindung besser als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt.
- $H_0$ : Ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterstützt die Wegfindung nicht besser als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt.

Dabei wird angenommen, dass die Wegfindung „besser unterstützt“ wird, wenn Probanden sich weniger häufig verlaufen und weniger Zeit benötigen, um die Aufgabe zu erfüllen. Insbesondere ist für meine Arbeit interessant, wie lange die Personen brauchen, um sich zu orientieren. Die Teilnehmer mussten, sobald sie die Anweisung verstanden und sich somit orientiert gefühlt hatten, den Button „Ziel erkannt“ drücken. Die beschriebenen Maße sind in verwandten Forschungsarbeiten die gängigsten Variablen, um den Navigationserfolg zu quantifizieren (siehe z. B.: Chittaro & Burigat, 2005; Goodman et al., 2004; D. Wenig et al., 2016).

Von den insgesamt 81 Testpersonen navigierten 41 mit dem Karten-Interface und folglich 40 mit der Graph-Variante, da ein Between-Subject-Design gewählt wurde, um Lerneffekte und Ähnliches auszuschließen. Weiterhin ist es kaum möglich, Routen zu finden, die sich so sehr ähneln, dass man beispielsweise die Navigationszeit miteinander vergleichen kann. Zur Analyse wurde in diesem Experiment neben den Effizienz- und Effektivitätsmaßen „Fehler“ und „Zeit“ das Blickverhalten der Personen herangezogen.

### 5.7.1 Zeit und Fehler

14 von 40 Probanden, die das Graph-Interface verwendeten, haben sich verlaufen, wohingegen bei zwölf von 41 Karten-Nutzern eingegriffen werden musste. Ein Chi-Quadrat-Test zeigte keine signifikanten Unterschiede bezüglich dieser Verteilung ( $\chi^2(1, N = 81) = 0,10$ ;  $p = 0,753$ ). Des Weiteren war kein Muster zu erkennen, welche Schritte mit welchem Interface besonders problematisch waren. So verliefen sich die Probanden mit dem Karten-Interface einmal bei Schritt 3 und 8, jeweils zwei Mal beim ersten und vierten Schritt und je drei Mal bei Schritt 10 und 11. Mit der „Graph“-Variante wurden einmal Fehler bei Schritt 1, 3, 7, 8, 13 und 21 begangen. Mehrfach wurde sich bei Schritt 2 (zwei Mal) sowie Schritt 4 und 10 (je drei Mal) verlaufen (siehe Tabelle 5.2).

Interface/Schritt	1	2	3	4	7	8	11	12	13	21	Summe
Karte	2	0	1	2	0	1	3	3	0	0	12
Graph	1	2	1	3	1	1	3	0	1	1	14

Tabelle 5.2: Anzahl der Probanden, die sich verlaufen haben, aufgeteilt nach Interface und Navigationsschritt. Bei Schritten, die nicht aufgeführt sind, sind keine Probleme aufgetreten.

Insgesamt kann also darauf geschlossen werden, dass die Interface-Variante keinen Einfluss auf ein „Verlaufen“-Ereignis hat. Es zeigt sich aber deutlich, dass es Bereiche der Testroute gibt, die zu Problemen bei der Navigation führen. Insbesondere tritt dies am Start der Route (fünf Ereignisse) sowie beim Abbiegen nach links bei Schritt 4 auf (siehe Abbildung 5.10 für eine Übersicht der problematischen Schritte). Am Start sind die Testpersonen geradeaus durch die Tür gegangen, anstelle rechts durch eine sehr ähnlich

aussehende Tür. Auf beide Türen wurde in zwei unterschiedlichen Anweisungen verwiesen. Bei Schritt 4 sind die Probanden nicht nach einer Glastür links gegangen, sondern haben das Gebäude durch eine ähnlich aussehende Tür verlassen. Beim Schritt, der mit neun Vorkommnissen die häufigsten Probleme verursachte (Schritt 10, beziehungsweise 11) kann das Problem auf eine Situation zurückgeführt werden, in der Probanden zwei aufeinanderfolgende Treppen nicht als zwei unterschiedliche Objekte identifizierten. Die Anweisungen lauteten zwei Mal, die Treppe hinauf zu gehen. Da die Teilnehmer annahmen, dass die erste Anweisung sich auf die (zwei) bereits hinter ihnen liegenden Treppen bezog, suchten sie nach der zweiten Anweisung nach weiteren Treppen in ihrer Umgebung und nutzten fälschlicherweise eine Treppe in weiterer Entfernung, an der sie lediglich vorbei gehen sollten (Schritt 14). Die Fehler bei der Navigation sind demnach auf sehr ähnlich aussehende Landmarken in direkter Umgebung zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit einer Situation, bei der viele Möglichkeiten existieren, die Richtung zu wechseln, das heißt, bei der der Branching-Faktor relativ hoch ist, konnte nicht festgestellt werden. So haben beispielsweise die Schritte 13, 14 und 15 einen Branching-Faktor  $\geq 5$ , jedoch hat sich an diesen Stellen nur eine Person verlaufen, obwohl von einer kognitiv herausfordernden Situation ausgegangen werden kann, da Personen Wegpunkte mit wenigen Abzweigungen präferieren (siehe z. B.: Golledge, 1995, S. 212 f.).

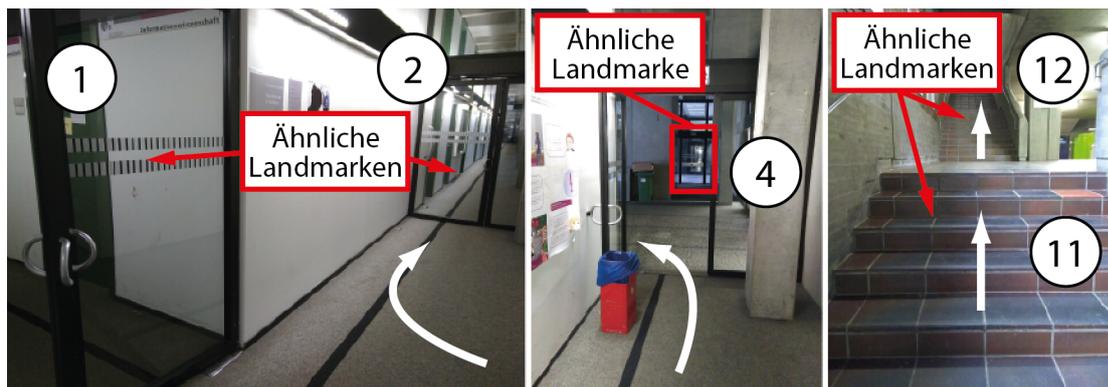


Abbildung 5.10: Schritte, die zu Navigationsfehlern führen. Die Nummern verweisen auf die Landmarke des Navigationsschrittes. Zusätzlich ist die intendierte Bewegungsrichtung eingezeichnet.

Offensichtlich kann ein „Verlaufen“-Ereignis bei der Navigation keinen Aufschluss darüber liefern, inwiefern und ob ein bestimmtes Interface die Wegfindungsaufgabe besser unterstützt. Aus diesem Grund wurde in einem nächsten Schritt die Navigationszeit analysiert. Die gesamte Zeit, die ein Nutzer benötigt, um die Testroute zu absolvieren, konnte nicht verglichen werden, da das Experiment so konzipiert war, dass ein Durchgang beendet wurde, sobald ein Nutzer sich verlaufen hatte. Aus diesem Grund wurden für die nachfolgenden Berechnungen die Zeiten herangezogen, die benötigt wurden, um einen Schritt zu absolvieren beziehungsweise zu verstehen. Die Normalverteilungsannahme musste für mehrere Gruppen verworfen werden, weshalb auf einen Mann-Whitney-U-Test zurückgegriffen wurde. Die Nullhypothese kann für beide abhängigen Variablen abgelehnt werden. Sowohl bezüglich der durchschnittlichen Erkennungszeit ( $Z = -2,12$ ;  $p = 0,027$ ) als auch der mittleren Gesamtzeit, einen Schritt zu absolvieren

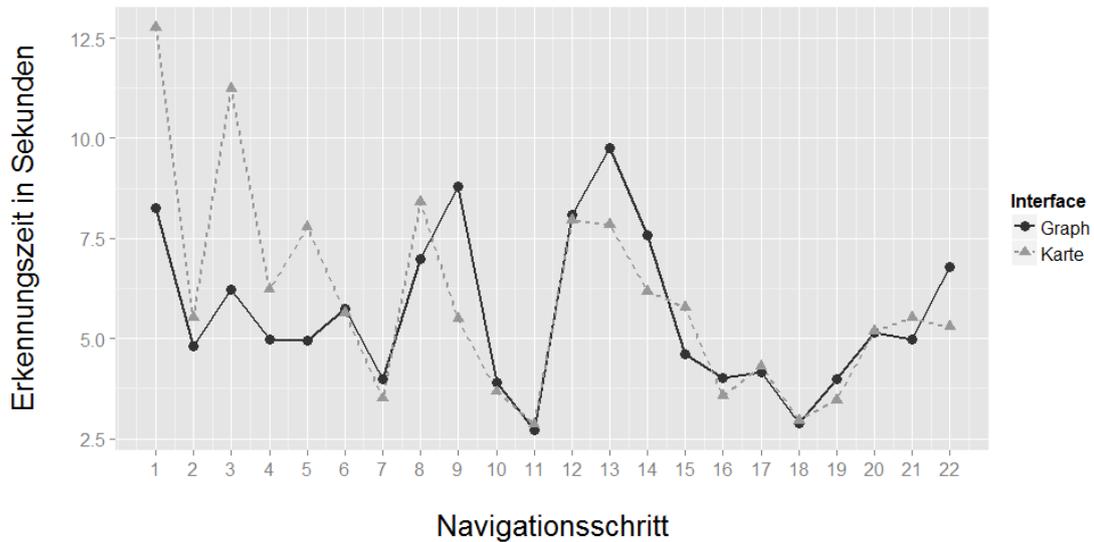


Abbildung 5.11: Mittelwerte der Erkennungszeit, aufgeteilt nach Interface-Variante und Navigationsschritt.

( $Z = -2,02$ ;  $p = 0,043$ ), zeigen die Ergebnisse auf, dass Personen, die mit dem „Graph“-Interface navigierten, signifikant weniger Zeit benötigen, die Wegfindungsaufgabe zu lösen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.3 zusammengefasst. In Abbildung 5.11 sind die Mittelwerte, aufgeteilt nach Navigationsschritt abgebildet. Da das Experiment nach einem Fehler abgebrochen wurde, sinkt der Stichprobenumfang mit jedem Schritt. Besonders auffällig ist hier, dass das Karten-Interface am Anfang der Aufgabe signifikant längere Erkennungszeiten benötigt. Für die Schritte 9, 13 und 14 brauchen die Testpersonen mit der Graph-Variante länger, um sich zu orientieren. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Bei den Schritten 9 und 13 sind die langen Erkennungszeiten auf die Rezeption des Schrittes vorher zurückzuführen. Die Probanden geben bei diesem an, das Ziel erreicht zu haben, bevor die nächste Landmarke sichtbar ist. Demnach müssen sie erst noch einige Meter zurücklegen, bevor sie die Landmarke erkennen können. Es scheint, dass Probanden, die das Graph-Interface nutzen, bei der Rezeption dieser Szenen, das Ziel des jeweiligen Abschnittes nicht eindeutig identifizieren können. Im nächsten Abschnitt wird auf diese Problematik nochmals eingegangen und zudem das Blickverhalten der Nutzer zur Erklärung herangezogen.

	Interface	Mittelwert in Sekunden	SD
Erkennungszeit	Karte	6,12*	6,42
	Graph	5,65*	9,78
Gesamtzeit	Karte	19,74*	10,20
	Graph	18,78*	9,87

Tabelle 5.3: Mittelwert in Sekunden und Standardabweichung der Erkennungszeit sowie der Gesamtzeit zur Absolvierung eines Schrittes, aufgeteilt nach Interface-Variante.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Signifikante Ergebnisse sind nach folgendem Schema kodiert:  $p \leq 0,05 = *$ ;  $p \leq 0,01 = **$ ;  $p \leq 0,001 = ***$  (siehe z. B.: Bortz & Schuster, 2010, S. 211).

### 5.7.2 Blickverhalten

Um weitere Einblicke abseits der Navigationszeit bezüglich des Nutzerverhaltens zu gewinnen, wurden in einem nächsten Schritt die annotierten Eye-Tracker-Daten analysiert. Nach Kiefer, Giannopoulos und Raubal (2014, S. 3) ist die landmarkenbasierte Orientierung eine Sequenz von aufeinanderfolgenden Phasen, in denen auf der Karte sowie der Umgebung nach Informationen gesucht wird. Genau diese Parameter können mit dem Eye-Tracker erhoben werden. Folglich wurde die ursprüngliche Hypothese um eine blickspezifische erweitert:

- $H_{Blick1}$ : Das Blickverhalten der Personen, die mit einem Interface navigieren, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterscheidet sich von dem Blickverhalten der Nutzer, die zusätzlich eine Karte als Wegfindungshilfe verwenden.
- $H_{Blick0}$ : Das Blickverhalten der Personen, die mit einem Interface navigieren, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterscheidet sich nicht von dem Blickverhalten der Nutzer, die zusätzlich eine Karte als Wegfindungshilfe verwenden.

Die Hypothese wurde in diesem Fall ungerichtet formuliert, da aus der Literatur nicht ersichtlich ist, ob eine effiziente Wegfindungshilfe eine längere oder kürze Betrachtungsdauer impliziert. Es kann beispielsweise der Fall sein, dass eine effiziente Navigation dazu führt, dass Nutzer den Bildschirm nur sehr kurz betrachten. Jedoch ist es auch möglich, dass ein hilfreiches Interface länger betrachtet wird, dafür aber beispielsweise die Landmarke schneller gefunden und die eigene Position im Raum schneller erkannt wird, so dass eine kürzere Gesamt-Orientierungsphase erfolgt.

Bei der Annotation der Eye-Tracker-Daten musste festgestellt werden, dass aufgrund des kleinen Bildschirms des Smartphones, bei manchen Nutzern Blicke insbesondere auf die Area-of-Interest „Text“ nicht eindeutig festgestellt werden konnten. Dies kann beispielsweise daran liegen, dass sich der Kalibrierungsfehler im Laufe eines Testlaufes aufsummieren kann und Nutzereigenschaften wie Augenfarbe oder Tränenbildung die Genauigkeit unvorhersehbar beeinflussen können, sodass eine Abweichung von wenigen Grad erfolgen kann (Holmqvist et al., 2011, S. 2-17 f.).<sup>3</sup> Dies kann jedoch dazu führen, dass bei der kleinen Bildschirmgröße bereits keine Unterscheidung zwischen den Bereichen „Buttons“ und „Text“ möglich ist. Ein derartiger Fehler wurde in der durchgeführten Pre-Study jedoch nicht beobachtet, sodass dieses Problem nicht im Vorfeld abgefangen werden konnte. Aus diesem Grund wird in den folgenden Berechnungen keine Unterscheidung bezüglich der Interface-Bereiche getroffen, sondern lediglich Blicke auf den gesamten Bildschirm untersucht. Als abhängige Variablen wurden die Fixationshäufigkeit, die Fixationsdauer sowie das Zurückkehren zu einer Area-of-Interest, dem sogenannten Revisit betrachtet. Ein Revisit wird zum Beispiel festgestellt, falls der Nutzer die Wegfindungshilfe betrachtet, danach in der Umgebung umher blickt und dann wieder den

---

<sup>3</sup>Der kritischste Faktor bezüglich der Genauigkeit der Eye-Tracker-Aufnahmen ist die Sonneneinstrahlung, da diese die konstante Belichtung der Augen mit Infrarot-Licht durch das Gerät verhindern kann (Kiefer, Giannopoulos & Raubal, 2014, S. 7 f.). Dies kann dazu führen, dass Aufnahmen unbrauchbar sind. Da meine Experimente im Innenbereich stattfanden und somit keine direkte Sonneneinstrahlung erfolgen konnte, wurde lediglich darauf geachtet, dass auch die Kalibrierung im Innenbereich durchgeführt wurde.

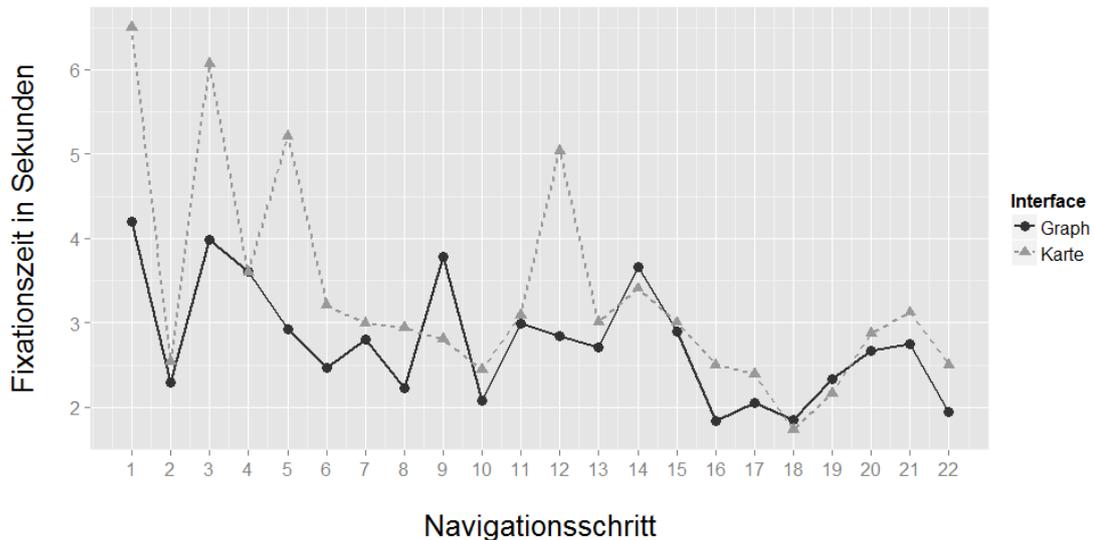


Abbildung 5.12: Mittelwerte der Fixationsdauer des Bildschirms, aufgeteilt nach Interface-Variante und Navigationsschritt.

Bildschirm fixiert. Häufige Revisits zeigen somit häufige Wechsel zwischen Umgebungsblicken und Interface-Blicken auf.

Ein weiterer Vorteil des Eye-Trackers als Messinstrument ist, dass eine qualitative Analyse der Wegfindungsaufgabe möglich ist, da für jeden Probanden Videoaufnahmen des Durchgangs vorliegen. Hierdurch konnten beispielsweise bereits die Navigationsfehler erklärt werden.

	Interface	Mittelwert	SD
Fixationsdauer (Sekunden)	Karte	3,47***	4,08
	Graph	2,82***	3,60
Fixationshäufigkeit	Karte	19,89**	20,11
	Graph	16,81**	15,86
Revisits (Häufigkeit)	Karte	2,18	1,92
	Graph	1,96	1,65
Blickdauer auf Landmarken (Sekunden)	Karte	1,12	1,50
	Graph	1,04	1,41

Tabelle 5.4: Deskriptive Statistik zu den erhobenen Eye-Tracking-Daten.

Da keine Normalverteilung vorlag, wurden alle abhängigen Variablen mittels eines Mann-Whitney-U-Test auf Unterschiede bezüglich der Interfaces geprüft. Es zeigte sich, dass sich die Fixationsdauer ( $Z = -3,68$ ;  $p < 0,001$ ) sowie die Fixationshäufigkeit ( $Z = -2,64$ ;  $p = 0,008$ ) signifikant unterscheiden. Die mittlere Betrachtungsdauer auf dem Karten-Interface beträgt 3,47 Sekunden ( $SD = 4,08$ ), wohingegen das System mit der reduzierten Informationsmenge durchschnittlich 2,82 Sekunden ( $SD = 3,60$ ) pro Schritt fixiert wird (siehe Tabelle 5.4). Eine Übersicht über die Fixationsdauer des Bildschirms, aufgeteilt nach Navigationsschritt ist in Abbildung 5.12 zu sehen. Ähnlich wie bei den Erkennungszeiten, die zeigten, dass Kartennutzer besonders am Anfang der Aufgabe länger brauchen, um sich zu orientieren (siehe Abbildung 5.11), fixiert diese Nutzergruppe das Interface in

frühen Phasen länger. Anscheinend ist vor allem die initiale Orientierung mit dem Karten-Interface ein Problem. Weiterhin wird deutlich, dass Kartennutzer bei Schritt 12, der zu einem häufigen „Verlaufen“-Ereignis geführt hat, sehr lange auf das Interface blicken. Aus dieser Beobachtung schließe ich, dass sehr lange Betrachtungszeiten ein Indikator für Verwirrung sind.

Bei Schritt 13 hatten Probanden ohne Karte relativ lange Erkennungszeiten. Dies ist bei den Blickdaten nicht mehr zu beobachten. Weiterhin problematisch bleibt Schritt 9 für die Graph-Interface-Nutzer. Hier entsteht durch die Probleme bei der Verortung des Ziels der vorhergehenden Anweisung eine Unsicherheit bei der Wegfindung. Durch das „zu frühe“ Anfordern der nächsten Navigationsanweisung können die Nutzer sich nur schwer selbst verorten und brauchen länger, die Landmarke – in diesem Fall eine Glastür – zu finden. Erschwerend kommt in diesem Fall hinzu, dass dadurch eine weitere Glastür im Sichtfeld der Nutzer bleibt, die eigentlich bereits hätte passiert werden müssen (siehe Abbildung 5.13). Dadurch verlängert sich die Zeit, die Nutzer zur Erfüllung der Aufgabe benötigen. Jedoch führen diese Verunsicherungen nicht zu Navigationsfehlern. Karten-Nutzer können diese Situation schneller meistern, da sie das Ziel der vorhergehenden Anweisung besser verorten können und somit erst später eine neue Navigationsanweisung anfordern.

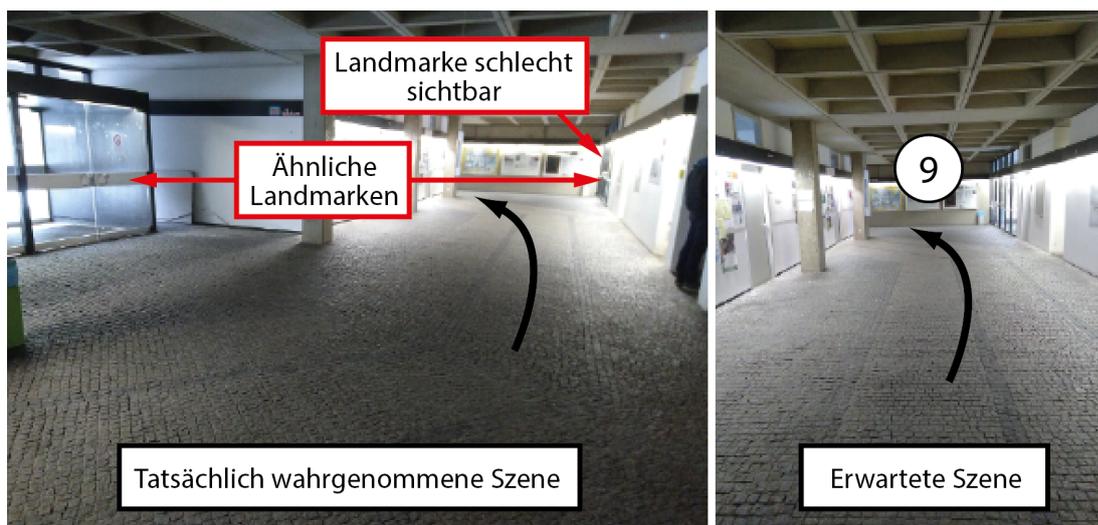


Abbildung 5.13: Schritt, der zu langen Erkennungs- und Fixationszeiten mit dem Graph-Interface führt.

Die Ergebnisse zeigten bezüglich der Revisits keine signifikanten Unterschiede auf ( $Z = -1,56$ ;  $p = 0,120$ ). Darüber hinaus wurde untersucht, ob die Probanden, die im Interface referenzierte Landmarke länger betrachten, abhängig davon, mit welcher Version sie navigierten. Für diese Variable konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $Z = 0,16$ ;  $p = 0,871$ ). Die deskriptiven Daten zu diesen Ergebnissen sind in Tabelle 5.4 aufgeführt. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass sich das Blickverhalten der Personen signifikant hinsichtlich der Fixationsdauer und Fixationshäufigkeit auf dem Interface unterscheidet. Personen mit einer abstrahierten Darstellung fixieren die Navigationshilfe weniger als Wegfinder, die zusätzlich eine Karte zur Verfügung haben.

## 5.8 Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse dieser ersten Studie geben starke Hinweise darauf, dass ein reduziertes Interface, das lediglich die Route sowie eine referenzierte Landmarke anzeigt, gegenüber einer Wegfindungshilfe, die zusätzliche architektonische Karten darstellt, zu einer effizienteren Absolvierung der Wegfindungsaufgabe führt. Es wurden signifikante Unterschiede hinsichtlich der Gesamtzeit, die zur Absolvierung eines Routenabschnitts benötigt wird, sowie der Erkennungszeit für eine spezifische Szene festgestellt. Die Nutzer benötigen somit weniger Zeit, sich zu orientieren, wenn sie ein reduziertes Interface zur Wegfindung verwenden. Bezüglich der Fehler während der Navigation, also ob Nutzer sich verlaufen, konnte kein Zusammenhang mit einer Interface-Variante beobachtet werden. Vielmehr hängt ein „Verlaufen“ stark von der jeweiligen Umgebung ab. Immer wenn ähnliche Landmarken in unmittelbarer räumlicher Nähe auftreten, haben Wegfinder Probleme, sich zu orientieren.

Bezüglich des Blickverhaltens wurden signifikante Unterschiede hinsichtlich der Fixationsdauer und Fixationshäufigkeit auf den Bildschirm festgestellt. Nutzer, die ein reduziertes Interface verwenden, blicken weniger auf den Bildschirm. Aus diesem festgestellten Zusammenhang kann gefolgert werden, dass kürzere Betrachtungszeiten eine effizientere Orientierung nach sich ziehen. Die Blickdaten zeigten keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Häufigkeit der Rückkehr auf den Bildschirm. Zudem wurde die referenzierte Landmarke nicht signifikant unterschiedlich lange betrachtet.

Besonders auffällig ist, dass Probanden, die zusätzliche Architekturpläne zur Wegfindung nutzen, besonders am Anfang der Aufgabe lange brauchen, um sich zu orientieren. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Schnitzler et al. (2016, S. 91), die feststellten, dass der Startpunkt einer Navigationsaufgabe, die mit Hilfe einer Karte absolviert wird, besonders viel visuelle Aufmerksamkeit bindet. Dies kann mit einem reduzierten Interface vermieden werden. Insgesamt bindet das Karten-Interface 17,58 % der visuellen Aufmerksamkeit, das reduzierte Interface 15,02 %.

Diese Ergebnisse bieten erste Einblicke in das Nutzerverhalten bei der Wegfindung, jedoch zeigte sich auch, dass diese Studie hinsichtlich Experiment-Aufbau und Interface-Design zu restriktiv war, um detailliertere Ergebnisse zu erzielen. Insbesondere bemängelten die Nutzer folgende Punkte bezüglich des Interface-Designs:

- Die Karte richtet sich nicht dynamisch in die Bewegungsrichtung aus.
- Das Kartenelement zeigt lediglich einen sehr kleinen Ausschnitt des Navigationsschritts.
- Das Kartenelement enthält keine „Zoom“-Funktion.
- Die angenommene Nutzerposition ist nicht visualisiert.
- Das Drücken des „Erkannt“-Buttons wird als unnötige zusätzliche Belastung empfunden.
- Die Routensegmente werden als zu klein eingeschätzt.

Weiterhin wurde kritisiert, dass keine Lokalisierungskomponente implementiert war. Diese Funktion stand jedoch für keines meiner Experimente zur Verfügung.

Bezüglich des Experiment-Aufbaus wurden drei Einschränkungen identifiziert, die in den Folgestudien überarbeitet werden mussten: Die größte Einschränkung ist, dass das Experiment abgebrochen wird, nachdem sich ein Nutzer verlaufen hat. Dies hat zur Folge, dass nach dieser Situation keine Daten mehr gesammelt werden konnten und somit beispielsweise kein Vergleich der Gesamtnavigationszeit möglich war. Ein weiteres Problem war, dass das Testgerät zu klein gewählt wurde. Dadurch konnte keine detaillierte Analyse mit dem Eye-Tracker erfolgen, da zum Beispiel die verschiedenen Interface-Bereiche nicht unterschieden werden konnten. Weiterhin wurden die Nutzer nicht zu ihrem subjektiven Empfinden bezüglich der Wegfindungsaufgabe befragt, sodass keine Aussage über die Nutzerzufriedenheit getroffen werden konnte.

Zusammenfassend weist diese erste Studie darauf hin, dass ein Interface, das kein zusätzliches Kartenmaterial zur Verfügung stellt, die Effizienz der Wegfindung steigert. Jedoch schränken die oben beschriebenen Probleme die Ergebnisse sehr ein. Aus diesem Grund wurden sowohl das Experiment- als auch das Interface-Design überarbeitet und die aufgestellten Hypothesen in einer Folgestudie nochmals untersucht. Diese ist im nächsten Kapitel beschrieben.

# 6

## Darstellung der Umgebung – dynamischer Prototyp

### 6.1 Motivation

Die Ergebnisse des in Kapitel 5 beschriebenen Experiments zeigen auf, dass Fußgänger-Navigationssysteme für den Innenbereich, die lediglich die minimale Menge an zur Wegfindung notwendigen Information anzeigen, die Navigationseffizienz steigern. Jedoch hatte die Studie bezüglich des Experiment-Aufbaus und des Interface-Designs einige Einschränkungen, die die Aussagekraft der Ergebnisse verringern (siehe Kapitel 5.8). Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde für das nachfolgend beschriebene Experiment das Studien- und Interface-Design überarbeitet. Es wird nochmals die Hypothese geprüft, dass ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke visualisiert, die Wegfindung effizienter unterstützt als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt. Durch die umgesetzten Verbesserungen kann unter anderem vertieft auf das Blickverhalten der Nutzer eingegangen werden. Eine detaillierte Analyse der Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit bei der Orientierung im Innenraum unter Verwendung einer digitalen Wegfindungshilfe wurde bis dato nicht durchgeführt (siehe Kapitel 3.3.1). Somit können die Analysen in diesem Kapitel vertiefte Erkenntnisse bezüglich des Blick- und Orientierungsverhaltens während dieser spezifischen Aufgabe liefern. Im Folgenden wird zunächst die Testumgebung und das verwendete Material näher beschrieben. Daraufhin wird auf die Stichprobe und die überarbeitete Experiment-Durchführung eingegangen. In diesem Zusammenhang wird auch die Annotation der Eye-Tracker-Daten erläutert. Schließlich werden die Ergebnisse präsentiert und die Erkenntnisse werden diskutiert. Ein großer Teil der Analysen bezüglich des Blickverhaltens der Probanden dieser Studie ist in Ohm et al. (2017) veröffentlicht. Eine Auswertung der Navigationszeit wurde in der Publikation Ohm, Müller und Ludwig (2015) vorgenommen.

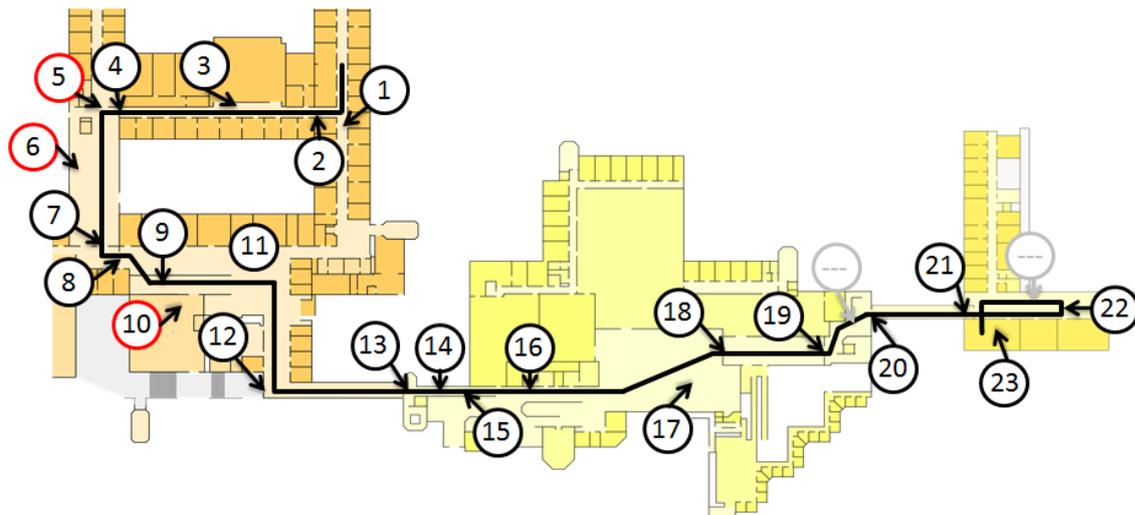


Abbildung 6.1: Testroute mit eingezeichneten Landmarken-Positionen. Neue Schritte im Vergleich zu Experiment eins sind rot markiert (Schritte 5, 6 sowie 10) und ausgelassene ausgegraut.

## 6.2 Testumgebung

Die Experimente wurden auf derselben Testroute innerhalb der Universität Regensburg durchgeführt, die bereits für die Vorstudie zur Landmarkenauswahl sowie die Analyse der Wegfindung mit dem statischen Prototypen herangezogen wurde (siehe Kapitel 4.2, 5.2 sowie Abbildung 6.1). Nachfolgend wird das Experiment mit dem statischen Prototypen, dessen Ergebnisse in Kapitel 5.7 dargestellt sind, als „Experiment eins“ bezeichnet.

Bezüglich der Landmarkenauswahl wurden einige Änderungen umgesetzt. Da sich viele Probanden des ersten Experiments bei Schritt 4 verlaufen hatten, wurden danach zwei neue Anweisungen formuliert, um eine möglicherweise unklare Situation eindeutiger zu beschreiben (siehe Tabelle 6.1, Schritt 5 und 6). Die Landmarken für die neu formulierten Anweisungen wurden, wie schon beim ersten Experiment, aus dem Datensatz der Vorstudie gewonnen. Dabei wurde nach dem gleichen Auswahl-Prinzip vorgegangen: Für jede (neue) Szene wurde die Landmarke mit der höchsten Anzahl an Nennungen verwendet.

Da sich Stockwerkswechsel mit Zwischenebenen im Rahmen des ersten Experiments als besonders verwirrend für die Nutzer herausgestellt haben, wurde bei Schritt 10 eine zusätzliche Landmarke neben den Treppen referenziert („Cafeteria“). Eine Treppe wird zudem nun als „Stufe“ bezeichnet, wenn durch sie kein gesamtes Stockwerk gewechselt wird. Dies ist in der Universität Regensburg relativ häufig der Fall, da zwischen zwei Treppen ein Plateau positioniert sein kann. Hier ist manchmal, jedoch nicht immer, auch eine Möglichkeit vorhanden, ein Zwischengeschoss zu betreten (siehe z. B.: Abbildung 6.2, Schritt 15). Eine solche Situation führte in Experiment eins zu einem relativ häufigen „Verlaufen“ mit beiden Interface-Varianten (siehe Kapitel 5.7.1).

Weiterhin führte Entscheidungspunkt 11 zu Orientierungsproblemen, insbesondere bei Nutzern, die mit dem Interface navigierten, das eine reduzierte Informationsmen-

S	Anweisung	Landmarke	N	BF	Länge in Metern
1	Gehen Sie <i>geradeaus</i> und biegen Sie vor der Tür <i>rechts</i> ab.	Tür	13	3	7,4
2	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	20	2	7,7
3	Gehen Sie <i>geradeaus</i> an den Säulen vorbei.	Säulen	17	2	29,5
4	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	23	2	12,7
5	Biegen Sie bei der Tür <i>links</i> ab.	Tür	7	4	17,8
6	Gehen Sie <i>geradeaus</i> an der Treppe vorbei.	Treppe	14	3	17,2
7	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	25	2	11,4
8	Gehen Sie <i>links</i> durch die Tür.	Tür	13	4	9,7
9	Gehen Sie die Treppe <i>hinauf</i> .	Treppe	28	4	7,2
10	Gehen Sie an der Cafeteria vorbei und danach die Stufen <i>hinauf</i> .	Cafeteria	18	3	14,1
11	Gehen Sie <i>rechts</i> .	–	–	4	13,4
12	Gehen Sie <i>geradeaus</i> und dann bei der Tür <i>links</i> .	Tür	8	3	17,5
13	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	19	2	27,2
14	Gehen Sie die Stufen <i>hinauf</i> .	Stufen	29	3	11,8
15	Gehen Sie die Treppe <i>hinauf</i> .	Treppe	21	5	7,1
16	Gehen Sie <i>geradeaus</i> an den Toiletten vorbei.	Toiletten	15	5	20,6
17	Gehen Sie vor der Treppe <i>links</i> .	Treppe	15	6	20,2
18	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	15	5	13,2
19	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	24	2	23,4
20	Gehen Sie <i>links</i> die Stufen <i>hinauf</i> und dann durch die Tür.	Tür	19	4	14,3
21	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	12	2	27,1
22	Gehen Sie <i>links</i> die Treppe <i>hinab</i> .	Treppe	16	4	22,6
23	Das Ziel (Informationszentrum) liegt <i>links</i> vor Ihnen.	Ziel	–	4	13,0

Tabelle 6.1: Anweisungen und referenzierte Landmarken des dynamischen Prototypen (S = Schrittnummer; N = Anzahl der Nennungen der Landmarken in der Vorstudie von insgesamt 33 Testpersonen; BF = Branching-Faktor, also Möglichkeiten, den Weg fortzuführen, inklusive der Rückrichtung; Richtungsangaben sind kursiv markiert).



Abbildung 6.2: Beispielhafte Navigationsszenen mit mehr als zwei Möglichkeiten den Weg fortzusetzen. Die Pfeile zeigen die vorgesehene Richtung an. Die Kreise illustrieren die Anweisungsnummer und sind in der Nähe der referenzierten Landmarke platziert.

ge anzeigte. Dies lag hauptsächlich an der in Experiment eins referenzierten Landmarke „Säulen“. Jedoch existieren in dieser Szene mehrere Säulen, sodass unklar ist, wann das „Ziel“ der Anweisung „Gehen Sie an den Säulen rechts“ erreicht ist (siehe Abbildung 6.3). Deshalb wurde im Datensatz nach alternativen Landmarken gesucht. Jedoch konnte neben den Säulen kein eindeutiges Objekt identifiziert werden. Die Anzahl der Nennungen der anderen Landmarken war  $\leq 2$ . Aus diesem Grund wurde für diese Szene in diesem Experiment keine Landmarke referenziert.

Einige Probanden des ersten Experiments merkten an, dass sie manche Schritte als zu klein empfanden, insbesondere gegen Ende der Teststrecke. Folglich wurden die Schritte 17 und 18 sowie 20 und 21 des ersten Experiments (siehe Abbildung 5.1) zu jeweils einem Schritt zusammengefasst. Dies resultierte in den Schritten 20 und 22, die in Tabelle 6.1 aufgeführt sind. Eine Übersicht der Testroute sowie der Landmarken-Positionen ist in Abbildung 6.1 zu sehen. In der Karte sind neue Schritte rot markiert und ausgelassene – im Vergleich zu Experiment eins – grau hinterlegt.

In Tabelle 6.1 sind alle Anweisungen sowie die für den jeweiligen Schritt gewählte Landmarke aufgeführt. Zudem ist die Abschnittslänge der einzelnen Schritte vermerkt. Diese variiert von sehr kurzen Segmenten, beispielsweise zwischen zwei nahe beieinander liegenden Treppen, bis hin zu relativ langen Teilstrecken, bei denen man zumeist geradeaus gehen muss. Weiterhin ist zu sehen, dass bei einigen Szenen von einer bezüg-



Abbildung 6.3: Situation mit wenig auffälligen Landmarken. Bei einer Referenzierung der Landmarke „Säulen“ haben Probanden Probleme mit der Orientierung.

lich der Routen-Komplexität einfachen Situation ausgegangen werden kann, da hier der Branching-Faktor nur zwei beträgt und somit keine Möglichkeit besteht die Richtung zu wechseln. Darüber hinaus sind entlang der Testroute Entscheidungspunkte anzutreffen, die einen Branching-Faktor  $\geq 4$  haben. In diesen Szenen gibt es also mehr als zwei Möglichkeiten, den Weg fortzusetzen, sodass von einer bezüglich der Entscheidungsfindung komplexeren Situation ausgegangen werden kann. Eine Übersicht dieser Szenen ist in Abbildung 6.2 zu sehen. Im Folgenden wird auf das verwendete Testmaterial eingegangen.

## 6.3 Testmaterial

Basierend auf den Ergebnissen des ersten Experiments wurde der Prototyp grundlegend überarbeitet. Darüber hinaus wurde der verwendete Fragebogen erweitert, um zusätzliche subjektive Einschätzungen der Nutzer bezüglich der Tauglichkeit der Prototypen abzufragen. Die vorgenommenen Verbesserungen werden im Folgenden beschrieben. Eine der größten Einschränkungen des ersten Experiments war, dass Blicke auf unterschiedliche Interface-Bereiche aufgrund des kleinen Testgeräts (4,7 Zoll) nicht unterschieden werden konnten. Folglich wurde auf ein anderes Testgerät zurückgegriffen. Die Applikation wurde auf einem Samsung Galaxy Tab 3 10.1 dargestellt. Dieses Tablet misst eine Bildschirmdiagonale von 25,7 Zentimeter (10,1 Zoll) und ist somit deutlich größer als das verwendete Gerät in Experiment eins. Zur Erhebung der Blickdaten wurde wieder der „SMI Eye-Tracking Glasses 1“-Eye-Tracker verwendet.

### 6.3.1 Interface

Die Anzeige der Prototypen basiert auf einem Graphen-Modell der Universität, das in Müller et al. (2014) näher beschrieben ist. Objekte wie Türen und Treppen sind Bestandteil dieses Modells und können somit referenziert werden. Für dieses Experiment wurde die Testroute manuell aus dem Modell extrahiert, um sie zur Anzeige zu bringen. Sollten die referenzierten Landmarken nicht im System vorhanden sein, wie es beispielsweise bei Objekten wie „Säulen“ der Fall ist, wurden diese dem Modell manuell hinzugefügt. Der Prototyp basiert auf einer von studentischen Hilfskräften (Raphael Neblich und Robert Jackermeier) programmierten Applikation, die in Android implementiert wurde. Diese

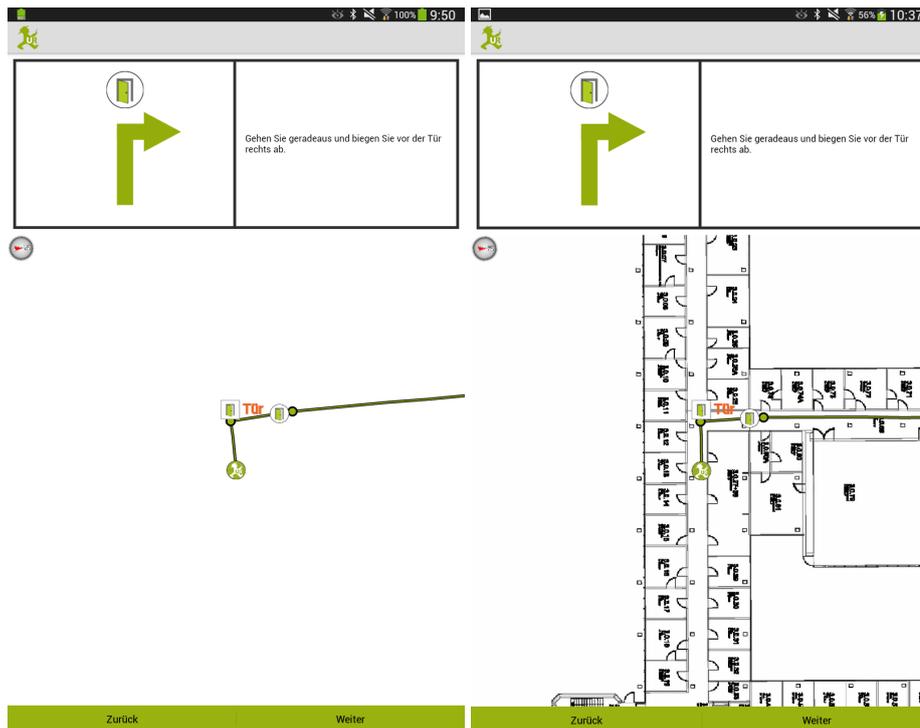


Abbildung 6.4: Interface-Design des dynamischen Prototypen (links: reduzierte Darstellung; rechts: Kartenmaterial der Universität). Die Screenshots zeigen Schritt 1 der Navigation.

wurde vom Funktionsumfang stark eingeschränkt, sodass lediglich die für dieses Experiment notwendigen Darstellungen angezeigt werden können.

Das Interface umfasst vier wesentliche Bestandteile (siehe Abbildung 6.4). Im oberen Bereich wird rechts die Textanweisung dargestellt. Diese ist von mir nach dem gleichen Schema wie in Experiment eins formuliert und umfasst somit immer eine Landmarke sowie eine Richtungsangabe. In diesem Versuchsdurchlauf wurden die Anweisungen im Vergleich zu Experiment eins allgemeiner gehalten. Die Landmarken werden nicht mehr näher beschrieben, da solche Daten im Umgebungsmodell der Universität nicht vorhanden sind. So wird zum Beispiel nur noch auf „die Tür“ verwiesen und nicht mehr auf „die grüne Tür“ oder „die Glastür“. Die Textanweisung ist in der Standardeinstellung in Android zur Größe von Text dargestellt (14 sp).

Links neben der Textanweisung ist ein Richtungspfeil platziert. Dieser wurde in Anlehnung an die Design-Vorschläge von Butz et al. (2001, S. 28) hinzugefügt, da er in sehr reduzierter Form Wegfindungsinformationen bereitstellt. Auch Kray et al. (2003, S. 123) gehen davon aus, dass diese abstrahierte Darstellung unmittelbar relevant für die Wegfindungsaufgabe ist. Der Richtungspfeil abstrahiert die Darstellung des Routensegments dahingehend, dass er nicht mehr maßstabsgetreu ist. Der Pfeil wurde zudem durch eine Anzeige der referenzierten Landmarke erweitert. Diese wurde abhängig von ihrer relativen Lage in Form eines Icons neben oder über dem Pfeil positioniert. Auch das Design der Icons wurde im Vergleich zu Experiment eins überarbeitet. Sofern eine Landmarke „verwendet“ werden muss, wie es bei Türen und Treppen der Fall sein kann, wurde das Icon an der Spitze des Pfeils platziert. Die Pfeile sind mit einem Grafik-Editor erstellt und ma-

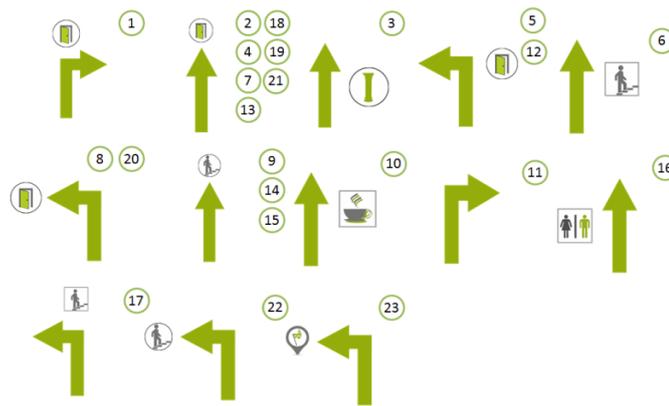


Abbildung 6.5: Überblick über die verwendeten Pfeildarstellungen mit Verweis auf den Schritt, bei dem sie zur Anzeige gekommen sind.

nuell einem Schritt zugeordnet worden. Eine Übersicht der verwendeten Richtungspfeile ist in Abbildung 6.5 zu sehen.

Unter der Textanweisung und den Richtungspfeilen ist das größte Interface-Element platziert, das sich gemäß meiner Forschungsfrage in der Darstellung unterscheidet. Wie in Experiment eins, stellt eine Version lediglich die Route und die referenzierte Landmarke dar (siehe Abbildung 6.4, links). Diese Variante wird im Folgenden wieder als „Graph“-Interface benannt. Die zweite Version zeigt zusätzlich das Kartenmaterial der Universität Regensburg an (siehe Abbildung 6.4, rechts).

In beiden Varianten ist die Route durch eine grüne Linie visualisiert. Die referenzierte Landmarke des jeweiligen Schritts ist durch ein Icon an der Position des Objekts symbolisiert und zudem mit einer Beschriftung versehen. Objekte wie Türen, die Bestandteil der Route sind, werden immer mit ihrem Icon dargestellt, auch wenn sie nicht in der Textanweisung referenziert sind. Vier der Einschränkungen, die von den Probanden in Experiment eins kritisiert wurden (siehe Kapitel 5.8), wurden in diesem Interface-Bereich überarbeitet. Zwar stand auch für dieses Experiment keine Lokalisierungs Komponente zur Verfügung, die aktuelle intendierte Nutzerposition ist jedoch zur besseren Selbstverortung durch ein grünes Männchen dargestellt. Weiterhin zeigt die Karte einen größeren Ausschnitt an. Somit kann in diesem Experiment untersucht werden, ob eine erweiterte Kontext-Anzeige bei der Wegfindung hilfreich sein kann. Außerdem ist dieser Interface-Bereich nicht mehr statisch: Auf diesem Element kann nun eine „Zoom“-Geste ausgeführt werden und es richtet sich mit Hilfe der Inertialsensorik dynamisch in Bewegungsrichtung aus. Folglich hält sich der Prototyp in diesem Experiment an die Designprinzipien von Stark et al. (2007, S. 694), die eine Ausrichtung und Zoom-Funktion empfehlen.

Bei der durchgeführten Pre-Study mit zwei Probanden (einer je Interface) ist aufgefallen, dass die festgestellte Bewegungsrichtung des Kompasses, die zur Ausrichtung der Karte verwendet wurde, zu Beginn des Experiments um mehrere Grad abweichen kann. Derartige Probleme sind auch in verwandten Forschungsarbeiten beobachtet worden (siehe z. B.: Ettliger, Neuner & Burgess, 2017). In dieser Studie wurde zudem festgestellt, dass die Abweichung über die gesamte Testroute stabil bleibt. Aus diesem Grund wurde zu Beginn des Experiments eine Anpassung der Rotation vorgenommen (siehe Abbildung 6.6, links).

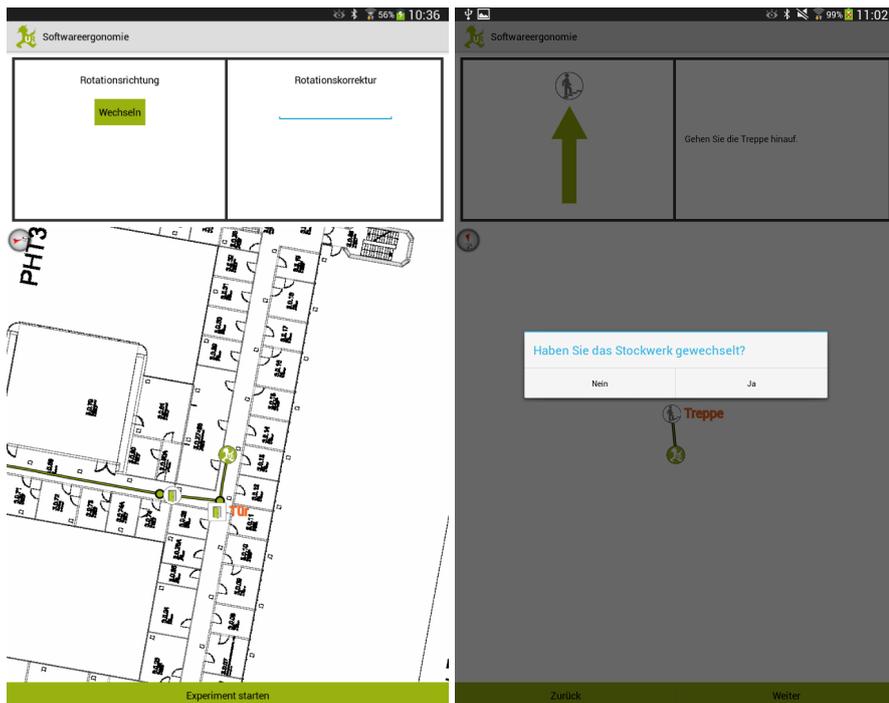


Abbildung 6.6: Weitere Interface-Elemente (links: Korrektur des Rotationswinkels; rechts: Abfrage, ob ein Stockwerkswechsel erfolgt ist).

Die Textanweisung sowie die Richtungspfeile sind für beide Interface-Varianten unveränderlich. Basierend auf den Ergebnissen der bereits erwähnten Pre-Study, wurden das Text- sowie das Pfeilelement größer dargestellt. Dies resultierte in dem Design, das in Abbildung 6.4 sichtbar ist. Diese Anpassung wurde vorgenommen, um die Blicke der Probanden eindeutig den unterschiedlichen Interface-Bereichen zuordnen zu können. Die Textgröße wurde nicht verändert, da diesbezüglich von den Probanden der Pre-Study nichts angemerkt wurde.

Das vierte Interface-Element sind die beiden Buttons am unteren Rand des Bildschirms. Die Nutzer mussten auch in diesem Experiment selbst entscheiden, wann sie die nächste Navigationsanweisung sehen wollten. Dies sollten sie durch das Klicken auf den Button „Weiter“ signalisieren. Jedoch wurde in diesem Experiment auf den „Ziel erkannt“-Button verzichtet (siehe Kapitel 5.3.1), da manche Probanden des ersten Experiments dies als unnötige zusätzliche Belastung empfanden. In diesem Experiment ist es möglich, bereits absolvierte Schritte zu betrachten. Dies ist durch das Auswählen des Buttons „Zurück“ möglich.

Während der Navigation mussten die Nutzer zwei Mal das Gebäude und drei Mal das Stockwerk wechseln. Dies mussten die Probanden innerhalb eines Dialogs quittieren (siehe Abbildung 6.6, rechts).

### 6.3.2 Fragebogen

Wie bereits im Experiment mit dem statischen Prototypen wurden Fragen zur Vorkenntnis auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala von „lehne stark ab“ bis „stimme stark zu“ erhoben. Die Fragen lauteten wie folgt:

D3: Die Richtungspfeile haben mir bei der Orientierung geholfen.

Lehne stark ab         stimme stark zu

D4: Die Textanweisungen haben mir bei der Orientierung geholfen.

Lehne stark ab         stimme stark zu

D5: Der Routenausschnitt hat mir bei der Orientierung geholfen.

Lehne stark ab         stimme stark zu

Abbildung 6.7: Erklärende Grafik auf dem Fragebogen.

- Ich habe viel Erfahrung im Umgang mit Smartphones.
- Ich habe viel Erfahrung im Umgang mit Fußgänger-Navigationssystemen.
- Ich kannte mich bereits vor dem Experiment im Bereich der Testroute sehr gut aus.

In diesem Experiment wurden alle Fragen des Fragebogens zu räumlichen Strategien von Münzer und Hölscher (2011) herangezogen. Somit wurde die latente Variable „Orientierungssinn“ mit 19 Items abgefragt, die wie die Fragen oben auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala gemessen werden.

Zudem wurden weitere Fragen formuliert, die eine grundsätzliche subjektive Einschätzung zur Qualität der Prototypen ermöglichen sollen. Diese beziehen sich zum einen auf die gewählten auffälligen Objekte:

- Es wurden genügend auffällige Objekte angezeigt, um mich orientieren zu können.
- Die gewählten auffälligen Objekte (z. B.: Treppen/Türen) fand ich sehr hilfreich.

Zum anderen wurde auf spezifische Interface-Elemente und Funktionen des Prototypen eingegangen:

- Die Richtungspfeile haben mir bei der Orientierung geholfen.
- Die Textanweisungen haben mir bei der Orientierung geholfen.
- Der Routenausschnitt hat mir bei der Orientierung geholfen.
- Die automatische Ausrichtung der Karte hat mir bei der Orientierung geholfen.

Zur Verdeutlichung, welcher Bildschirmbereich mit den Fragen adressiert wird, wurde eine erklärende Grafik auf dem Fragebogen abgedruckt (siehe Abbildung 6.7).

Außerdem wurde eine allgemeine Frage zum Sicherheitsgefühl während der Navigation hinzugefügt („Während der Navigation habe ich mich sicher gefühlt“). Die zusätzlichen Fragen wurden den Probanden der Pre-Study vorgelegt. Sie wurden befragt, ob sie die Formulierung verstehen und was sie mit der Frage zum Sicherheitsgefühl assoziieren. Beide Probanden äußerten sich positiv bezüglich der Klarheit der Fragen, jedoch wurde angemerkt, ein Beispiel, was als auffälliges Objekt verstanden werden kann, würde die Verständlichkeit der Fragen verbessern. Demnach wurde dies in die Formulierung miteinbezogen. Bezüglich der Frage zum Sicherheitsgefühl wurde geäußert, dass sie darunter ein „Selbstsicherheitsgefühl“ verstehen und die Frage nicht mit äußeren Bedrohungen assoziieren, die ihre persönliche Sicherheit einschränken könnten. Alle zusätzlichen

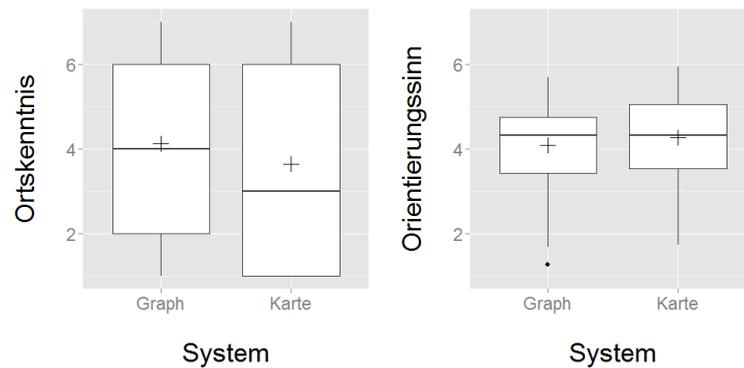


Abbildung 6.8: Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen, gemessen auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala.

Fragen wurden ebenfalls auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala von „lehne stark ab“ bis „stimme stark zu“ erhoben. Somit ist der Fragebogen bezüglich der Antwortmöglichkeiten konsistent gestaltet.

Neben den zusätzlichen geschlossenen Fragen wurden weiterhin offene gestellt, um auch Aspekte zu erheben, die möglicherweise nicht durch die anderen Items abgefangen werden können. In diesem Zusammenhang sollten die Probanden frei auf die folgenden Fragen antworten:

- Unzufrieden war ich mit folgenden Aspekten:
- Bei der Orientierung haben mir folgende Aspekte geholfen:

Somit wurde gezielt nach positiven und negativen Erlebnissen während der Wegfindungsaufgabe gefragt. Weiterhin wurde auf dem Fragebogen vermerkt, ob eine Person Hilfe benötigte, um die Navigation fortsetzen zu können.

## 6.4 Testpersonen

Der Stichprobenumfang dieses Experiments beträgt 69 Teilnehmer, wovon 36 männlich waren. Es wurde auf eine ausgewogene Geschlechterverteilung innerhalb der Interface-Varianten geachtet. Für dieses Experiment wurde die Vorgabe, dass die Probanden Studierende sein müssen, aufgehoben. Das durchschnittliche Alter betrug 23,8 Jahre mit einer Standardabweichung von 7,72 (Minimum 11 Jahre; Maximum 64 Jahre). Die Stichprobe ist demnach deutlich heterogener als die des Experiments mit dem statischen Prototypen. Trotzdem haben sowohl die Smartphone-Erfahrung als auch die Vorkenntnisse in Bezug auf Fußgänger-Navigationssysteme leicht zugenommen (vergleiche Kapitel 5.4): Die Smartphone-Erfahrung liegt im Mittel bei durchschnittlich 5,71 (SD = 1,46; Median = 6). Die Probanden waren trotz der Tatsache, dass auch sehr junge und relativ alte Personen teilnahmen, sehr gut mit Smartphones vertraut. Die Erfahrung mit Fußgänger-Navigationssystemen lag bei 3,00 (SD = 1,73; Median = 3) und ist demnach immer noch unterdurchschnittlich ausgeprägt (bei einem theoretischen Mittel von 3,5).

Die Kenntnis der Route ist sehr heterogen, jedoch insgesamt durchschnittlich (siehe Abbildung 6.8, links). Ein Mann-Whitney-U-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied

bezüglich dieser Variable zwischen den Interface-Varianten ( $Z = 0,817$ ;  $p = 0,414$ ). Auf Normalverteilung der Untergruppen wurde mit einem Shapiro-Wilk-Test geprüft ( $p < 0,01$ ). Der Orientierungssinn der Probanden, der durch die Mittelwertbildung aller 19 Items des Fragebogens zu räumlichen Strategien von Münzer und Hölscher (2011) gebildet wurde, war leicht überdurchschnittlich ausgeprägt. In Abbildung 6.8 (rechts) ist zu sehen, dass für diese Variable die Streuung eher gering ist. Ein Graph-Interface-Nutzer schätzt seinen Orientierungssinn besonders schlecht ein, sodass im Boxplot ein Ausreißer erkennbar ist. Diese Variable ist bezüglich der beiden Prototyp-Varianten nicht signifikant unterschiedlich ( $Z = 0,553$ ;  $p = 0,580$ ). Zusammenfassend kann bezüglich der Stichprobe gesagt werden, dass die Probanden sehr viel Smartphone-Erfahrung aufweisen, jedoch eher wenig mit Fußgänger-Navigationssystemen vertraut sind. Die Ortskenntnis ist sehr heterogen ausgeprägt und die Probanden haben im Schnitt einen etwas überdurchschnittlichen Orientierungssinn, der sehr homogen ausfällt.

## 6.5 Experiment-Durchführung

Das Experiment wurde im Sommer 2014 zwischen 10:00 Uhr und 17:00 Uhr durchgeführt. Während des Experiments wurden die Probanden von zwei studentischen Testleitern begleitet. Die Testpersonen wurden von den Studierenden ausgewählt, jedoch durfte niemand ausgesucht werden, der bereits an der Vorstudie oder Experiment eins teilgenommen hatte. Weiterhin durfte niemand mit Brille partizipieren, da dies die Funktionsweise des Eye-Trackers beeinträchtigt. Die Testleiter erhielten eine Einführung zum Vorgehen während des Experiments (circa 90 Minuten). Zudem wurden ihnen Bögen mit Instruktionen bezüglich der Funktionsweise des Eye-Trackers und der Applikation ausgehändigt. Die Handhabung des Eye-Trackers wurde in kleinen Gruppen von zwei bis drei Personen demonstriert und geübt. Dies dauerte pro Gruppe etwa eine halbe Stunde.

Der Testablauf gestaltete sich sehr ähnlich wie der von Experiment eins. Zunächst wurden die Probanden an einem Treffpunkt abgeholt. Es wurde darauf geachtet, dass die Testpersonen über einen Umweg zum Startpunkt der Route geführt wurden, der die Testroute nicht oder nur minimal kreuzt. Dort mussten die Teilnehmer den ersten Teil des Fragebogens ausfüllen, der sich auf die Selbsteinschätzung ihres Orientierungssinns sowie die Vorkenntnisse bezüglich der Handhabung von Smartphones und Fußgänger-Navigationssystemen bezog. Daraufhin wurde der Eye-Tracker aufgesetzt, kalibriert, die Aufnahme gestartet und der Aufnahme-Laptop im Rucksack verstaut. Die Applikation wurde danach geöffnet und eine etwaige Korrektur des Kompass-Winkels durchgeführt (siehe Kapitel 6.3.1). Die Funktionsweise des Prototypen wurde anhand des ersten Screens erklärt. Die gespeicherten Zeiten für diesen ersten Schritt wurden folglich aus der Auswertung ausgeschlossen. Bei der Erklärung wurde insbesondere darauf hingewiesen, dass die Probanden die Anweisungen selbstständig weiter schalten müssen. Dies sollte unmittelbar nach Erreichen des Endes des jeweiligen Routenabschnitts erfolgen. Um dies zu verdeutlichen lautete der Wortlaut der Instruktion wie folgt:

Drücken Sie bitte auf „Weiter“, sobald Sie das Ziel der jeweiligen Anweisung erreicht haben. Lautet die Anweisung z. B.: „Gehen Sie durch die Tür“ klicken Sie bitte auf „Weiter“ unmittelbar nachdem Sie durch die Tür gegangen sind.

Sofern keine Unklarheiten mehr existierten, startete der Testdurchlauf. Das Ziel der Route wurde wie bei Experiment eins nicht bekannt gegeben, um zu vermeiden, dass Personen mit Ortskenntnis zum Zielpunkt navigieren, ohne die Wegfindungshilfe zu verwenden. Die Testleiter leisteten keine Hilfestellung außer, wenn sich ein Proband verlaufen hatte. Ein „Verlaufen“ war wieder ein nach Goodman et al. (2004, S. 43) definiertes Ereignis, bei dem die Experimentleiter eingreifen mussten. Sobald jemand an einem Entscheidungspunkt die falsche Richtung einschlug oder äußerte, dass er oder sie Hilfe benötigte, um die Aufgabe abschließen zu können, wurde dies im Fragebogen notiert. In diesem Fall wurde die Person zum Startpunkt der nächsten Anweisung geführt und die Navigation fortgesetzt. Dies ist ein großer Unterschied zu Experiment eins, bei dem der Durchlauf im Falle eines „Verlaufens“ beendet wurde. Durch diese Änderung konnten für alle Probanden Daten für jeden Navigationsschritt gesammelt und ausgewertet werden.

Sobald die Teilnehmer am Ziel der Teststrecke angelangt waren, wurde der Eye-Tracker abgenommen, die Aufnahme beendet und der zweite Teil des Fragebogens ausgefüllt, in dem die Probanden zunächst offene Fragen bezüglich negativer und positiver Erlebnisse während der Wegfinder mit der Applikation beantworten mussten. Zudem wurde die Kenntnis der Testroute vor dem Experiment-Durchlauf erfragt und eine Einschätzung zur Nützlichkeit unterschiedlicher Interface-Elemente gegeben.

Es wurde ein Between-Subject-Design angewendet, sodass 33 Personen mit dem Graph-Interface und 36 mit der Variante, die zusätzlich Architekturpläne anzeigt, navigierten.<sup>1</sup> Die Probanden wurden zufällig auf die Varianten verteilt, es wurde jedoch auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis geachtet.

## 6.6 Annotation der Eye-Tracker-Daten

Die Daten des Eye-Trackers wurden mit der Software „BeGaze 3.7“ der Firma SMI annotiert. Als Referenzbild wurde ein sehr ähnliches Design wie bei Experiment eins gewählt, da sich diese Darstellung in der Annotationspraxis bewährt hatte (siehe Abbildung 6.9). Die Annotation wurde von studentischen Hilfskräften durchgeführt.

Jeder Navigationsschritt wird innerhalb des Referenzbildes durch einen Screenshot und ein Karten-Fragment, das die unmittelbare Umgebung der Nutzer repräsentiert, dargestellt. Dabei werden Fixationen auf das Interface auf den jeweiligen Screenshot-Bereich des Referenzbildes übertragen (siehe Abbildung 6.10, oben). Für den Bildschirm wurden gemäß der drei Anweisungsarten drei Areas-of-Interest definiert. Diese umfassen die Bereiche „Pfeil“ und „Text“ (Markierung „1“ und „2“ in Abbildung 6.9). Außerdem wurde dem Interface-Element, das entweder nur die schematische Kartendarstellung anzeigt oder zusätzlich die architektonischen Lagepläne, eine Area-of-Interest zugeordnet (Markierung „3“). Dieser Bereich wird im Folgenden als „Karte“ bezeichnet. Blicke auf die Buttons werden gesondert auf eine Area-of-Interest am unteren Rand annotiert. Über dem gesamten Bildschirm ist eine Area-of-Interest gelegt, die alle Fixationen auf den Pfeil, den

---

<sup>1</sup>Die leicht ungleiche Verteilung der Probanden über die Interfaces ist dadurch zu erklären, dass für zwei Probanden, die mit dem Graph-Interface navigierten, versehentlich eine falsche (bereits vergebene) Identifikationsnummer in der Applikation eingetragen wurde. Dies führte zu einem Überschreiben der Daten, da der Datensatz mit der Probanden-ID benannt wurde. Um dies zu verhindern wurde in folgenden Experimenten zusätzlich ein Timestamp im Dateinamen zur Identifikation der Probanden abgespeichert.

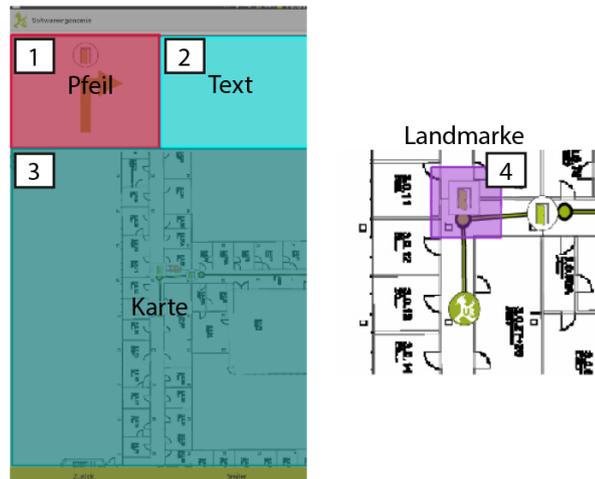


Abbildung 6.9: Festgelegte Areas-of-Interest für die Datenanalyse mithilfe des mobilen Eye-Trackers.

Text, die Buttons und das Kartenelement subsumiert. Die Dialoge, die beim Stockwerks- und Gebäudewechsel angezeigt werden, wurden auf separate Referenzbilder übertragen. Diese Daten werden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Blicke in die real-weltliche Umgebung werden auf das Karten-Fragment des Referenzbildes übertragen. In diesem ist für jeden Schritt eine Area-of-Interest „Landmarke“ (Markierung „4“) vermerkt, in die Fixationen auf das jeweils referenzierte Objekt der Anweisung übertragen werden (siehe Abbildung 6.10, mittig und unten). Blicke auf Personen sowie den Boden, die Decke oder auf Objekte während mit diesen „interagiert“ wird (z. B. Türen beim Öffnen), werden nicht annotiert und sind demnach nicht Teil der Auswertung, da sie lediglich der Fortbewegung und nicht der Orientierung dienen. Alle anderen Fixationen werden auf den Teil des Karten-Fragments verortet, für den keine Area-of-Interest definiert ist. Diese Blicke werden in der Auswertung als allgemeine Umgebungsblicke angesehen, die zur Orientierung dienen.

Der Wechsel der Test-Hardware konnte die Genauigkeit des Übertragungsprozesses deutlich erhöhen. Im Rahmen dieser Studie war eine Annotation und Unterscheidung der unterschiedlichen Interface-Elemente problemlos möglich. Auf die Ergebnisse bezüglich des annotierten Blickverhaltens sowie der gesammelten Performanzmaße und der subjektiven Zufriedenheit der Nutzer wird im Folgenden eingegangen.

## 6.7 Ergebnisse

Wie bereits beschrieben wurde sowohl das Interface als auch die Experiment-Durchführung für die in diesem Kapitel beschriebene Studie grundlegend überarbeitet. Im Folgenden soll nun überprüft werden, ob die Nullhypothese mit diesem neuen Set-up weiterhin abgelehnt werden kann. Folglich wird die gleiche Hypothese wie in Experiment eins auf Gültigkeit geprüft:

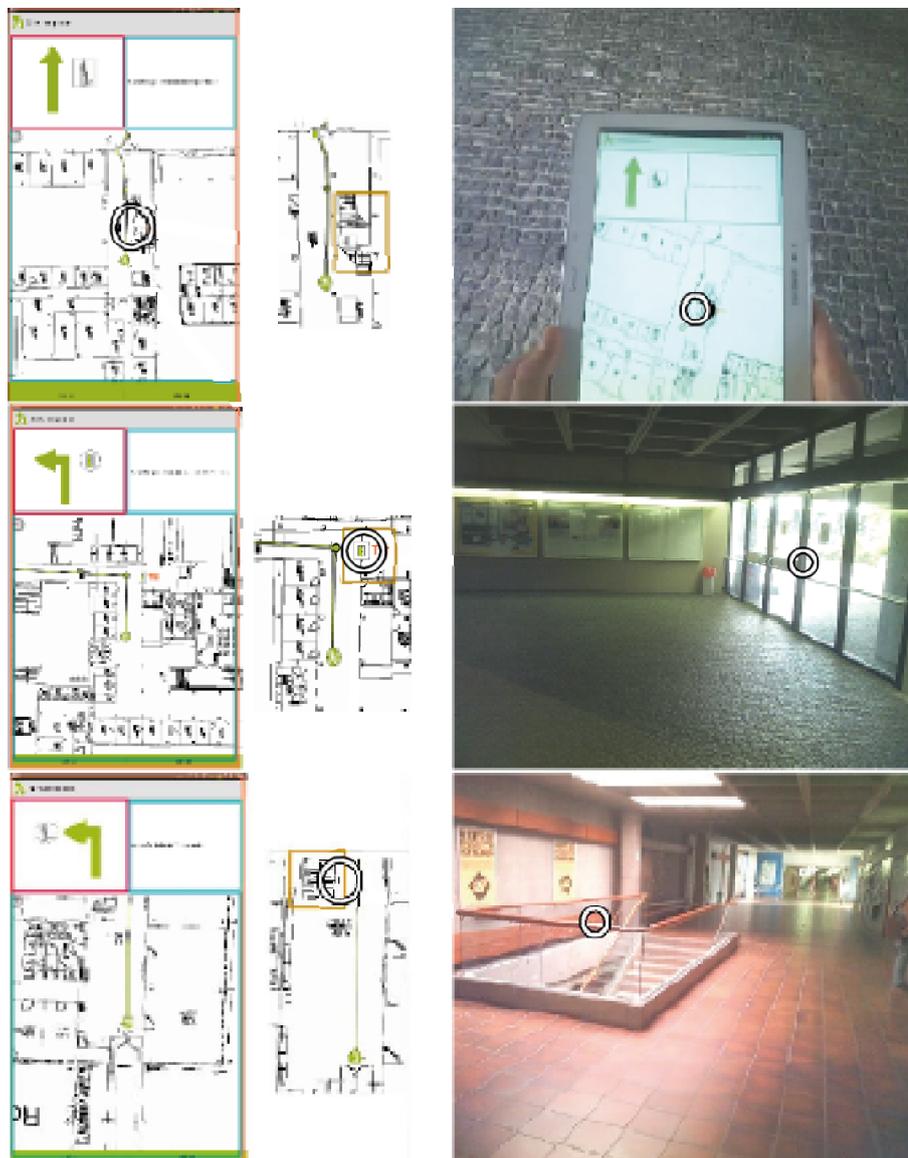


Abbildung 6.10: Annotation der Eye-Tracker-Daten (oben: Blick auf den Bildschirm; mittig: Blick auf eine Tür-Landmarke; unten: Blick auf eine Treppen-Landmarke).

- $H_1$ : Ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterstützt die Wegfindung besser als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt.
- $H_0$ : Ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterstützt die Wegfindung nicht besser als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt.

Dabei wird „besser unterstützen“ wieder anhand von Fehlern während der Navigation, der Zeit zur Zielerreichung und dem Blickverhalten quantifiziert. Es wird aufbauend auf den Ergebnissen der ersten Studie davon ausgegangen, dass ein effizienteres Navigationssystem zu kürzeren Betrachtungszeiten des Interfaces führt. Durch das geänderte Experiment-Design konnte sowohl die Wegfindungs- und Betrachtungszeit für die gesamte Aufgabe, als auch für die einzelnen Schritte analysiert werden. Weiterhin wurden in dieser Studie subjektive Zufriedenheitsmaße anhand offener und geschlossener Fragen eines Fragebogens abgefragt. Diese Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

### 6.7.1 Zeit und Fehler

Von den 36 Karten-Nutzern verliefen sich 12 Probanden, davon eine Person zwei Mal. Weitere 13 Graph-Nutzer der insgesamt 33 Probanden, die mit diesem Interface navigierten, benötigten Hilfe, davon drei Personen zwei Mal. Diese Verteilung unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Interface-Versionen ( $\chi^2(1, N = 69) = 0,113$ ;  $p = 0,737$ ). Tabelle 6.2 zeigt eine Übersicht der Schritte, bei denen Fehler aufgetreten sind. Wie bereits in Experiment eins zeigt sich, dass ein „Verlaufen“ nicht signifikant von der Darstellung der Wegfindungshilfe abhängt, sondern stark von der Umgebung beeinflusst wird.

Interface/Schritt	2	3	5	8	11	15	17
Karte	0	5	0	0	1	0	7
Graph	1	1	4	2	0	1	7

Tabelle 6.2: Anzahl der Probanden, die sich verlaufen haben, aufgeteilt nach Interface und Navigationsschritt. Bei Schritten, die nicht aufgeführt sind, sind keine Probleme aufgetreten. Vier Personen verliefen sich zwei Mal.

Am auffälligsten ist hier die hohe Anzahl an Probanden, die sich bei Schritt 17 verirren (sieben je Interface-Version). In dieser Szene in der Zentralbibliothek besagt die Textanweisung: „Gehen Sie vor der Treppe links“. Danach führte der Weg geradeaus weiter durch eine Tür. 14 Probanden interpretierten die Anweisung falsch und betraten einen Raum in der Bibliothek durch eine auffällige grüne Tür (siehe Abbildung 6.11, links). Dieses Verhalten wurde in Experiment eins nicht beobachtet. Das neue Problem wird dadurch verursacht, dass die Textanweisung für diesen Schritt verändert wurde. In der vorangegangenen Studie besagt die Anweisung, man soll auf die Treppe zugehen. Erst die nächste Anweisung forderte die Wegfinder dazu auf, links zu gehen. Dieses Problem ist auch darauf zurückzuführen, dass die Probanden das Ziel der Route nicht kannten. Es ist eher unwahrscheinlich, dass Wegfinder einen Raum in der Bibliothek betreten, wenn sie eigentlich einen Raum im Rechenzentrum suchen. Somit sind diese Fehler einerseits Experiment-Artefakte, andererseits auf eine ambigue Textanweisung zurückzuführen, die durch die zusätzliche grafische Darstellung der Route nicht aufgelöst werden kann.



Abbildung 6.11: Schritte, die zu Navigationsfehlern führen. Die Nummern verweisen auf die Landmarke des Navigationsschrittes. Zusätzlich ist die intendierte Bewegungsrichtung eingezeichnet.

Weiterhin ist in Tabelle 6.2 ersichtlich, dass am Anfang der Navigation kaum noch Fehler auftreten (Schritt 2). Dies stellte im Rahmen von Experiment eins eines der gravierendsten Probleme bei der Orientierung dar.

Probanden, die mit dem Graph-Interface navigieren, haben weiterhin Probleme bei Schritt 5. Sie verlassen wie in Experiment eins das Gebäude durch eine sehr ähnlich aussehende Tür (siehe Abbildung 5.10, dort als Schritt 4 markiert). Karten-Nutzer können diese Situation scheinbar durch die erweiterte Darstellung der Umgebungsinformation auflösen. Die für dieses Problem neu formulierten Anweisungen für dieses Experiment (Schritt 5 und 6) haben sich für Wegfinder mit der reduzierten Darstellung als nicht hilfreich erwiesen, da sie diese Anweisungen erst zu spät anfordern (nachdem sie das Gebäude verlassen haben).

Ein neues Problem tritt bei Karten-Nutzern bei Schritt 3 in Erscheinung. Fünf der Probanden konnten die Anweisung „Gehen Sie geradeaus an den Säulen vorbei“ nicht richtig interpretieren. Sie klickten nicht auf „Weiter“ und gingen weiter geradeaus durch die Tür und verließen teilweise sogar das Gebäude. Obwohl die Tür am Ende des Ganges eine räumliche Barriere darstellt, empfinden die Nutzer dies nicht als Ende des Routenabschnitts. Ein Karten-Nutzer thematisiert dieses Problem explizit in den offenen Fragen des Fragebogens und formuliert es wie folgt (Proband P4.3): „Gehen Sie an den Säulen vorbei. Wie weit? Die Säulen gehen am Gang noch weiter.“ Ein weiterer Proband äußert während der Wegfindung (Proband P8.6): „Ich würde jetzt einfach weiter laufen, weil die Säulen da immer noch da sind.“ Dies zeigt auf, warum es zu einem Problem bei der Orientierung kommt. Da nach der Tür weitere Säulen zu sehen sind, sind die Nutzer verunsichert (siehe Abbildung 6.11, rechts). Dass dieses Verhalten nicht in Experiment eins zu beobachten war, liegt vermutlich daran, dass die Instruktion im neuen Experiment betont, man solle erst auf „Weiter“ klicken, sobald man das Ziel der Anweisung erreicht hat. Die Probanden versuchen offensichtlich, sich sehr genau an diese Instruktion zu halten. Weiterhin tritt

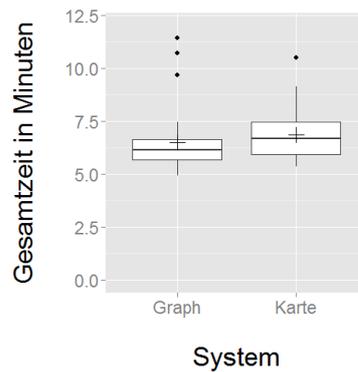


Abbildung 6.12: Gesamte Navigationszeit, aufgeteilt nach Interface-Variante.

dieses Problem fast ausschließlich bei Karten-Nutzern auf. In der Analyse des Blickverhaltens wird deutlich, dass die Probanden die Karte in diesem Abschnitt auch sehr lange betrachten (siehe Abbildung 6.17). Das Kartenelement scheint die Nutzer bei diesem Schritt zu verwirren, sodass eine erfolgreiche Orientierung nicht erfolgen kann.

Für dieses Experiment konnte die gesamte Zeit, die zur Absolvierung der Route benötigt wurde, in die Analyse aufgenommen werden, da die Probanden im Falle eines „Verlaufens“ zum Start der nächsten Anweisung geführt wurden. Die Gesamtzeit umfasst die Dauer ab der Rezeption von Schritt 2 (Schritt 1 wurde zur Erklärung verwendet) bis zur Zielerreichung und beinhaltet demnach auch alle Desorientierungsphasen für Nutzer, die sich verlaufen haben. Die Daten der beiden Interfaces waren nicht normalverteilt, weshalb ein Mann-Whitney-U-Test berechnet wurde. Für diese Variable konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $Z = -1,97$ ;  $p = 0,049$ ). Die Nullhypothese kann somit abgelehnt werden. Die Effektstärke ist mit  $r = 0,237$  klein für empirische Daten.<sup>2</sup> Im Mittel haben Probanden, die mit dem Graph-Interface navigierten, 6 Minuten und 29 Sekunden benötigt, um die Aufgabe zu absolvieren. Karten-Nutzer benötigten 22 Sekunden länger (siehe Abbildung 6.12).

Abbildung 6.13 zeigt aufgeteilt nach Interface die Mittelwerte der Zeiten, die die Nutzer zur Absolvierung der einzelnen Schritte benötigten. Insgesamt ist zu sehen, dass die Mittelwerte der Karten-Nutzer vermehrt, aber nicht immer über denen der Graph-Nutzer liegen. Dieser Unterschied ist jedoch nur für Schritt 5 ( $Z = -1,96$ ;  $p = 0,050$ ) und Schritt 11 ( $Z = -2,34$ ;  $p = 0,019$ ) signifikant. Dies ist ein unerwartetes Ergebnis, da Schritt 5 bei Graph-Nutzern zu einem häufigen „Verlaufen“ führt. Karten-Nutzer sind in dieser Szene zwar langsamer, jedoch erfolgreicher. Abschnitt 11 hingegen ist der einzige Schritt, der keine Landmarke enthält. Eine abstrahierte Darstellung kann in diesem Fall zu einer höheren Navigationseffizienz führen. Die Navigationszeit der einzelnen Schritte kann Unterschiede in der Gesamt-Performanz der Nutzer nicht hinreichend erklären. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine Analyse des Blickverhaltens durchgeführt, um über die bloße Navigationszeit hinaus zu verstehen, wie sich Probanden bei der Wegfindung orientieren.<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Die Interpretation der Effektstärke basiert für alle Tests auf Leonhart (2009, S. 576).

<sup>3</sup>Als Randnotiz soll hier noch angemerkt sein, dass die Überarbeitung des Interfaces eine Zoom-Funktion beinhaltete. Die Analyse der Logdaten zeigte jedoch auf, dass kein Proband diese Funktion nutzte.

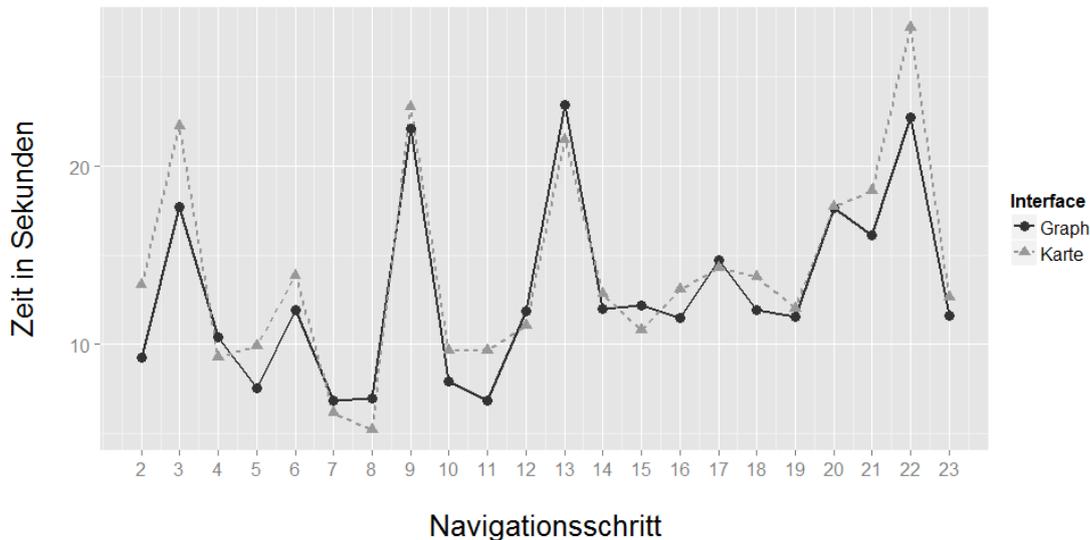


Abbildung 6.13: Navigationszeit pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

### 6.7.2 Blickverhalten

Für die nachfolgenden Berechnungen wurden zunächst alle Fixationen während der gesamten Wegfindungsaufgabe aufsummiert. Blicke bezüglich des ersten Schrittes wurden nicht berücksichtigt, da dieser zur Erklärung der Aufgabe diente. Als Variablen wurden die Fixationszeit, die Fixationshäufigkeit sowie die Revisits betrachtet. Die Fixationsdauer und -anzahl korrelieren naturgemäß stark, können aber aufgrund der Spannbreite einer Fixation zwischen 150 Millisekunden und 600 Millisekunden (Duchowski, 2007, S. 47) voneinander abweichen.

Zunächst wurden wie in Experiment eins die Blicke auf dem gesamten Bildschirmbereich betrachtet. Zwischen den Interfaces konnten signifikante Unterschiede bezüglich der Fixationsdauer ( $Z = -2,62$ ;  $p = 0,009$ ) und der Fixationshäufigkeit ( $Z = -2,84$ ;  $p = 0,004$ ) festgestellt werden, jedoch nicht für das Zurückkehren auf den Bildschirm, nachdem in die Umgebung geblickt wurde – also den Revisits ( $Z = -1,80$ ;  $p = 0,072$ ). Karten-Nutzer betrachten den Bildschirm signifikant häufiger und länger. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen des ersten Experiments. Somit kann  $H_0$  für diese Variablen abgelehnt werden. Die Effektstärke ist mit  $r = 0,342$  (Fixationsdauer) und  $r = 0,217$  (Fixationshäufigkeit) im kleinen bis mittleren Bereich einzuordnen. Die Ergebnisse bezüglich der Fixationsdauer auf den Bildschirm sind in Abbildung 6.14 (rechts) mittels eines Boxplots visualisiert.

In Tabelle 6.3 ist die deskriptive Statistik für diese Ergebnisse zusammengefasst. Interessant ist, dass im Mittel lediglich etwa zwei Mal pro Schritt auf den Bildschirm zurückgekehrt wird. Ein häufiges Wechseln zwischen Interface und Umgebung ist demnach nicht zu beobachten. Weiterhin wurde untersucht, ob sich das Blickverhalten auf der referenzierten Landmarke zwischen den Interfaces unterscheidet. Für keine der abhängigen Variablen wurde ein signifikanter Unterschied errechnet (Fixationsdauer:  $Z = 0,529$ ;  $p = 0,597$ ; Fixationshäufigkeit:  $Z = 0,427$ ;  $p = 0,670$ ; Revisits:  $Z = 0,289$ ;  $p = 0,773$ ). Durchschnittlich wird der Blick nur einmal pro Schritt wieder auf die Landmarke gerichtet. Ins-

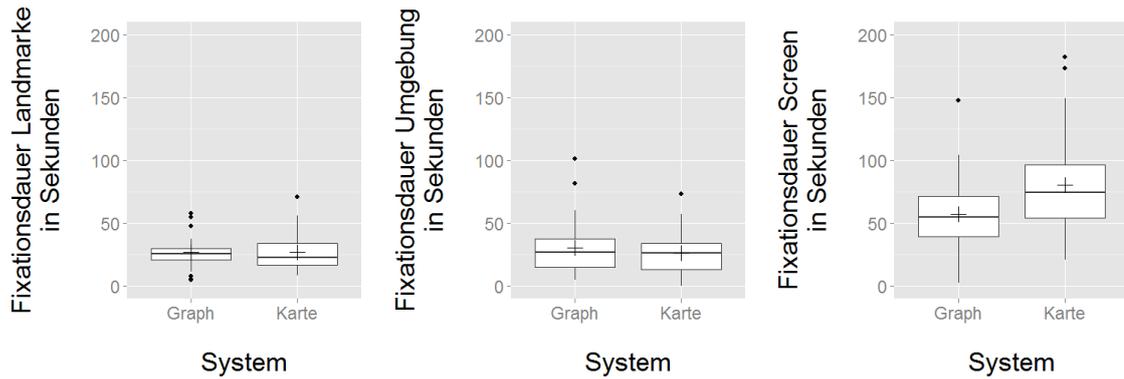


Abbildung 6.14: Fixationsdauer auf die referenzierte Landmarke, die Umgebung und den Bildschirm.

	Interface	Landmarke		Umgebung		Screen	
		M	SD	M	SD	M	SD
Fixationsdauer	Karte	26,72	15,10	26,30	16,47	80,00**	39,54
in Sekunden	Graph	26,69	12,42	30,56	21,16	56,83**	28,08
Fixationen	Karte	153,67	75,72	152,36	87,86	477,86**	203,41
(Häufigkeit)	Graph	155,79	65,03	186,27	122,25	351,30 **	148,98
Revisits	Karte	25,06	11,05	27,83	14,53	46,19	13,87
(Häufigkeit)	Graph	26,67	14,79	30,24	19,95	40,79	16,58

Tabelle 6.3: Fixationsdauer, Fixationsanzahl und Revisits auf dem Bildschirm, der referenzierten Landmarke und der Umgebung.

gesamt wird die Landmarke nur relativ kurz betrachtet. Die Probanden scheinen, nachdem sie das Objekt einmalig identifiziert haben, kein Bedürfnis mehr zu haben, die Landmarke nochmals oder länger zu betrachten. Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen der Betrachtung der Umgebung. Auch hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interfaces festgestellt (Fixationsdauer:  $Z = 0,661$ ;  $p = 0,509$ ; Fixationshäufigkeit:  $Z = 0,877$ ;  $p = 0,381$ ; Revisits:  $Z = 0,006$ ;  $p = 0,995$ ). Die restlichen Objekte in der Umgebung werden ebenfalls nur sehr selten fixiert. Die größte visuelle Aufmerksamkeit wird dem Bildschirm gewidmet.<sup>4</sup> Dies ist auch in Abbildung 6.14 ersichtlich.

Da signifikante Ergebnisse bezüglich des Bildschirms festgestellt werden konnten, werden die Blicke auf die unterschiedlichen Interface-Bereiche nachfolgend im Detail analysiert. Diese Berechnungen waren im ersten Experiment aufgrund der kleinen Bildschirmgröße des Testgeräts nicht durchführbar. Somit sind im Rahmen dieses Testdurchlaufs tiefere Einblicke in das Blickverhalten möglich. Auch für diese Untersuchungen wird zunächst die Summe der Fixationen und Revisits betrachtet. In Tabelle 6.4 ist die deskriptive Statistik für die unterschiedlichen Screen-Bereiche zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen sehr deutlich, dass die Unterschiede in der Betrachtung des Interfaces auf eine unterschiedliche Fixationsdauer und -häufigkeit des Elements, das entweder die Karte oder die abstrahierte Darstellung anzeigt, zurückzuführen sind. Die Fixationsdauer unterscheidet sich zwischen den Interfaces hoch signifikant ( $Z = -4,13$ ;

<sup>4</sup>Hier ist zu beachten, dass Blicke, die der Fortbewegung dienten, nicht annotiert worden sind. Dieser Anteil der visuellen Aufmerksamkeit ist nicht Teil meiner Analysen.

	Interface	Text		Pfeil		Karte	
		M	SD	M	SD	M	SD
Fixationsdauer in Sekunden	Karte	26,70	15,47	5,16	5,12	45,44 ***	28,81
	Graph	26,24	14,97	5,70	9,13	21,80 ***	14,07
Fixationen (Häufigkeit)	Karte	165,33	89,07	33,75	31,48	264,08 ***	149,02
	Graph	158,73	80,67	38,03	51,40	134,64 ***	77,44
Revisits (Häufigkeit)	Karte	42,67	24,26	13,22	16,07	55,94**	31,91
	Graph	37,48	23,47	13,21	18,39	37,36**	21,28

Tabelle 6.4: Deskriptive Statistik der Blickdaten auf den unterschiedlichen Bildschirmbereichen.

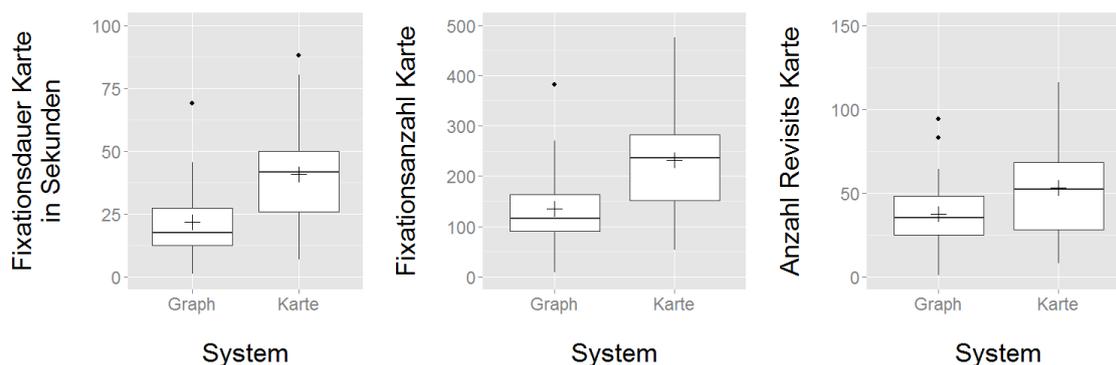


Abbildung 6.15: Fixationsdauer und -anzahl sowie Revisits auf dem Interface-Element „Karte“.

$p < 0,001$ ;  $r = 0,491$ ), ebenso die Häufigkeit ( $Z = -4,17$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,502$ ). Die Effektstärke steigt zudem – im Vergleich zu den Ergebnissen bezüglich des gesamten Bildschirms – deutlich auf einen großen Effekt an. Auf dem Kartenelement ist darüber hinaus ein signifikanter Unterschied bezüglich der Revisits festzustellen ( $t(62) = -2,87$ ;  $p = 0,006$ ). Die Daten der Untergruppen der Revisits waren laut einem Shapiro-Wilk-Test normalverteilt ( $p > 0,05$ ). Auf Varianzhomogenität wurde daraufhin mit einem Levene-Test geprüft ( $p > 0,05$ ). Dieses Vorgehen wurde für die nachfolgenden Tests beibehalten. In Abbildung 6.15 ist der Unterschied zwischen den Interface-Varianten der Fixationsdauer- und häufigkeit sowie der Revisits visualisiert.

Bezüglich des Bereichs „Text“ wurden für keine der abhängigen Variablen Unterschiede festgestellt (Fixationsdauer:  $t(67) = -0,126$ ;  $p = 0,900$ ; Fixationshäufigkeit:  $t(67) = -0,323$ ;  $p = 0,748$ ;  $Z = -1,064$ ;  $p = 0,288$ ). Es konnte somit nicht beobachtet werden, dass Probanden, die mit der reduzierten Darstellung navigierten, die Textanweisung häufiger lesen als Karten-Nutzer, um die „fehlende“ Information auszugleichen.

Der Pfeil wurde insgesamt wenig betrachtet. Zudem wurden auch für dieses Element keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Blickverhalten festgestellt (Fixationsdauer:  $Z = -0,096$ ;  $p = 0,923$ ; Fixationshäufigkeit:  $Z = -0,042$ ;  $p = 0,966$ ; Revisits:  $Z = -0,277$ ;  $p = 0,782$ ). Die sehr kurze Betrachtungszeit des Pfeiles kann unter anderem damit erklärt werden, dass dieses Element sehr abstrahiert ist und die damit verbundene Information schnell wahrgenommen werden kann. Betrachtet man die Antworten der Probanden bezüglich der Nützlichkeit dieses Elements, so wird dieser im Mittel mit 5,45 bewertet,

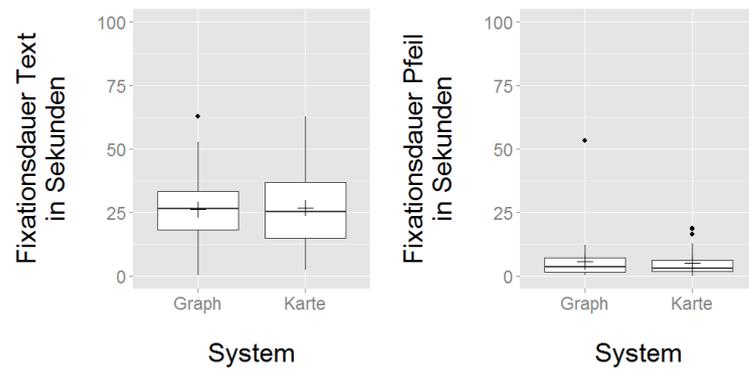


Abbildung 6.16: Fixationsdauer auf den Bildschirmbereich „Pfeil“ und „Text“.

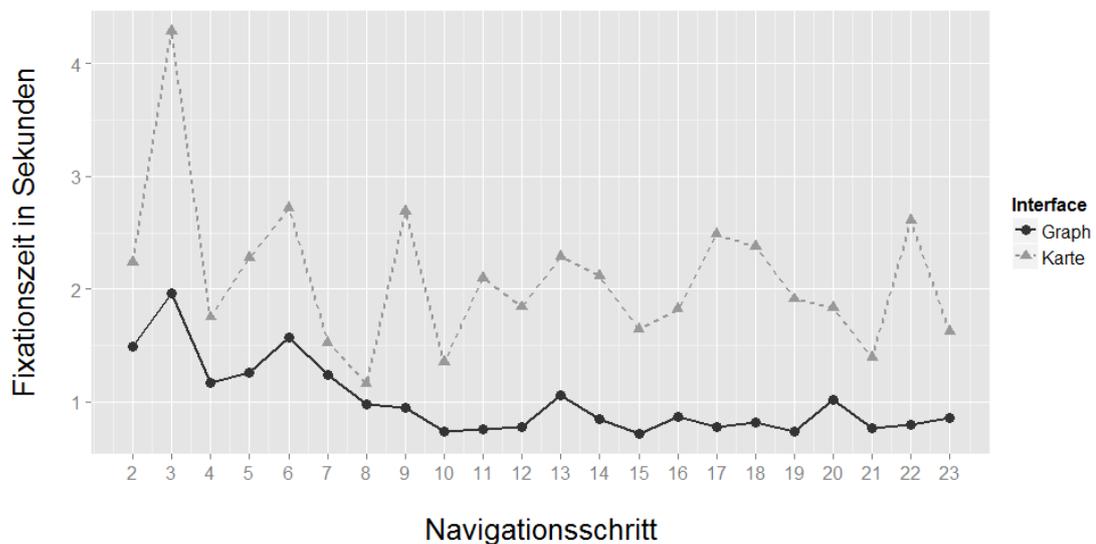


Abbildung 6.17: Fixationszeit des Kartenelements pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

bei einer maximal möglichen Ausprägung von 7 (siehe Abbildung 6.20). Das Interface-Element wird somit zwar sehr kurz fixiert, aber die Probanden halten es für hilfreich. In Abbildung 6.16 ist die Verteilung der Blicke auf den Interface-Elementen „Text“ und „Pfeil“ illustriert und gegenübergestellt. Im Vergleich zu Abbildung 6.15 (links) wird zudem deutlich, dass das Kartenelement von Graph-Nutzern etwa so lange betrachtet wird wie die Textanweisung. Karten-Nutzer hingegen richten fast doppelt soviel visuelle Aufmerksamkeit auf den Bereich, der zusätzlich die Gebäudepläne anzeigt.

Aus der obigen Analyse wird deutlich, dass der wesentliche Unterschied im Blickverhalten und insbesondere in der Betrachtung des Interfaces, durch Unterschiede der Fixationsdauer auf dem Kartenbereich des Bildschirms zu erklären ist. Aus diesem Grund wird im Folgenden für jeden Schritt die Fixationszeit auf dieses Element gesondert analysiert. Im Mittel sind die Fixationszeiten für alle Schritte hoch signifikant unterschiedlich ( $Z = -11,66$ ;  $p < 0,001$ ). Durchschnittlich betrachten Karten-Nutzer das Element 2,09 Sekunden ( $SD = 2,23$ ). Wegfinder, denen lediglich die Route sowie eine Landmarke als Navigationshilfe angezeigt wird, fixieren den Interface-Bereich nur 1,00 Sekunden ( $SD = 1,15$ ). In

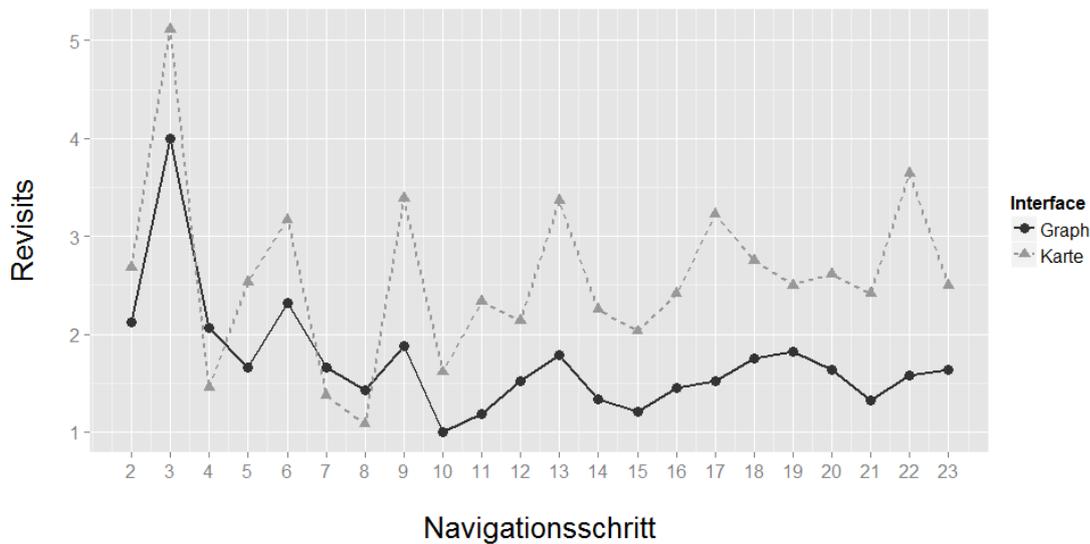


Abbildung 6.18: Anzahl der Revisits auf das Kartenelement pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

Abbildung 6.17 ist deutlich zu sehen, dass die Fixationszeiten der Karten-Nutzer für jeden Schritt über der Betrachtungsdauer der anderen Wegfinder-Gruppe liegen. Insbesondere bei Schritt 3, der bei Karten-Nutzern zu einem häufigen „Verlaufen“ geführt hat (siehe Kapitel 6.7.1), liegt die Fixationszeit viel höher. Betrachtet man die Schritte einzeln, können für alle bis auf fünf Schritte signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bezüglich der nicht signifikanten Schritte 2, 4 und 7 ist zu beobachten, dass hier sehr einfache Situationen mit einem Branching-Faktor = 2 vorliegen und die Anweisungen immer lauten „Gehen Sie geradeaus durch die Tür“. In dieser sehr einfachen Situation ist kein Unterschied zwischen den Interfaces festzustellen. Die weiteren nicht signifikanten Schritte 8 und 20 sind zwar von der Routen-Komplexität etwas anspruchsvoller (Branching-Faktor = 4), jedoch ist die Landmarke in unmittelbarer Umgebung der Nutzer verortet und damit sofort sichtbar. Zudem beinhalten alle nicht signifikanten Schritte eine Tür als Landmarke, die sehr auffällig ist. Relativ einfache Situationen zeigen somit keinen signifikanten Unterschied im Blickverhalten auf dem Bildschirmbereich „Karte“.

Für die Revisits auf dem Karten-Bereich wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt.<sup>5</sup> Der Unterschied für alle Schritte ist hoch signifikant ( $Z = -6,93$ ;  $p < 0,001$ ). Im Durchschnitt kehren Karten-Nutzer 2,58 Mal auf das Element zurück ( $SD = 2,63$ ), wohingegen Wegfinder mit der Graph-Visualisierung 1,71 Mal wieder auf das Element blicken ( $SD = 1,93$ ). Jedoch zeigt Abbildung 6.18, dass dies erst in späteren Phasen der Navigation der Fall ist. Bei einer schrittweisen Betrachtung der Daten zeigt sich, dass lediglich die Schritte 9, 11, 13, 16, 17, 18 sowie 21 signifikant unterschiedlich sind. Zu Beginn der Navigation kehren die Graph-Nutzer noch relativ häufig auf das Kartenelement zurück, nachdem sie es verlassen haben (jedoch nicht signifikant häufiger als Karten-Nutzer). Nach dieser „Eingewöhnungsphase“ sinkt die durchschnittliche Revisit-Zahl unter zwei. Die Nutzer benötigen somit keine bestätigenden Blicke auf das schematische Kartenelement mehr,

<sup>5</sup>Auf eine Analyse der Fixationshäufigkeit wird hier aufgrund der sehr starken Korrelation mit der Blickdauer ( $r_s = 0,98$ ;  $p < 0,001$ , getestet nach Spearman) nicht mehr im Detail eingegangen.

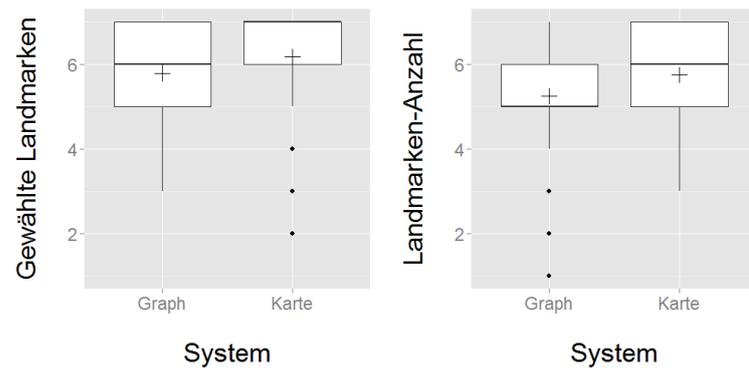


Abbildung 6.19: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der Landmarken.

um sich zu orientieren.

Die Analyse der Blickdaten der Probanden zeigt eindeutig, dass die Nullhypothese für die Betrachtung des Interfaces und insbesondere des Elements, das die Karte zur Anzeige bringt, verworfen werden kann. Jedoch ist anhand dieser Daten nicht klar, welches subjektive Empfinden die Nutzer während der Navigation erfahren und insbesondere welche Interface-Elemente sie als bei der Orientierung hilfreich erachten. Aus diesem Grund wurde in diesem Experiment zusätzlich ein Fragebogen herangezogen, der diese Variablen messen soll. Die Ergebnisse werden im Folgenden berichtet.

### 6.7.3 Fragebogendaten

Der Fragebogen enthielt Items, die die Nützlichkeit der gewählten Landmarken adressierten. In diesem Zusammenhang wurde zum einen gefragt, ob die gewählten Objekte hilfreich bei der Orientierung waren und zudem, ob diese in ausreichender Menge angezeigt wurden. Zwischen den Interface-Varianten gab es bezüglich der Beantwortung dieser zwei Fragen keine signifikanten Unterschiede („ausreichend Landmarken“:  $Z = -1,74$ ;  $p = 0,083$ ; „Landmarken hilfreich“:  $Z = -1,47$ ;  $p = 0,143$ ). Die Ergebnisse sind in Abbildung 6.19 visualisiert. Alle Fragebogen-Items wurden auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala gemessen. Höhere Werte spiegeln eine höhere Zufriedenheit wider. Es ist ersichtlich, dass die Nutzer mit den angezeigten Landmarken eher zufrieden waren. Drei Karten-Nutzer bewerteten die gewählten Objekte eher negativ, was an den Ausreißern im Boxplot zu erkennen ist. Der Proband mit der schlechtesten Bewertung (zwei von sieben) hatte sich bei Schritt 3 an den Säulen verlaufen (siehe Kapitel 6.7.1), was seine negative Einstellung gegenüber den gewählten Objekten erklären kann. Auch hinsichtlich der Landmarken-Anzahl waren die Teilnehmer mehrheitlich zufrieden. Vier Graph-Nutzer wünschten sich mehr Landmarken, zwei davon hatten sich bei Schritt 5 verlaufen. Hinsichtlich der Landmarken-Anzahl besteht somit noch Untersuchungsbedarf. Diese Frage wird in Kapitel 7 adressiert.

Darüber hinaus wurden geschlossene Fragen gestellt, die eine Einschätzung der Nützlichkeit der verschiedenen Interface-Bereiche abfragten. Für keines der Elemente wurden signifikante Unterschiede zwischen den Karten-Varianten festgestellt (Pfeil:  $Z = -0,501$ ;  $p = 0,617$ ; Text:  $Z = -0,272$ ;  $p = 0,786$ ; Karte:  $Z = -1,79$ ;  $p = 0,073$ ). Für das Element, das

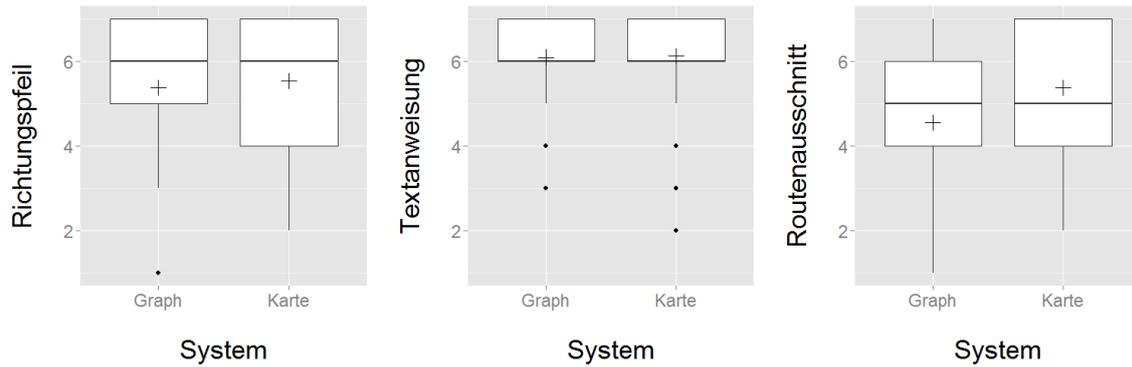


Abbildung 6.20: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der unterschiedlichen Interface-Bereiche.

den Routenausschnitt beziehungsweise die Karten-Variationen darstellt, ist lediglich eine leichte Tendenz zu beobachten: Die Graph-Nutzer sind etwas unzufriedener, jedoch erachten mehr als die Hälfte dieses Element als hilfreich bei der Orientierung (mit Werten  $\geq 5$ ). Auch manche Wegfinder, die mithilfe der Gebäudepläne navigierten, sind eher unzufrieden mit der Kartendarstellung. In Abbildung 6.20 (mittig) ist zudem zu sehen, dass die Textanweisung von fast allen Teilnehmern als sehr hilfreich empfunden wurde. Bezüglich des Richtungspfeils sind die Meinungen etwas heterogener, jedoch sind mehr als die Hälfte der Probanden sehr zufrieden mit diesem Element, obwohl es während der Aufgabe kaum betrachtet wurde (siehe Abbildung 6.16, rechts).

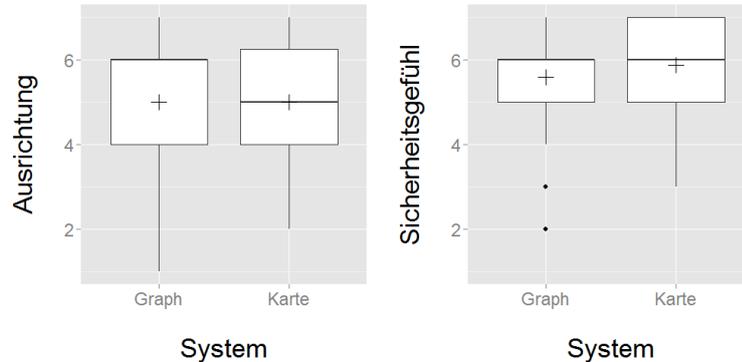


Abbildung 6.21: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der Ausrichtung der Karte und des Sicherheitsgefühls beim Navigieren.

Weiterhin wurde erfragt, wie hilfreich die automatische Ausrichtung der Karte war. Auch hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interfaces festgestellt ( $Z = -0,104$ ;  $p = 0,917$ ). Die Werte streuen zudem, wie bei der Einschätzung der Nützlichkeit des Kartenelements, relativ stark (siehe Abbildung 6.21, links).

Als letztes mussten die Probanden angeben, wie (selbst-)sicher sie sich während der Wegfindung gefühlt haben. Insgesamt fiel auch diese Bewertung mit einem Median von sechs in beiden Gruppen sehr hoch aus, wobei wieder keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt wurden ( $Z = -0,769$ ;  $p = 0,442$ ). Auffällig ist, dass drei der Graph-Nutzer, die mit der Anzahl der dargestellten Landmarken unzufrieden waren,

	Anweisungen	Route	„Karte“	Text	Pfeil	Landmarken
Karte	5	4	15	4	5	16
Graph	10	4	4	1	3	12

Tabelle 6.5: Anzahl positiver Äußerungen in den Freitextfragen bezüglich einzelner Interface-Elemente.

auch bei dieser Frage deutlich schlechtere Werte vergeben.

Neben den geschlossenen Fragen enthielt der Fragebogen offene Items, um positive und negative Erlebnisse und Empfindungen während der Navigation zu erfassen, die nicht durch die oben beschriebenen Items abgefangen wurden. Hierzu wurde eine selektive Codierung mit vordefinierten Codes vorgenommen, wobei nur Daten annotiert wurden, die sich auf das Interface, die Anweisungen im Allgemeinen oder die Landmarken bezogen. Manche Nutzer äußerten beispielsweise, dass der Eye-Tracker „unbequem“ sei. Derartige Aussagen wurden nicht annotiert.

Positiv gegenüber den Anweisungen im Allgemeinen, das heißt, ohne auf ein spezifisches Element der Navigation einzugehen, äußerten sich zehn Graph-Nutzer und fünf Navigierende, die zusätzlich Gebäudepläne zur Wegfindung heranziehen konnten (siehe Tabelle 6.5). Die Darstellung der Route, also die des eingezeichneten Wegs, neben oder auf dem eine Landmarke durch ein Icon referenziert wurde, wurde von je vier Probanden explizit als hilfreich genannt. Besonders auffällig ist bei diesen Ergebnissen, dass vier Graph-Nutzer die Kartendarstellung als hilfreich erachten, obwohl in diesem Bereich nur eine sehr reduzierte Menge an Informationen angezeigt wird. Diese wird in den Antworten auch als „Karte“ bezeichnet. 15 Probanden, die zusätzlich die Gebäudepläne verwendeten, notierten, dass ihnen diese bei der Orientierung geholfen haben. Trotz der Beobachtung, dass Karten-Nutzer weniger effizient bei der Wegfindung sind und das Interface dieser Gruppe viel visuelle Aufmerksamkeit bindet, sind die Probanden gegenüber diesem Element insgesamt sehr positiv eingestellt. Ein Karten-Nutzer äußerte sich jedoch negativ gegenüber dieser Darstellung (Proband P9.6): *„Die Karte enthielt meiner Meinung nach zu viele Details, was meiner Meinung nach vom eigentlichen Weg ablenkt.“* Neben der Nützlichkeit von Elementen wurde auch codiert, ob sich Personen weitere Elemente wünschen. Da Karten eine der verbreitetsten Formen der Wegfindungshilfe darstellen (siehe z. B.: Kray et al., 2003, S. 118 ff.), wäre anzunehmen, dass die Graph-Nutzer diese „vermissen“. Es zeigte sich aber, dass lediglich drei dieser Teilnehmer äußerten, dass sie sich eine Karte gewünscht hätten.

Obwohl die Textanweisungen in den geschlossenen Fragen als sehr nützlich bewertet wurden, notierten insgesamt nur fünf Personen innerhalb der offenen Fragen, dass diese besonders geholfen haben. Den Pfeil, der nur sehr wenig betrachtet wurde, erachteten acht Nutzer als hilfreich. Dies spiegelt auch die vermehrt positiven Antworten in den geschlossenen Fragen bezüglich dieses Elements wider.

Am häufigsten werden Landmarken als bei der Orientierung dienlich eingeschätzt (insgesamt 28 Nennungen). Dies zeigt, dass Landmarken auch im Innenraum eine große Orientierungshilfe sind. Jedoch wird auch oft darauf hingewiesen, dass der Bezug auf die auffälligen Objekte verwirrend sein kann. Dies notierten acht Graph- und elf Karten-Anwender. In diesem Zusammenhang sind Äußerungen häufig, dass Stockwerkswech-

sel, die über mehrere Ebenen gehen (zum Beispiel Schritt 14 und 15), schwer zu verstehen sind. Die Zwischengeschosse werden (wie in Experiment eins) nicht als ein Entscheidungspunkt wahrgenommen. Weiterhin wird auch auf die Situation von Schritt 3 Bezug genommen, die zu einer Häufung des „Verlaufens“ der Karten-Nutzer führte. Hierbei wird angemerkt, dass nicht klar sei, welche Säulen gemeint sind (siehe Kapitel 6.7.1). Der Punkt, der am häufigsten zu einem „Verlaufen“ geführt hat, wurde auch in den Freitextäußerungen adressiert: Das „Bibliothekproblem“, bei dem unklar ist, in welche Richtung man nach einer Treppe weiterlaufen muss, sprachen zehn Nutzer explizit an (siehe Abbildung 6.11, links). Nur eine Person äußerte, dass sie sich mehr Landmarken wünscht. Dieser Proband navigierte mit dem Graph-Interface und beantwortete bereits die geschlossenen Fragen zur Landmarken-Anzahl und zum Sicherheitsgefühl bei der Wegfindung auffällig negativ (Proband P1.1).

## 6.8 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Experiment wurden die Probleme bezüglich des Experiment- und Interface-Designs des ersten Experiments gelöst (siehe Kapitel 5.8). Dies führte unter anderem zu einer grundlegenden Überarbeitung der Prototypen. Es wurde wieder die Forschungsfrage adressiert, ob eine Visualisierung, die nur die minimale Information, die zur Wegfindung notwendig ist, anzeigt, eine effiziente Navigationshilfe darstellt. Dabei wurde eine Variante, die lediglich die Route abbildet und auf eine Landmarke Bezug nimmt, mit einem Interface, das zusätzlich Gebäudepläne anzeigt, verglichen.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass ein abstrahiertes Interface bezüglich der Navigationszeit zu einer effizienteren Wegfindung führt. Weiterhin wird deutlich weniger visuelle Aufmerksamkeit vom Interface gebunden, sodass die Wegfinder mit der Kartendarstellung signifikant mehr Zeit damit verbringen, den Bildschirm zu betrachten bei gleichzeitig weniger effizienter Wegfindung. Dieser Unterschied im Blickverhalten ist eindeutig durch das Interface-Element zu erklären, das die unterschiedlichen Kartendarstellungen enthält. Bezüglich der Textanweisungen und einer abstrahierten Pfeil-Darstellung, die zusätzlich angezeigt wurden, wurden keine Unterschiede in der Betrachtung festgestellt. Diese Erkenntnisse reichen über die von Experiment eins hinaus, da durch den geänderten Testaufbau Blicke auf unterschiedliche Bildschirm-Bereiche analysiert werden konnten.

Bezüglich der Fehler bei der Wegfindung, also des Einschlagens eines falschen Wegs, wurde festgestellt, dass diese nur bedingt von der Interface-Variante abhängen. Am häufigsten verlaufen sich die Probanden aufgrund einer ambigen Textanweisung. Die Formulierung von Textanweisungen ist eine komplexe wissenschaftliche Herausforderung und wird beispielsweise in der Dissertation von Rehl (2011) oder in Klippel, Wallgrün, Yang und Sparks (2015) vertieft adressiert. Diese Forschungsfrage ist jedoch nicht Teil meiner Arbeit und sollte in weiteren Studien vermehrt untersucht werden.

Weiterhin treten wie in Experiment eins Fehler auf, wenn die Situation mehrere gleichartige Landmarken enthält, wie beispielsweise Türen oder Säulen. In diesen Phasen haben die Wegfinder Probleme, sich zu orientieren. Karten-Nutzer können solche Szenen, in denen die Richtung gewechselt werden muss, besser auflösen. Sie haben aber Probleme, wenn mehrere gleichartige Landmarken entlang des Weges positioniert sind und eine

nicht komplexe Situation mit einem Branching-Faktor = 2, also keiner Möglichkeit den Weg zu verlassen, auftritt. Diese Situation scheint die Probanden zu verwirren und sie sind sich bezüglich des weiteren Verlaufs der Route unsicher.

Das Problem, dass insbesondere am Anfang der Aufgabe Fehler auftreten, konnte durch eine Darstellung eines größeren Ausschnitts der Umgebung gelöst werden. Jedoch ist dieser Routenabschnitt immer noch kritisch: Alle Nutzer kehren in dieser Phase mit ihrem Blick relativ häufig auf das Kartenelement zurück, vermutlich, um sich zu versichern, dass sie noch auf dem richtigen Weg sind.

Darüber hinaus wurden in diesem Experiment subjektive Zufriedenheitsmaße mit einem Fragebogen erhoben. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interface-Varianten, deuten jedoch darauf hin, dass Nutzer, die mit dem abstrahierten Interface navigieren, etwas unzufriedener mit der Kartendarstellung sind. Zudem äußern sich viele Karten-Nutzer positiv gegenüber dieser Darstellungsart.

Insgesamt ist zu sagen, dass reduzierte Interfaces eine effizientere Wegfindungshilfe darstellen. Die Gebäudepläne enthalten zu viele irrelevante Elemente und sollten deutlich weniger Information anzeigen. Aus diesem Grund wurde die Visualisierung der Karten überarbeitet und eine weitere Nutzerstudie durchgeführt. Diese ist in Kapitel 8 beschrieben. Im Allgemeinen scheint es empfehlenswert, den Nutzern zumindest auf Wunsch eine Karte bereitstellen zu können, insbesondere wenn ein Entscheidungspunkt mit vielen gleichartigen Landmarken auftritt. Bezüglich der Komplexität des Entscheidungspunktes, also dem Branching-Faktor der Situation, konnte kaum ein Zusammenhang festgestellt werden. Lediglich wenn die Situation sehr einfach ist, das heißt, keine Möglichkeit besteht, den Weg zu verlassen, kann bezüglich der Betrachtungshäufigkeit des Interfaces kein Unterschied zwischen den Karten-Nutzern und den Nutzern der abstrahierten Darstellung beobachtet werden. In diesen Situationen scheinen die Karten-Nutzer nicht wesentlich vom Interface „abgelenkt“ zu sein.

Die gewählten auffälligen Objekte wurden als sehr hilfreich erachtet und die Nutzer äußerten sich positiv gegenüber dieser Wegfindungshilfe, außer bezüglich Situationen, in denen häufig Fehler aufgetreten sind. Dies zeigt, dass Landmarken auch im Innenbereich sehr hilfreich sind und die gewählten Objekte, die auf den Analysen der Vorstudie basieren, geeignet sind. Bezüglich der Anzahl der dargestellten Landmarken sind sich die Probanden nicht ganz einig. Eine Analyse, die eine Darstellung von unterschiedlich vielen Landmarken adressiert, ist im folgenden Kapitel beschrieben.

Das in diesem Kapitel beschriebene Experiment wurde auf einem Tablet durchgeführt, um Blicke auf unterschiedliche Interface-Bereiche analysieren zu können. Dies ist jedoch auch eine Einschränkung dieser Studie, da es eher unüblich ist, mit einem so großen Gerät zu navigieren. Da sich jedoch die Erkenntnisse mit denen von Experiment eins decken (hier wurde ein Smartphone zur Wegfindung verwendet), gehe ich nicht davon aus, dass dieses Experiment-Artefakt einen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Es ist jedoch zu beobachten, dass etwa 60 % der visuellen Aufmerksamkeit der Karten-Nutzer und 50 % der Wegfinder mit der abstrahierten Darstellung vom Interface gebunden ist. Dieser Wert nahm im Vergleich zu Experiment eins deutlich zu.



# Anzahl dargestellter Landmarken

## 7.1 Motivation

In den bereits beschriebenen Experimenten hat sich deutlich gezeigt, dass ein sehr detailliertes Kartenmaterial die Effizienz der Orientierung im Innenbereich einschränkt und einen Großteil der visuellen Aufmerksamkeit bindet.<sup>1</sup> In diesen Studien wurde immer auf eine Landmarke Bezug genommen, die den Wegfindern bei der Orientierung helfen sollte. Es zeigte sich jedoch, dass sich manche Probanden mehr Landmarken wünschen (siehe Kapitel 6.7.3). Es ist eine ungeklärte Frage, ob die Referenzierung lediglich einer Landmarke die Wegfindung effizienter unterstützt als die Darstellung mehrerer auffälliger Objekte. In verwandten Studien ist die Anzeige von Landmarken entweder nicht Forschungsschwerpunkt (siehe z. B.: Hermann et al., 2003) oder diese Objekte werden nur implizit referenziert, beispielsweise durch die Darstellung von sehr detaillierten Karten mit Icons, die Toiletten und Ähnliches referenzieren (Bouwer et al., 2012). Weiterhin werden häufig alle zur Verfügung stehenden Landmarken angezeigt (Basiri, Amirian, Winstanley, Marsh et al., 2016) oder auf eine undefinierte Anzahl von Objekten verwiesen (Rehrl, Göll et al., 2007) (siehe hierzu auch Kapitel 3.2). Basierend auf diesen Beobachtungen wird in der nachfolgend beschriebenen Studie untersucht, ob es einen Unterschied bezüglich der Unterstützung der Wegfindung zwischen einem Interface, das nur eine Landmarke referenziert, und einer Darstellung, die zusätzliche Landmarken visualisiert, gibt. Dabei wurde die Anzahl an zusätzlichen Objekten auf die maximal in einer Szene zur Verfügung stehenden fixiert. Für die gewählte Testroute beträgt diese Anzahl vier.

Für dieses Experiment wurde eine andere Testroute gewählt als in Experiment eins und zwei. Diese und die dazugehörige Auswahl der Landmarken wird im Folgenden als erstes beschrieben. Daraufhin wird auf das Testmaterial und die Stichprobe eingegangen.

<sup>1</sup>Das Experiment, das in Kapitel 5 beschrieben ist, wird im Folgenden weiterhin als „Experiment eins“ bezeichnet. Die Studie aus Kapitel 6 wird als „Experiment zwei“ referenziert.

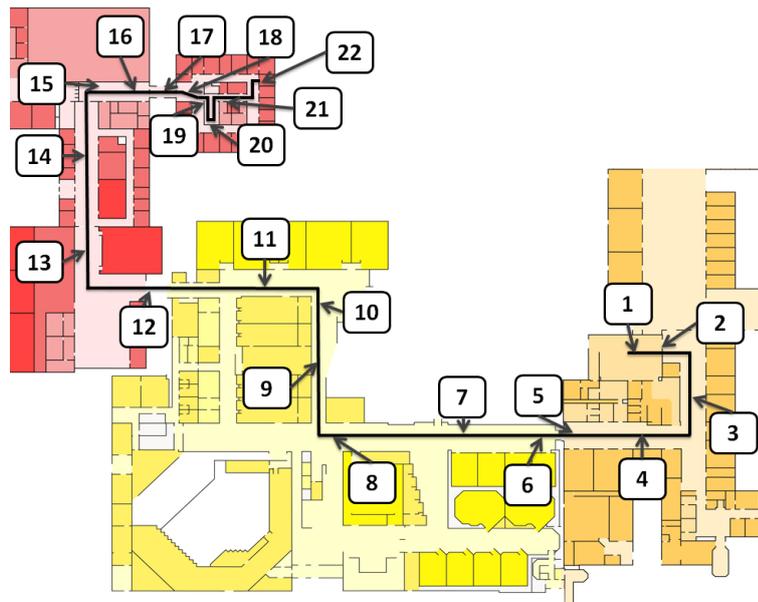


Abbildung 7.1: Testroute mit vermerkter Schrittnummer. Die Pfeile zeigen an, wo die Testperson stand, als sie die Navigationsanweisung erhielt.

Nach einer Erläuterung der Durchführung des Experiments sowie der Annotation der Eye-Tracking-Daten werden die Ergebnisse dargestellt, wobei der Untersuchungsschwerpunkt wieder auf dem Blickverhalten der Nutzer während der Wegfindung liegt. Schließlich werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert.

Die Analyse dieser Studie bezüglich der Zeit, die benötigt wird, die Navigationsanweisung zu verstehen, ist in Bauer, Müller und Ludwig (2016) veröffentlicht.

## 7.2 Testumgebung und Landmarkenauswahl

Im Vergleich zu Experiment eins und zwei wurde die Testroute für diesen Versuch geändert, um die Ergebnisse meiner Experimente nicht zu sehr von der Auswahl nur einer Route abhängig zu machen. Jedoch weist die neu gewählte Route eine sehr ähnliche Komplexität auf. Sie ist etwa 375 Meter lang (vorher 366 Meter) und führt durch drei Gebäudeteile der Universität (siehe Abbildung 7.1). Somit ist die Route wieder deutlich länger oder ungefähr gleich lang, wie Teststrecken in vergleichbaren Studien im Innenbereich (siehe Kapitel 3.4). Die Gebäudenamen sind „Philosophie-Theologie“, „zentrales Hörsaalgebäude“ sowie „Wirtschaft und Recht“. Diese sind in der Abbildung farblich unterschiedlich dargestellt. Die Route verläuft nur im Innenbereich. Gebäudewechsel sind für Wegfinder zumeist nicht erkennbar, da hier keine eindeutige räumliche Barriere überwunden werden muss und sich das Erscheinungsbild der Gebäude nur marginal ändert (zum Beispiel durch eine andere Farbe der offiziellen Aushänge). Der Anfang der Testroute ist durch breite Gänge charakterisiert, wohingegen im zweiten Gebäude deutlich mehr große Freiflächen durchschritten werden müssen, die zudem die Möglichkeit bieten, in viele Richtungen abzuzweigen. Das Ende der Teststrecke führt in ein kleineres Bürogebäude, in dem schmale Gänge mit einem sehr gleichförmigen Aufbau dominieren. Insgesamt muss neun Mal die Richtung und drei Mal ein Stockwerk gewechselt werden,



Abbildung 7.2: Beispielhafte Navigationsszenen mit mehr als zwei Möglichkeiten, den Weg fortzusetzen. Die Pfeile zeigen die vorgesehene Richtung an. Die Kreise illustrieren die Anweisungsnummer.

um ans Ziel zu gelangen.

Da für diese neue Testroute keine Landmarken aus der Vorstudie zur Verfügung standen, wurde ein neues Set an auffälligen Objekten generiert. Das Vorgehen ist nachfolgend beschrieben.

Zunächst wurden – wie in Experiment eins – Punkte identifiziert, an denen eine Anweisung notwendig ist. Diese bestehen zum einen aus potenziellen und „echten“ Entscheidungspunkten, also allen Szenen, in denen mehr als eine Möglichkeit besteht, den Weg fortzusetzen. Dies umfasst 14 der Schritte in Abbildung 7.1. Bei den Schritten 4, 5, 13, 16, 17 und 21 musste nach einem Entscheidungspunkt eine räumliche Barriere überwunden werden (sechs Mal eine Tür und ein Mal Stufen, die keinen Stockwerkswechsel beinhalteten). Aus diesem Grund wurde auch für diese Punkte eine Anweisung formuliert, sodass für diese Szenen eine Erhebung von (zusätzlichen) Landmarken notwendig war. Der letzte definierte Schritt (neben der obligatorischen Anweisung für den Start und das Ende der Strecke) war Schritt 6. Hier wurde nach einer bestätigenden Anweisung gesucht, da der nächste Entscheidungspunkt über 50 Meter entfernt lag. Die durchschnittliche Abschnittslänge in Experiment zwei hingegen betrug lediglich etwa 16 Meter. Eine Übersicht der Entscheidungspunkte, die mehr als zwei Möglichkeiten bieten, den Weg fortzuführen, ist in Abbildung 7.2 dargestellt.

Als erster Schritt zur Landmarkenbestimmung wurden von mir basierend auf den Ergebnissen der Vorstudie für jede Szene Landmarken bestimmt. Die Vorauswahl an Objekten besteht somit hauptsächlich aus Türen und Treppen. Es wurden aber auch Hörsäle, Toiletten und vereinzelt Plakatwände und Möbelstücke herangezogen, falls sonst keine Objekte in der Umgebung verfügbar waren. Es wurden nur Objekte gewählt, von denen ich ausgegangen bin, dass sie potenziell als Landmarke geeignet sind. Eine Übersicht der Auswahl ist in Tabelle 7.1 gegeben. Es ist in diesem Zusammenhang möglich, dass ein Objekt für zwei aufeinanderfolgende Schritte ausgewählt wurde, da es eine größere räum-

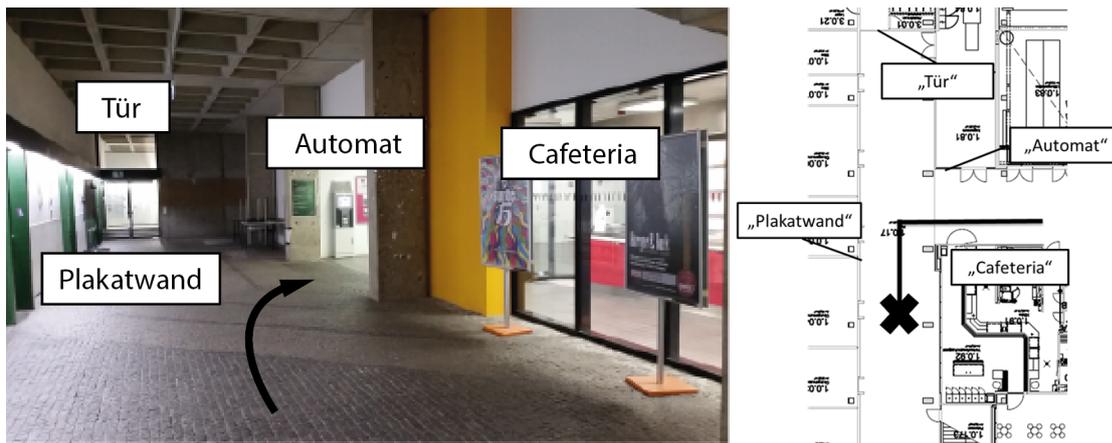


Abbildung 7.3: Beispielszene der Landmarken-Bewertung und dazugehöriges abgebildetes Karten-Fragment auf dem Fragebogen.

liche Ausdehnung hat (wie beispielsweise der Hörsaal „H11“ in Schritt 12 und 13). In Szene 16 existieren nicht mehr als vier Objekte. Demzufolge wurde die Anzahl an Landmarken auf vier für jeden Schritt fixiert, da bei einer variierenden Anzahl zwischen den Schritten eine Vergleichbarkeit nicht mehr gewährleistet wäre. Als nächstes wurde diese Vorauswahl an Objekten bezüglich ihrer Auffälligkeit von Probanden bewertet. An der Bewertung nahmen 87 Personen teil (44 Männer), davon waren 74 Studierende. Dies spiegelt sich auch im Durchschnittsalter von 23,12 (SD= 4,46) wider. Die Bewertungen wurden im Rahmen eines Seminars erhoben. Die Erhebung der Auffälligkeit erfolgte mittels eines Fragebogens, der für jedes potenzielle Objekt anhand von drei Fragen nach Kattenbeck (2016) die Salienz bestimmt. Die Fragen lauten:

- Wie stark zieht dieses Objekt Ihre Aufmerksamkeit auf sich?
- Wie gut eignet sich dieses Objekt als Bezugspunkt?
- Wie gut können Sie sich dieses Objekt einprägen?

Zudem wurde eine Frage bezüglich der Sichtbarkeit des Objekts hinzugefügt, um die Abhängigkeit der Eignung als Landmarke abhängig vom aktuellen Standpunkt der Nutzer zu überprüfen („Wie gut ist dieses Objekt von Ihrem aktuellen Standpunkt aus sichtbar?“). Die Items werden alle auf einer fünfwertigen Rating-Skala bewertet, bei der jede Ausprägung mit einer verbalen Charakterisierung versehen ist (gar nicht - kaum - mittelmäßig - ziemlich - sehr). Zur Verdeutlichung, welches Objekt bewertet werden sollte, wurde für jede Szene ein Karten-Fragment auf dem Fragebogen abgedruckt, das die Position der Objekte verdeutlichen sollte (siehe Abbildung 7.3 für eine beispielhafte Szene (links) und das dazugehörige Karten-Fragment (rechts)). Zudem ist auf der Karte der Standort der Nutzer sowie die potenzielle Route eingezeichnet, sodass die Bewertung immer in Abhängigkeit des Weges erfolgt. Direkt unterhalb des Fragments waren die Fragen platziert. Die Probanden wurden von einem studentischen Testleiter zu jedem der Punkte in Abbildung 7.1 geführt (außer dem Zielpunkt) und mussten dort die Fragen zu jedem der vier Objekte beantworten. Falls nicht klar war, welches Objekt gemeint war, wurde Hilfestellung geleistet. Die Probanden mussten keine Navigationsaufgabe erfüllen und absolvierten die Route alle in der gleichen Reihenfolge, die auch für das Hauptexperiment

S	Hauptlandmarke	Zusätzlich 1	Zusätzlich 2	Zusätzlich 3
1	> 3,68 (Tür)	4,29 (Cafeteria)	3,42 (Treppe)	2,28 (Tür)
2	4,36 (Treppe)	3,61 (Cafeteria)	3,43 (Tür)	2,54 (Mülleimer)
3	4,16 (Cafeteria)	3,60 (Automat)	3,00 (Tür)	2,20 (Plakate)
4	3,44 (Tür)	3,03 (CIP-Pool)	2,78 (Toiletten)	1,80 (Plakate)
5	3,32 (Tür)	3,30 (CIP-Pool)	2,85 (Tür)	2,18 (Flyerhalter)
6	> 3,03 („ZH3“)	4,14 (Plakate)	2,69 („ZH4“)	2,33 („ZH2“)
7	3,74 (Tür)	3,36 (Plakate)	2,90 („ZH1“)	2,76 (Treppe)
8	> 1,70 (Treppe)	3,86 (Wegweiser)	3,07 („H10“)	2,16 (Treppe)
9	3,88 (Treppe)	3,55 („H4“)	3,30 (Tür)	2,72 („H3“)
10	3,59 („H6“)	3,47 (Tür)	3,49 („H5“)	2,49 („H7“)
11	3,41 („H9“)	3,12 (Bänke)	2,86 („H8“)	2,44 (Toiletten)
12	3,96 (Treppe)	3,85 (Spinde)	1,55 (Toiletten)	1,55 („H11“)
13	3,67 (Tür)	3,61 (Spinde)	3,47 („H11“)	2,74 („H12“)
14	> 3,31 (Tür)	3,55 (Tür)	3,44 (Spinde)	3,42 („H12“)
15	3,70 (Tür)	3,34 (Spinde)	2,44 (Toiletten)	2,37 (Plakate)
16	3,63 (Tür)	3,37 (Tür)	3,24 (Tür)	2,80 (Tür)
17	4,14 (Treppe)	3,57 (Tür)	3,01 (Karte)	1,82 (Bank)
18	3,86 (Tür)	3,17 (Tür)	2,74 (Aufzug)	2,16 (Treppe)
19	4,02 (Treppe)	4,02 (Aufzug)	3,52 (Tür)	2,79 (Tür)
20	> 3,34 (Tür)	4,23 (Aufzug)	3,28 (Tür)	2,92 (Karte)
21	3,77 (Tür)	2,49 (Tür)	2,31 (Toiletten)	1,94 (Kopierraum)

Tabelle 7.1: Salienz-Bewertungen der Landmarken-Vorauswahl (S = Schrittnummer). Objekte in Anführungszeichen sind Raumbenennungen. Sollte die „Hauptlandmarke“ in der Szene weniger salient bewertet worden sein als eine der weiteren Landmarken, ist dies mit einem „>“ gekennzeichnet.

vorgesehen war. Durch dieses Vorgehen konnten für alle Objekte Bewertungen erhoben werden. Zunächst wurden die Fragen zur Salienz für jeden Probanden gemittelt. Daraufhin wurde für jedes der Objekte die durchschnittliche Auffälligkeit berechnet. In Tabelle 7.1 sind diese Werte zusammengefasst. Als „Hauptlandmarke“, also als Objekt, das im Interface, das lediglich eine Landmarke anzeigt, dargestellt wird, wurde das Objekt mit der höchsten durchschnittlichen Bewertung herangezogen. Die anderen Objekte dienten somit als zusätzliche Orientierungshilfe. Bei den Schritten 1, 8, 14 und 20 wurde dieses Muster durchbrochen. In diesen Situationen mussten Objekte „verwendet“ werden (Treppen und Türen). Da diese Objekte demnach zwingend referenziert werden mussten, wurden diese als „Hauptlandmarke“ bestimmt. Eine weitere Ausnahme bildet Schritt 6: Nur in dieser Szene wurde ein Objekt des Typs „Information“ (Plakate) auffälliger bewertet als ein Objekt des Typs „Funktion“ (Hörsaal „ZH3“), das zudem nicht „verwendet“ werden musste (siehe zur Einteilung der Objekte in Kategorien Kapitel 4). Da diese Plakate jedoch potenziell nicht dauerhaft Teil der Umgebung bleiben, habe ich mich entschieden, diese nicht als „Hauptlandmarke“ zu bestimmen.

Insgesamt sind sowohl Objekte in der Stichprobe, die als eher unauffällig eingestuft werden (Minimum 1,55 auf einer Skala von 1 bis 5), als auch sehr auffällige Objekte (Maxi-

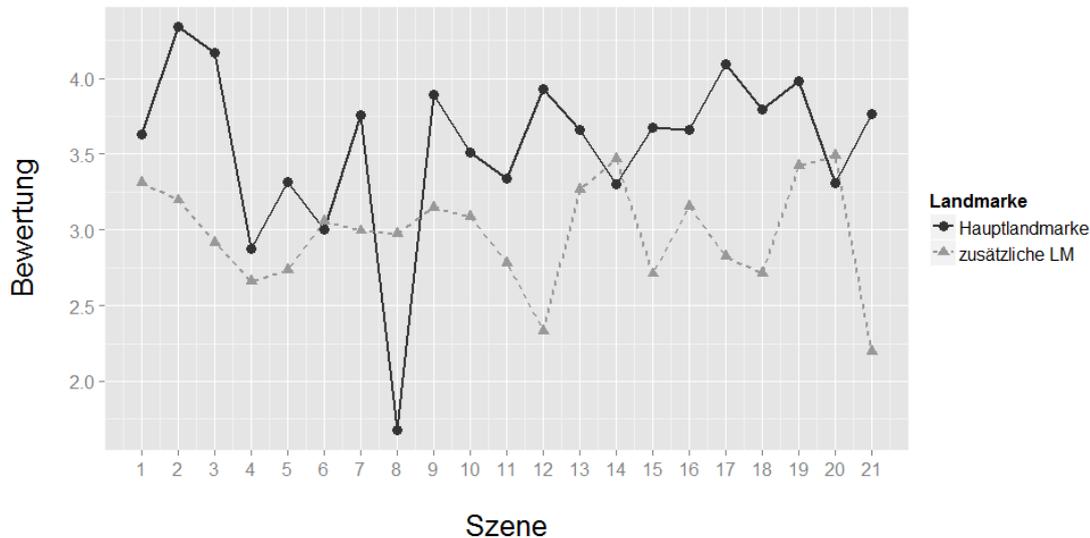


Abbildung 7.4: Durchschnittliche Salienz-Bewertung der Landmarken, aufgeteilt nach Schritten.

zum 4,36). Durchschnittlich sind die Objekte mit 3,14 bewertet ( $SD = 0,678$ , Median = 3,31), also nur leicht über dem theoretischen Mittel von 2,50. Die „Hauptlandmarke“ wurde im Durchschnitt mit 3,55 bewertet ( $SD = 1,02$ ), die zusätzlichen Landmarken mit 2,98 ( $SD = 1,11$ ).

Die Daten zeigen auf, dass, wie bereits in der Vorstudie festgestellt, vor allem Türen und Treppen verglichen mit anderen Objekten in der Umgebung als sehr auffällig empfunden werden. Wie in Tabelle 7.1 ersichtlich sind die am besten bewerteten Landmarken neun Mal Türen und fünf Mal Treppen. Zu beachten ist bezüglich der Türen, dass bei Schritt 14 eine Tür, die nicht als „Hauptlandmarke“ gewählt wurde, am auffälligsten bewertet wurde und bei Schritt 16 lediglich Türen zur Auswahl standen. Ausnahmen sind die Schritte 1, 3, 10 und 11, bei denen öffentliche Räume die auffälligsten Objekte darstellen, die jedoch auch in die Kategorie „Funktion“ fallen, da man diese betreten kann. Bei den Schritten 6, 8 und 20 werden Informationsobjekte wie Plakate und Wegweiser sowie ein anderes funktionales Objekt („Aufzug“) als auffälliger gewertet. Bezüglich der Position ist festzustellen, dass Landmarken „auf“ und „neben“ der Route dominieren (17 der 21 salientesten Landmarken). Lediglich zwei Mal wurde an einem Entscheidungspunkt ein Objekt in Bewegungsrichtung gewählt (Schritt 2 und 3) und zwei Mal entgegen der Bewegungsrichtung (Schritt 10 und 12). Die Hauptlandmarke ist für alle Schritte außer den Schritten 6, 8, 14 und 20 im Vergleich zur durchschnittlichen Bewertung der weiteren drei Objekte signifikant salienter. Dies wurde aufgrund fehlender Normalverteilung anhand eines Mann-Whitney-U-Test für verbundene Stichproben für jeden Schritt festgestellt. Für die Schritte 8 und 20 sind die anderen Landmarken durchschnittlich auffälliger (siehe Abbildung 7.4). Dieser Unterschied ist bei Schritt 8 extrem ausgeprägt, bei Schritt 20 eher klein. Bei Schritt 8 muss eine Treppe begangen werden, die hinter einer Mauer-ecke schlecht sichtbar ist (siehe Abbildung 7.2). Bei den Schritten 6 und 14 wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Insgesamt kann bis auf die Ausnahme bei Schritt 8 beobachtet werden, dass die „Hauptlandmarke“ zumeist sehr auffällig ist.

Eine Analyse der Antworten der „Sichtbarkeitsfrage“ ergab eine hoch signifikante Korrelation mit der Bewertung der Salienz ( $r_s = 0,6$ ;  $p < 0,001$ ). Dies zeigt, dass die Probanden die Landmarken wie beabsichtigt von ihrem aktuellen Standpunkt aus bewertet haben. Insgesamt fielen die Sichtbarkeitsbewertungen eher höher als die Salienz-Bewertungen aus („Hauptlandmarke“  $M = 4,42$ ;  $SD = 1,04$ ; zusätzliche Landmarken  $M = 3,77$ ;  $SD = 1,37$ ).

Basierend auf dieser Auswahl wurde ein Interface-Design erstellt, das die unterschiedliche Anzahl an Landmarken zur Anzeige bringt. Dieses wird im Folgenden beschrieben.

## 7.3 Testmaterial

Da auch in diesem Experiment von besonderem Interesse war, welche Interface-Elemente die Probanden betrachten, wurde als Testgerät wieder ein Samsung Galaxy Tab 3 10.1 gewählt. Die Bildschirmdiagonale dieser Tablets misst 25,7 Zentimeter (10,1 Zoll). Experiment zwei hat gezeigt, dass diese Größe eine detaillierte Auswertung unterschiedlicher Bereiche ermöglicht. Weiterhin wurde zur Erhebung der Blickdaten wieder der „SMI Eye-Tracking Glasses 1“-Eye-Tracker verwendet.

### 7.3.1 Interface

Die Visualisierung der Testroute basiert wie in Experiment zwei auf einem Umgebungsmodell der Universität, in dem Objekte wie Türen, Treppen, Toiletten und Hörsäle verortet sind (Müller et al., 2014). Die (neue) Testroute wurde wieder manuell aus dem Datensatz extrahiert.<sup>2</sup> Alle „Hauptlandmarken“ waren Bestandteil des Modells. Die zusätzlichen Objekte wie „Spinde“ oder „Plakatwände“ wurden dem Modell hinzugefügt, um sie zur Anzeige bringen zu können. Es wurde die gleiche Android-Applikation wie in Experiment zwei als Basis verwendet und für die Testzwecke angepasst.

Weiterhin wurde auch der Aufbau des Interfaces beibehalten (siehe Abbildung 7.5). Rechts oben wird eine Textanweisung dargestellt, die immer auf die „Hauptlandmarke“ verweist und eine Richtungsangabe enthält. Sie ist wieder in der Standardeinstellung in Android zur Größe von Text abgebildet (14 sp). Eine Übersicht über alle Anweisungen ist in Tabelle 7.2 aufgeführt. Dort ist auch die Länge des jeweiligen Routenabschnitts und der Branching-Faktor vermerkt.

Neben der Textanweisung ist wieder ein Richtungspfeil platziert. Dieser wurde von den Nutzern in Experiment zwei zwar kaum betrachtet, aber als hilfreich eingestuft (siehe Kapitel 6.7). Er ist nach dem gleichen Schema wie in Experiment zwei entworfen, sodass ein Icon, das die „Hauptlandmarke“ symbolisiert, immer bezüglich seiner relativen Lage zur Route neben dem Pfeil angeordnet ist. Für Treppen und Türen wurde ein Icon verwendet, für Hörsäle und die Cafeteria wurde ein Kreis mit Beschriftung gewählt (siehe Abbildung 7.6).

Das wichtigste Interface-Element bildet wieder der größte Bereich in der Mitte des Bildschirms. Die Route wird wie beim „Graph“-Interface in Experiment zwei durch eine grüne Linie dargestellt und die intendierte Nutzerposition für jeden Schritt ist durch ein Icon, das ein Männchen abbildet, symbolisiert. Auf die Verwendung einer Karte wurde

<sup>2</sup>Eine automatische Berechnung der Route war nicht möglich, da die kürzeste Route über den Außenbereich führt.

S	Anweisung (Gehen Sie...)	Land- marke	zusätzliche Landmarken	BF	L
1	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	Treppe, Tür, Tür	2	15,1
2	nach der Treppe <i>rechts</i> .	Treppe	Tür, Mülleimer, Cafeteria	4	15,8
3	nach der Cafeteria <i>rechts</i> .	Cafeteria	Automat, Plakatwand, Tür	3	19,1
4	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	CIP-Pool, Plakatwand, Toiletten	2	15,2
5	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	CIP-Pool, Flyerhalter, Tür	2	10,7
6	<i>geradeaus</i> an ZH3 vorbei.	ZH3	ZH4, ZH2, Plakatwand	2	24,4
7	<i>geradeaus</i> an der Tür vorbei.	Tür	Plakatwand, ZH1, Treppe	3	27,1
8	<i>rechts</i> die Treppe <i>hinauf</i> .	Treppe	Wegweiser, H10, Treppe	4	20,2
9	<i>geradeaus</i> die Treppe <i>hinab</i> .	Treppe	H4, H3, Tür	6	25,5
10	<i>links</i> vor H6.	H6	H5, Tür, H7	3	14,5
11	<i>geradeaus</i> an H9 vorbei.	H9	H8, Bänke, Toiletten	3	33,5
12	nach der Treppe <i>rechts</i> .	Treppe	Spinde, H11, Toiletten	5	22,8
13	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	H11, H12, Spinde	2	17,3
14	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	H12, Tür, Spinde	3	37,8
15	<i>rechts</i> durch die Tür.	Tür	Spinde, Toiletten, Plakat- wand	3	19,6
16	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	Tür, Tür, Tür	2	10,3
17	<i>geradeaus</i> die Treppe <i>hinauf</i> .	Treppe	Tür, Gebäudeplan, Bank	2	4,4
18	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	Aufzug, Treppe, Tür	4	8,7
19	<i>rechts</i> die Treppe ein Stock- werk <i>hinauf</i> .	Treppe	Aufzug, Tür, Tür	4	6,5
20	<i>rechts</i> durch die Tür.	Tür	Gebäudeplan, Aufzug, Tür	3	9,5
21	<i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	Toiletten, Kopierraum, Tür	2	8,5
22	<i>links</i> . Ihr Ziel befindet sich auf der <i>rechten</i> Seite (Raum 113).	Ziel	–	3	7,2

Tabelle 7.2: Anweisungen und referenzierte Objekte bei unterschiedlicher Landmarken-Anzahl (S = Schrittnummer; BF = Branching-Faktor, also Möglichkeiten, den Weg fortzuführen, inklusive der Rückrichtung; L = Länge des Abschnitts in Metern; Richtungsangaben sind kursiv markiert).



Abbildung 7.5: Interface-Designs mit variierender Landmarken-Anzahl (links: eine Landmarke; rechts: vier Landmarken). Die Screenshots zeigen Schritt 12 der Navigation.

aufgrund der Ergebnisse der bereits durchgeführten Studien verzichtet. Zudem lenkt das sehr reduzierte Interface den Fokus auf die dargestellten Landmarken. Objekte wie Türen, die Bestandteil der Route sind, werden immer mit einem Icon dargestellt, auch wenn sie nicht in der Textanweisung referenziert sind. So kann es beispielsweise wie in Abbildung 7.5 der Fall sein, dass eine Tür, die erst im späteren Verlauf der Route sichtbar wird, bereits dargestellt wird. Alle Landmarken sind entweder durch ein Piktogramm (Treppen und Türen) oder durch einen Kreis visualisiert. In beiden Fällen ist die Benennung des Objekts unmittelbar neben der Grafik platziert. Der grundlegende Unterschied zwischen den Interface-Varianten ist die Anzahl der in diesem Bereich dargestellten Objekte. Es werden entweder nur die „Hauptlandmarke“ (siehe Abbildung 7.5, links) oder zusätzlich drei weitere Landmarken angezeigt (siehe Abbildung 7.5, rechts). Im Folgenden wird auf das Interface, das lediglich eine Landmarke anzeigt, als „1LM“-Darstellung verwiesen. Die Version, die insgesamt vier Landmarken anzeigt, wird als „4LM“ bezeichnet.

Eine „Zoom“-Funktion stand weiterhin zur Verfügung, jedoch wurde die Zoom-Stufe so fixiert, dass alle Objekte für jeden Schritt sichtbar sind, da keiner der Probanden in Experiment zwei diese Funktion nutzte.

Eine dynamische Rotation der Karte wie in Experiment zwei war für diese Teststrecke nicht mehr möglich. Dies zeigte eine mit zwei Probanden (einer je Interface-Version) durchgeführte Pre-Study. Die Ausrichtung, die auf den Inertialsensoren des Tablets beruht, führte zu unvorhersehbaren Ungenauigkeiten. Anders als in Experiment zwei blieb die Abweichung auch nicht über die gesamte Teststrecke stabil. Eine Abweichung von 90 bis 180 Grad wurde häufig beobachtet. Einer der Probanden bezeichnete dieses Verhal-

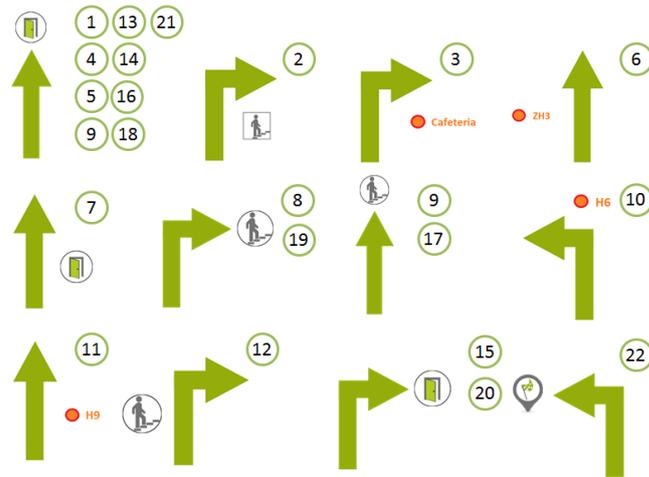


Abbildung 7.6: Überblick über die verwendeten Pfeildarstellungen mit Verweis auf den Schritt, bei dem sie zur Anzeige gekommen sind.

ten als „*furchtbar*“. Zudem wurde mit weiteren Testgeräten (Samsung Galaxy Tab 4, Samsung Galaxy S5, Nexus 4 und Nexus 7) eine ähnliche Abweichung festgestellt. Dies lag vermutlich an der baulichen Beschaffenheit des Areals, die durch viele Stahlbetonwände charakterisiert ist. Ein ähnliches Problem wurde auch von Seager und Fraser (2007) sowie Ettliger et al. (2017) dokumentiert. Aus diesem Grund wurde das Interface für jeden Schritt (ähnlich wie bei Experiment eins) in die intendierte Bewegungsrichtung der Nutzer ausgerichtet, da dies bei statischem Kartenmaterial von Wegfindern präferiert wird (siehe z. B.: Smets et al., 2008). Da wieder keine Lokalisierungskomponente zur Verfügung stand, kann dieses Interface-Design somit als Darstellung für den „worst case“ gesehen werden, falls keine verlässlichen Sensordaten zur Verfügung stehen.

Im unteren Bereich des Bildschirms sind drei Buttons platziert. Wie in allen meinen Experimenten mussten die Nutzer selbst entscheiden, wann die nächste Anweisung angezeigt wird. Dies geschieht über das Klicken des „Weiter“-Buttons. Es ist zudem möglich, auf vorhergehende Schritte zurückzukehren, indem man den Button „Zurück“ betätigt. Sollte dies geschehen, ändert sich jedoch die Anzeige des vorherigen Schrittes nicht. In diesem Experiment wird wieder (wie in Experiment eins) die Zeit, die benötigt wird, eine Anweisung zu verstehen, erhoben. Dies muss der Nutzer durch Klicken des Buttons „Erkannt“, der in der Mitte platziert ist, signalisieren. Solange der „Erkannt“-Button nicht betätigt wurde, war der „Weiter“-Button ausgegraut und ohne Funktion.

Die Richtungspfeile und Textanweisungen sind für beide Interface-Varianten nicht verändert worden. Der Fokus der Untersuchung liegt somit auf den Bereich, der die variierende Anzahl an Landmarken darstellt. Auf einen Dialog bei einem Gebäude- oder Stockwerkswechsel wie in Experiment zwei wurde in diesem Versuch verzichtet, da manche der Probanden sie in den Freitextfragen als „*überflüssig*“ und „*ungenau definiert*“ bezeichnet haben.

### 7.3.2 Fragebogen

Wie bereits in den vorherigen Experimenten (siehe Kapitel 5.3.2 und 6.3.2), wurde die Vorerfahrung bezüglich des Umgangs mit Smartphones und Fußgänger-Navigationssystem auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala von „lehne stark ab“ bis „stimme stark zu“ erhoben. Zudem wurde auch in dieser Studie eine Selbsteinschätzung des Orientierungssinns der Probanden anhand des Fragebogens zu räumlichen Strategien von Münzer und Hölscher (2011) abgefragt. Die 19 Items dieses Erhebungsinstruments werden wie die Fragen oben auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala gemessen. Bezüglich der Ermittlung der Kenntnis der Route vor dem Experiment wurde eine Änderung vorgenommen. Diese wird nun mit drei Fragen erhoben (anstelle von einer), die sich auf die unterschiedlichen Gebäudeteile der Teststrecke beziehen:

- Ich kannte mich bereits vor dem Experiment im Bereich „Philosophie und Theologie“ sehr gut aus.
- Ich kannte mich bereits vor dem Experiment im Bereich „zentrales Hörsaalgebäude“ sehr gut aus.
- Ich kannte mich bereits vor dem Experiment im Bereich „Wirtschaft und Recht“ sehr gut aus.

Die Antwortmöglichkeiten anhand von endpunktbenannten Likert-Skalen blieben jedoch unverändert.

Eine Einschätzung bezüglich der Nützlichkeit der gewählten Landmarken bei der Orientierung und ob diese in ausreichender Anzahl verfügbar waren, wurde wieder mit zwei geschlossenen Fragen abgefragt. Zudem wurden die Items, die die unterschiedlichen Interface-Elemente adressieren, beibehalten:

- Es wurden genügend auffällige Objekte angezeigt, um mich orientieren zu können.
- Die gewählten auffälligen Objekte (z. B.: Treppen/Türen) fand ich sehr hilfreich.
- Die Richtungspfeile haben mir bei der Orientierung geholfen.
- Die Textanweisungen haben mir bei der Orientierung geholfen.
- Der Routenausschnitt hat mir bei der Orientierung geholfen.

Auch die allgemeine Frage zum Sicherheitsgefühl während der Navigation („Während der Navigation habe ich mich sicher gefühlt“) wurde wieder gestellt. Wie in Experiment zwei wurde zur Verdeutlichung der Fragen, die sich auf unterschiedliche Interface-Bereiche beziehen, eine Abbildung auf dem Fragebogen abgedruckt (siehe Abbildung 6.7). Neben den geschlossenen Fragen blieben auch die offenen unverändert, die positive und negative Erlebnisse während der Orientierung abfragten:

- Unzufrieden war ich mit folgenden Aspekten:
- Bei der Orientierung haben mir folgende Aspekte geholfen:

Neu in diesem Experiment ist die Verwendung eines standardisierten Fragebogens, der eine summative Einschätzung der Usability der Prototypen abfragt. Hierzu wurde der „System-Usability-Scale“ herangezogen, der anhand von zehn Items eine grobe Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit einer Software erhebt (Brooke, 1996). Dieser wurde zum Beispiel auch von Walther-Franks und Malaka (2008) sowie Rehr et al. (2012) zur Evaluation von Fußgänger-Navigationssystemen eingesetzt.

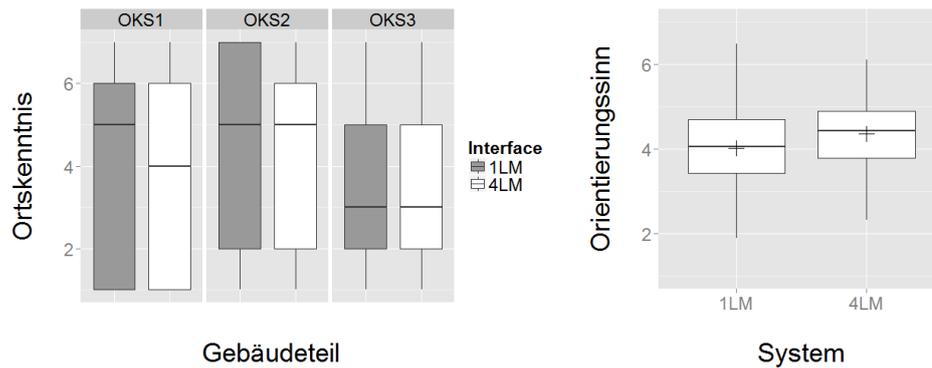


Abbildung 7.7: Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen, gemessen auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala. Die Ortskenntnis ist nach Gebäudeteilen aufgeteilt (OKS1 = „Philosophie und Theologie“; OKS2 = „zentrales Hörsaalgebäude“; OKS3 = „Wirtschaft und Recht“).

## 7.4 Testpersonen

An dem Experiment nahmen insgesamt 120 Testpersonen teil, davon 63 männliche. An der Studie durften sich nur Probanden ohne Brille beteiligen, da dies sonst die Funktionsfähigkeit des Eye-Trackers beeinträchtigt. Sonst gab es keine Einschränkungen mehr, da durch die geänderte Testroute keine Möglichkeit bestand, dass ein neuer Teilnehmer bereits im Rahmen von Experiment eins oder zwei auf dieser navigierte. Das Alter der Personen betrug durchschnittlich 22,73 Jahre mit einer Standardabweichung von 2,87 (Minimum: 16 Jahre, Maximum: 34). Bis auf eine besonders junge Person, waren die Testpersonen bezüglich des Alters sehr homogen, auch weil die meisten Probanden Studierende waren. Die Smartphone-Erfahrung ist sehr ähnlich verteilt wie in den anderen Experimenten, mit einer mittleren Ausprägung von 5,47 von maximal 7 und einem Median von 6 (SD = 1,52). Somit sind die Testpersonen sehr gut mit Smartphones vertraut. Die Vorerfahrungen mit Fußgänger-Navigationssystemen sind weiterhin nur geringfügig ausgeprägt und haben sich im Vergleich zu den vorhergehenden Experimenten nicht verbessert (M = 2,88; SD = 1,66).

Bezüglich des Orientierungssinns konnten keine Unterschiede zwischen den Interface-Varianten festgestellt werden ( $t(116) = -1,917$ ;  $p = 0,058$ ). Es gibt jedoch eine Tendenz dazu, dass die Probanden, die mit mehr als einer Landmarke navigierten, im Schnitt einen etwas besseren Orientierungssinn haben. Insgesamt ist diese Variable unter den Probanden eher durchschnittlich ausgeprägt (siehe Abbildung 7.7, rechts). Die Ortskenntnis der Probanden unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Interface-Designs ( $Z = 0,839$ ;  $p = 0,402$ ). Für diese Berechnung wurde der Mittelwert über die Ortskenntnisfragen gebildet, die sich jeweils auf die unterschiedlichen Gebäudeteile beziehen. Wie in Abbildung 7.7 (links) zu erkennen ist, streut die Vorkenntnis bezüglich der Testroute über das gesamte Spektrum der Skala. Es ist zudem ersichtlich, dass sich die Ortskenntnis für die einzelnen Gebäudeteile kaum unterscheidet und auch für jeden dieser Bereiche kein Unterschied zwischen den Interfaces besteht.

## 7.5 Experiment-Durchführung

Das Experiment fand im Winter 2014/2015 zwischen 10:00 Uhr und 17:00 Uhr statt (62 Testpersonen) und wurde im Winter 2015/2016 wiederholt, sodass insgesamt eine Stichprobe im Umfang von 120 Probanden erhoben wurde. Die Testpersonen wurden in beiden Durchläufen von zwei studentischen Testleitern begleitet. Letztere waren zudem für die Testpersonen-Akquise zuständig. Da die Experimente auf einer im Vergleich zu Experiment eins und zwei anderen Route durchgeführt wurden, gab es bezüglich der Probanden-Auswahl lediglich die Einschränkung, dass niemand mit Brille teilnehmen durfte.

Wie bereits in den vorhergehenden Experimenten erhielten die Testleiter eine detaillierte Einführung bezüglich des Experimentablaufs (circa 90 Minuten) sowie zusätzliche Bögen mit einer Zusammenfassung der Vorgehensweise. Die Bedienung des Eye-Trackers wurde wieder in Gruppen von zwei bis drei Personen erklärt und geübt (circa 30 Minuten pro Gruppe).

Der Testablauf gestaltete sich wie folgt: Zunächst wurden die Teilnehmer vor dem Gebäude „Philosophie und Theologie“ abgeholt und in den Innenbereich geführt. So wurde ausgeschlossen, dass die Probanden über Teilstrecken der Testroute zum Startpunkt geführt wurden. Als erstes füllten die Probanden den ersten Teil des Fragebogens aus, der die Vorerfahrung mit Smartphones und Fußgänger-Navigationsgeräten abfragt. Zudem mussten sie eine Einschätzung bezüglich ihres Orientierungssinns geben. Als nächster Schritt wurde der Eye-Tracker aufgesetzt, kalibriert und verstaut. Daraufhin wurde die Applikation gestartet und die Funktionsweise des Prototypen anhand des ersten Navigationsschritts erklärt. Im ersten Testdurchlauf (Winter 2014/2015) äußerten die Probanden mehrfach, dass sie sich bezüglich des Startpunkts innerhalb der Cafeteria unwohl fühlten. Da die Eye-Tracking-Brille relativ auffällig ist, wurden die Testpersonen während der Erklärungsphase von den Besuchern der Cafeteria beobachtet. Aus diesem Grund wurde für den zweiten Durchlauf der erste Schritt gestrichen und bei Schritt 2 nach der Cafeteria angefangen. Folglich wurden neben den Daten für Schritt 1 auch die Werte von Schritt 2, der im zweiten Durchgang als Erklärungsschritt diente, in der Auswertung nicht berücksichtigt.

In diesem Experiment mussten die Probanden wie in Experiment eins (siehe Kapitel 5.5) einen Button betätigen, sobald sie das Ziel der Anweisung erkannt hatten. Auf diese Form der Erhebung wurde wieder zurückgegriffen, da die bloße Zeit, die benötigt wird, einen Schritt zu absolvieren, sehr stark von der Länge der Teststrecke und der Bewegungsgeschwindigkeit der Nutzer abhängt und somit nur eingeschränkt eine Aussage über die tatsächliche Rezeption des Interfaces gemacht werden kann. Zudem fließen Desorientierungszeiten während eines „Verlaufens“ nicht in die „Erkannt“-Zeit ein. Dieser Button wurde den Probanden mit folgendem Wortlaut erklärt:

Wichtig: Außerdem gibt es einen Button „Erkannt“. Drücken Sie diesen bitte umgehend, nachdem Sie anhand der Anweisung verstanden haben, wohin Sie weiter gehen sollen.

Solange der „Erkannt“-Button nicht gedrückt wurde, war der „Weiter“-Button ausgegraut und nicht „klickbar“. Letzterer sollte erst gedrückt werden, sobald man das Ziel der Anweisung erreicht hatte und somit eine neue benötigte. Die Instruktion lautete:

Drücken Sie bitte auf „Weiter“, sobald Sie das Ziel der jeweiligen Anweisung erreicht haben. Lautet die Anweisung z. B.: „Gehen Sie durch die Tür“ klicken Sie bitte auf „Weiter“ unmittelbar nachdem Sie durch die Tür gegangen sind.

Falls die Person keine Fragen mehr hatte, wurde der Testdurchlauf gestartet. Da sich das Vorgehen bewährt hatte, das Ziel der Route nicht bekannt zu geben, um zu vermeiden, dass Personen mit Ortskenntnis ohne Hilfe dorthin navigieren, wurde es beibehalten. Zudem wurde dieses Mal ein Zielpunkt gewählt, der im Gegensatz zum Informationszentrum des Rechenzentrums in Experiment eins und zwei eher unbekannt ist (ein beliebiger Büroraum). Die Testleiter gaben keine Hinweise während des Experiment-Durchlaufs. Sollte sich die Person verlaufen, also an einem Entscheidungspunkt falsch abbiegen oder Hilfe benötigen, um die Aufgabe beenden zu können, wurde sie zum Startpunkt der nächsten Anweisung geführt und der Durchlauf fortgesetzt. Dies wurde im Fragebogen notiert. Zu diesem Zweck gab es diesmal für die Testleiter eine Übersicht aller Schritte mit Schrittnummer, Anweisungstext, Aufzählung der referenzierten Objekte und Fotografie der „Hauptlandmarke“ (siehe Anhang). Im Falle eines „Verlaufens“ kam wieder der „Zurück“-Button zum Einsatz. Die Teilnehmer sollten diesen nicht selbstständig betätigen. Er diente dazu, im Falle eines „Verlaufens“ den Schritt anzuzeigen, ab dem die Aufgabe fortgeführt werden sollte, falls die Probanden fälschlicherweise bereits mehrfach auf „Weiter“ gedrückt hatten. Dies geschah durch die Testleiter.

Am Ende der Teststrecke wurde zunächst der Eye-Tracker abgenommen und die Aufnahme beendet. Daraufhin mussten die Probanden den zweiten Teil des Fragebogens ausfüllen, der neben offenen und geschlossenen Fragen bezüglich der Nützlichkeit des Interfaces diesmal auch den „System-Usability-Scale“ umfasste. Zudem mussten die Probanden Fragen zu ihrer Vorkenntnis der Route in Bezug auf die unterschiedlichen Gebäudeteile beantworten. Sollten die Teilnehmer bei der Zuordnung der Gebäudeteile (siehe Kapitel 7.3.2) Probleme haben, wurde dies von den Testleitern erklärt.<sup>3</sup>

Da ein Between-Subject-Design gewählt wurde, navigierten 61 Probanden mit dem Interface, das lediglich eine Landmarke anzeigt und somit 59 Teilnehmer mit der „4LM“-Version. Die Probanden wurden zufällig auf die Varianten verteilt. Es wurde auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis geachtet.

## 7.6 Annotation der Eye-Tracker-Daten

Die Daten des Eye-Trackers wurden wie bereits in Experiment eins und zwei mit der Software „BeGaze 3.7“ der Firma SMI annotiert. Da diesmal mehr als eine Landmarke zur Anzeige kam, wurde auf ein anderes Design des Referenzbildes zurückgegriffen (siehe Abbildung 7.8, links), um die Annotation zu vereinfachen. Diese wurde wieder von studentischen Hilfskräften durchgeführt.

Ein Referenzbild wurde für jede Interface-Variante und jeden Navigationsschritt angefertigt. Auf der linken Seite befindet sich wieder ein Screenshot, der gemäß der Aufteilung des Interfaces drei Elemente enthält. Diese sind der Pfeil (Markierung „1“), die

---

<sup>3</sup>Da an der Universität die Gebäudeteile ohne eine eindeutige Beschilderung oder räumliche Barriere ineinander übergehen, konnte es vorkommen, dass Probanden diese nicht als unabhängige Gebäude wahrnahmen.

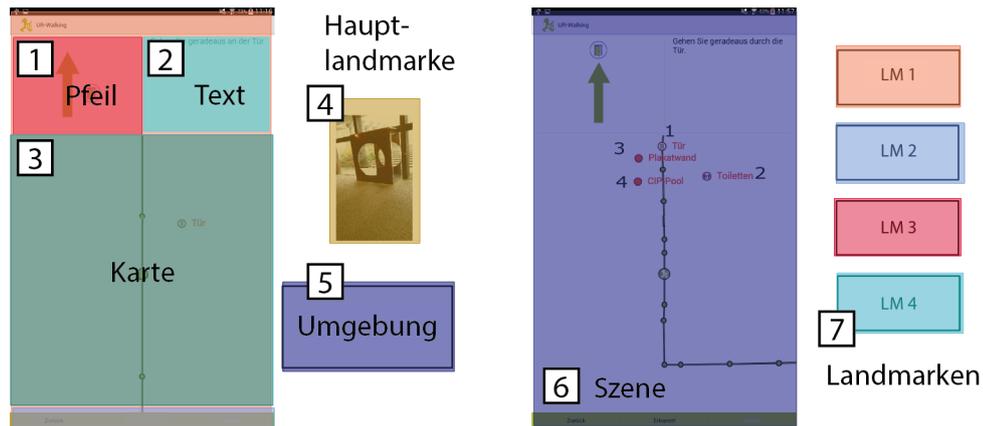


Abbildung 7.8: Festgelegte Areas-of-Interest für die Datenanalyse mithilfe des mobilen Eye-Trackers (links) sowie zusätzliche Areas-of-Interest für die Annotation der Eye-Tracker-Daten der Probanden, die mit vier Landmarken navigierten (rechts).

Textanweisung (Markierung „2“) und das Element „Karte“, das gemäß der Forschungsfrage eine unterschiedliche Anzahl an Landmarken darstellt (Markierung „3“). Über dem gesamten Bildschirmbereich ist eine Areas-of-Interest „Screen“ gelegt (nicht im Bild). In Abbildung 7.9 (unten) ist eine beispielhafte Annotationssituation von Blicken auf dem Bildschirm dargestellt.

Neben dem Screenshot ist in diesem Experiment nicht mehr ein Karten-Fragment platziert, sondern zum einen ein Foto der „Hauptlandmarke“, also des Objekts, das in beiden Interface-Varianten referenziert ist (Abbildung 7.8, Markierung „4“; beispielhafte Annotationssituation in Abbildung 7.9 (oben)). Diese Änderung soll die Identifikation des Objekts einfacher gestalten. Damit ist das neue Design des Referenzbildes eine Mischung der Designs aus Experiment eins und zwei sowie der Vorstudie. In letzterer wurden (Landmarken-)Fotografien zur Annotation verwendet. Die Umgebung ist nun sehr abstrakt durch einen umrandeten Schriftzug dargestellt (Markierung „5“). In diesen Bereich werden alle Blicke in die Umgebung – auch auf die zusätzlichen Landmarken – übertragen (siehe Abbildung 7.9 (mittig)).

Blicke, die nicht der Orientierung, sondern lediglich der Fortbewegung dienen (auf Personen, den Boden, die Decke, etc.) wurden wieder nicht annotiert.

Um genauere Daten bezüglich des Blickverhalten der Probanden, die mit dem „4LM“-Interface navigierten, zu erhalten, wurden diese Daten nochmals annotiert (siehe Abbildung 7.8, rechts). Dabei wurde der Blick auf jede der vier Landmarken gesondert übertragen (Markierung „7“). Zu diesem Zweck wurden die Objekte durchnummeriert und auf dem Screenshot eine Beschriftung neben der Landmarke platziert (Markierung „6“).

## 7.7 Ergebnisse

Da aus der Literatur nicht eindeutig hervorgeht, ob die Darstellung lediglich einer Landmarke zu einer erfolgreicherer Wegfindung führt als die Visualisierung mehrerer Objekte, wird folgende ungerichtete Hypothese formuliert:



Abbildung 7.9: Annotation der Eye-Tracker-Daten (oben: Blick auf eine „Hauptlandmarke“; mittig: Blick auf eine zusätzliche Landmarke ; unten: Blick auf den Bildschirm).

- $H_1$ : Es gibt einen Unterschied bezüglich der Unterstützung der Wegfindung zwischen einem Interface, das eine Landmarke referenziert, und einer Darstellung, die zusätzliche Landmarken visualisiert.
- $H_0$ : Es gibt keinen Unterschied bezüglich der Unterstützung der Wegfindung zwischen einem Interface, das eine Landmarke referenziert, und einer Darstellung, die zusätzliche Landmarken visualisiert.

Wie schon in Experiment eins und zwei wird die Unterstützung der Wegfindung anhand von Fehlern während der Navigation, der Zeit zur Zielerreichung und dem Blickverhalten quantifiziert. Basierend auf den bereits beschriebenen Studien wird davon ausgegangen, dass ein effizienteres Navigationssystem zu kürzeren Betrachtungszeiten des Interfaces führt. Weiterhin werden auch in diesem Experiment subjektive Zufriedenheitsmaße durch einen Fragebogen mit offenen und geschlossenen Fragen erhoben. Zudem wird der „System-Usability-Scale“ herangezogen, da die Verwendung dieses Fragebogens in verwandten Studien recht verbreitet ist (siehe Kapitel 3.4).

Für die folgenden Auswertungen wurden Schritt 1 und 2 (Erklärungsbildschirme in Durchlauf eins beziehungsweise zwei) nicht berücksichtigt. Darüber hinaus ist die Anweisung am Ziel nicht Teil der Auswertung, da hier in beiden Interface-Varianten die gleiche Anweisung angezeigt wurde („Ihr Ziel befindet sich...“).

### 7.7.1 Zeit und Fehler

Mit dem Interface, das lediglich eine Landmarke anzeigt, verliefen sich 12 Probanden, wohingegen 26 Teilnehmer, die mehrere Landmarken zur Orientierung nutzen konnten, Hilfestellung brauchten. Mit dem „1LM“-Interface benötigten drei Probanden zwei Mal Hilfe und einer drei Mal. Auch innerhalb der anderen Gruppe trat ein „Verlaufen“ mehrfach auf. Hier brauchten vier Probanden zwei Mal Hilfe und einer drei Mal. Die Häufigkeit des „Verlaufens“ ist nicht signifikant unterschiedlich ( $Z = -1,67$ ;  $p = 0,096$ ), jedoch zeigt sich, dass Probanden, die mit mehreren Landmarken navigieren, eher mehr Probleme haben.

Interface/Schritt	3	4	5	6	7	8	10	14	15	18
1LM	0	0	1	5	0	2	6	0	3	0
4LM	3	1	3	6	1	3	3	1	4	1

Tabelle 7.3: Anzahl der Probanden, die sich verlaufen haben, aufgeteilt nach Interface und Navigationsschritt. Bei Schritten, die nicht aufgeführt sind, sind keine Probleme aufgetreten. Neun Personen verliefen sich mehr als ein Mal.

In Tabelle 7.3 ist eine Übersicht aufgeführt, an welchen Schritten die Probanden sich verliefen. Wie bereits bei den schon beschriebenen Experimenten zeigt sich, dass ein „Verlaufen“ primär von der Umgebung abhängt (und nicht von der Interface-Variante).

Die häufigsten Probleme haben die Probanden bei den Schritten 6 und 10. In beiden Fällen verweist die „Hauptlandmarke“ auf einen Hörsaal (siehe Abbildung 7.10). Diese Objekte sind für die Probanden schwer zu identifizieren. Bei dem Raum „ZH3“ (Schritt 6) äußerte eine Person: „*Ich habe keine Ahnung, wo der Raum ist*“ (Proband P.9.3). Für diese Situation wurde eine Landmarke gewählt, die im Vergleich zu einem anderen Objekt in

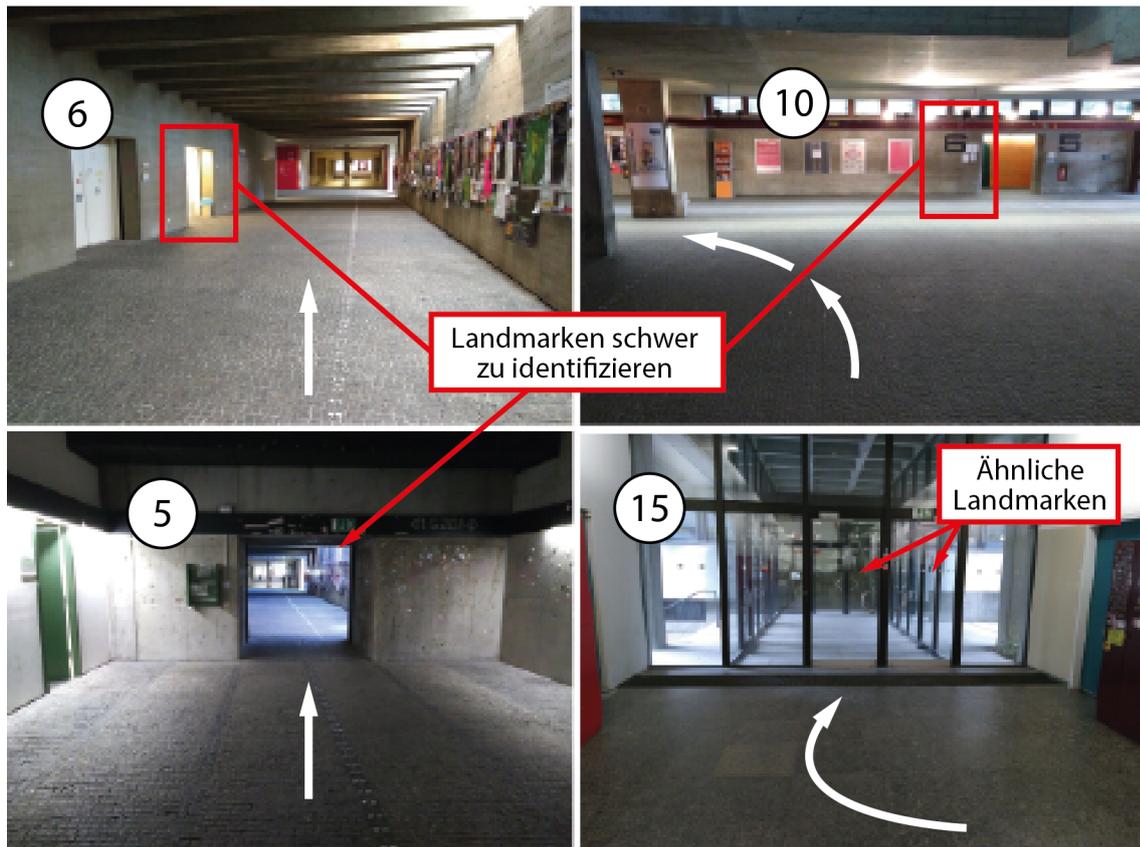


Abbildung 7.10: Schritte, die zu Orientierungsproblemen führten. Die Nummer verweist auf den Navigationsschritt. Zusätzlich ist die intendierte Bewegungsrichtung eingezeichnet.

der Umgebung als weniger salient bewertet wurde (Unterschied: 1,11 auf einer fünfwertigen Skala). Hier zeigt sich, dass die Probanden bei der Referenzierung einer weniger auffälligen Landmarke Probleme bei der Rezeption aufweisen.

Bei Schritt 10 sollte man nach links abbiegen. Die Probanden orientierten sich gleich in diese Richtung und „übersehen“ die Landmarke, die eher auf der rechten Seite positioniert ist. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen der Vorstudie, die zeigte, dass eine Landmarke auf der anderen Seite der Kreuzung aber entgegen der Bewegungsrichtung signifikant kürzer betrachtet wird (siehe Kapitel 4.6). Somit kann sie auch leichter übersehen werden, obwohl ihre Gesamtsalienz relativ hoch ist: Dieser Raum wurde in der Vorstudie als am auffälligsten eingestuft, obwohl auch ein Objekt zur Auswahl stand, das sich auf der linken Seite befindet.

Weiterhin treten bei Schritt 15 Fehler auf (sieben Vorkommnisse). In dieser Szene (siehe Abbildung 7.10) sollen die Probanden rechts abbiegen und durch eine Tür gehen. In unmittelbarer Nähe befindet sich noch eine Tür, durch die die Probanden das Gebäude verlassen wollen. Wie schon in Experiment eins und zwei zeigt sich, dass eine ähnliche Landmarke in unmittelbarer Umgebung die Nutzer verwirrt.

Darüber hinaus hatten vier Probanden Probleme, bei Schritt 5 eine Tür zu identifizieren. Dieses Problem äußerten auch andere Probanden in den Freitextfragen (z. B.: „Eine Tür war nicht sicher als Tür zu erkennen“ (Proband P8.1)). Wie in Abbildung 7.10 zu sehen

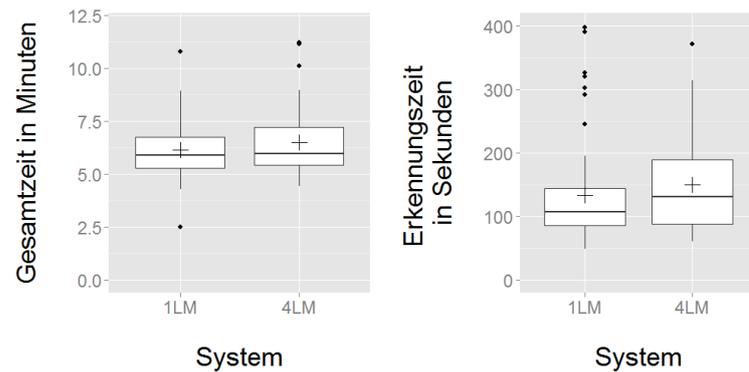


Abbildung 7.11: Gesamte Navigations- und Erkennungszeit, aufgeteilt nach Interface-Variante.

ist, handelt es sich hierbei um eine Feuerschutztür, die im geöffneten Zustand eher einem Durchgang ähnelt und somit schwer zu identifizieren ist.

Bezüglich der gesamten Zeit, die die Probanden benötigten, um die Aufgabe zu erfüllen, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ( $Z = -1,233$ ;  $p = 0,218$ ). Durchschnittlich benötigten alle Teilnehmer etwa 6 Minuten und 20 Sekunden, um die Aufgabe zu erfüllen (siehe Abbildung 7.11, links). Hinsichtlich der Zeit, die benötigt wurde, um eine Anweisung zu verstehen (aufsummiert über alle Schritte), wurden jedoch signifikante Unterschiede festgestellt ( $Z = -2,07$ ;  $p = 0,039$ ;  $r = 0,189$ ). Probanden, die mehrere Landmarken zur Orientierung verwendeten, benötigten länger, um zu verstehen, wie sie ihre Aufgabe fortführen sollen (siehe Abbildung 7.11, rechts).

Betrachtet man die Schritte einzeln, so können hochsignifikante Unterschiede festgestellt werden ( $Z = -6,45$ ;  $p < 0,001$ ). Diese Ergebnisse sind in Abbildung 7.12 visualisiert. Es ist zu erkennen, dass die durchschnittliche Erkennungszeit der Nutzer der „4LM“-Variante immer über denen der Nutzergruppe liegt, die nur eine Landmarke zur Orientierung verwendeten. Außerdem ist zu sehen, dass die Schritte 6 und 10, die ein häufiges „Verlaufen“ nach sich zogen, zu relativ hohen Erkennungszeiten führen. Am auffälligsten ist die sehr lange Erkennungszeit für Schritt 8. In diesem Fall ist eine Treppe referenziert, die erst sehr spät sichtbar wird (siehe Abbildung 7.13). Dies verwirrt die Probanden und sie benötigen sehr lange, um zu verstehen, wie sie weiter vorgehen sollen. In Tabelle 7.10 ist zu sehen, dass hier auch fünf Mal ein „Verlaufen“ stattfindet. In der Vorstudie war Schritt 8 der einzige Schritt, für den die am wenigsten auffällige Landmarke als „Hauptlandmarke“ herangezogen wurde (da diese „verwendet“ werden musste). Die langen Erkennungszeiten für diesen Schritt hängen somit mit der geringen Salienz des Objektes zusammen.

Ein Sichtbarkeitsproblem existiert auch bei Schritt 12, bei dem eine Treppe erst relativ spät zu erkennen ist (siehe Abbildung 7.2), sodass auch hier relativ lange Erkennungszeiten notwendig sind. Dieses Problem kann jedoch von den Probanden sehr gut aufgelöst werden, da für diesen Schritt kein „Verlaufen“ vorliegt.

In diesem Experiment konnte nicht festgestellt werden, dass die Nutzer vermehrt eine „Zoom“-Geste auf dem Bildschirm ausführen, obwohl dies ein Zeichen von Verwirrung sein könnte. Insgesamt wurde diese Aktion pro Interface nur sechs Mal getätigt und dies an vollkommen unterschiedlichen Stellen. Somit lässt diese Variable aufgrund des selte-

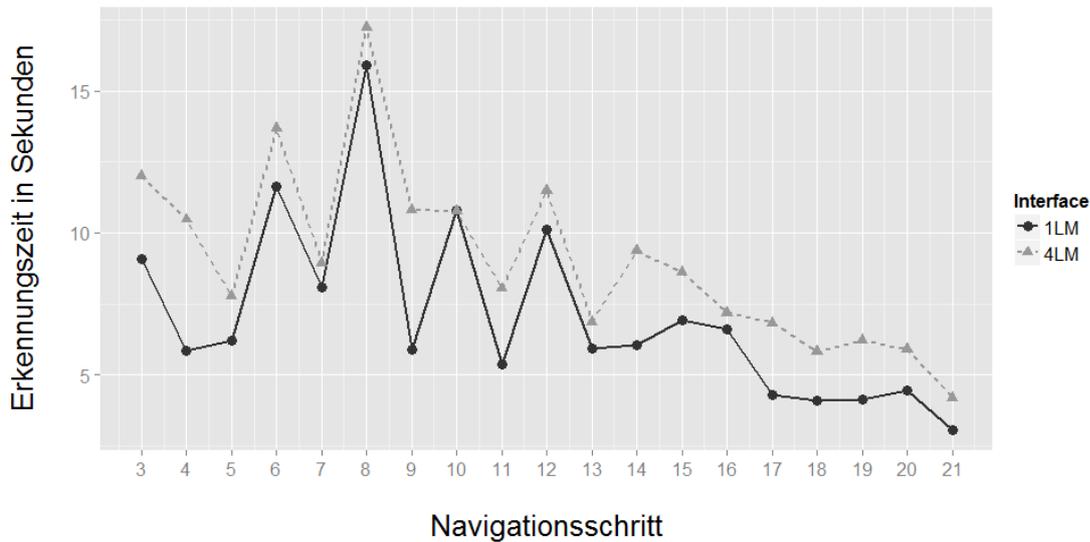


Abbildung 7.12: Erkennungszeit pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.



Abbildung 7.13: Schritt, der zu langen Erkennungs- und Blickzeiten führt. Die Nummer verweist auf den Navigationsschritt. Zusätzlich ist die intendierte Bewegungsrichtung eingezeichnet.

nen Auftretens keine Rückschlüsse auf den Zustand der Nutzer zu.

Hinsichtlich der Fehler, die während der Navigation auftreten, zeigt sich, dass diese stark von der Umgebung abhängen und weniger von der Interface-Variante. Für die Zeit, die benötigt wird, um zu verstehen, wie die Wegfindung fortgesetzt werden soll, konnten hingegen signifikante Unterschiede zwischen den Interfaces festgestellt werden. Jedoch ist auch hier ein deutlicher Zusammenhang mit der Sichtbarkeit der „Hauptlandmarke“ in der jeweiligen Szene zu beobachten. Um diese Zusammenhänge vertieft zu analysieren, wird im Folgenden auf das Blickverhalten der Nutzer eingegangen.

### 7.7.2 Blickverhalten

Für die nachfolgenden Berechnungen wurden wie bereits in Experiment zwei zunächst alle Blicke über den gesamten Durchlauf pro Proband und Area-of-Interest aufsummiert.

	Interface	Screen		Landmarke		Umgebung	
		M	SD	M	SD	M	SD
Fixationsdauer in Sekunden	1LM	80,59	32,80	25,61	12,80	30,71	19,22
	4LM	87,41	29,21	22,44	11,30	35,03	15,95
Fixationen (Häufigkeit)	1LM	486,00	185,73	138,74	61,71	178,41	102,11
	4LM	527,39	164,30	121,61	55,67	205,07	90,17
Revisits (Häufigkeit)	1LM	46,25	13,44	25,93	12,43	30,00*	15,90
	4LM	50,97	15,31	23,12	11,62	36,14*	15,26

Tabelle 7.4: Fixationsdauer, Fixationsanzahl und Revisits auf dem Bildschirm, der referenzierten Landmarke und der Umgebung.

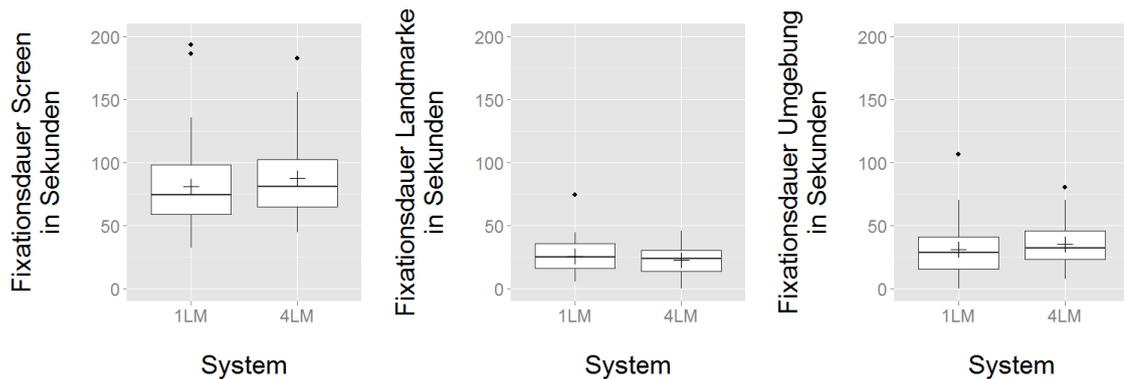


Abbildung 7.14: Fixationsdauer auf den Bildschirm, die referenzierte „Hauptlandmarke“ und die Umgebung.

Daten bezüglich der Schritte 1 und 2, die zur Erklärung dienten und dem letzten Schritt, der keine variierende Anzahl an Landmarken enthielt, wurden dabei nicht berücksichtigt. Als abhängige Variablen wurden die Fixationsanzahl und -zeit sowie die Revisits herangezogen.

Bezüglich der Fixationen auf dem gesamten Bildschirmbereich wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Fixationsdauer:  $Z = -1,48$ ;  $p = 0,395$ ; Häufigkeit:  $Z = -1,61$ ;  $p = 0,107$ ; Revisits:  $Z = -1,47$ ;  $p = 0,143$ ). Ähnlich verhält es sich mit den Blicken auf die „Hauptlandmarke“ (Dauer:  $Z = 1,173$ ;  $p = 0,241$ ; Häufigkeit:  $t(117) = 1,60$ ;  $p = 0,113$ ; Revisits:  $Z = 0,780$ ;  $p = 0,435$ ). In Tabelle 7.4 ist die deskriptive Statistik für diese Ergebnisse zusammengefasst. Abbildung 7.14 zeigt anhand von Boxplots die Verteilung der Blicke. Es ist ersichtlich, dass der Bildschirm den größten Teil der visuellen Aufmerksamkeit bindet. Die Fixationszeit der Umgebung und somit aller Elemente inklusive der zusätzlich referenzierten Landmarken liegt nur leicht über der Fixationsdauer der „Hauptlandmarke“. Es wurden keine signifikanten Unterschiede der Fixationsdauer ( $Z = -1,70$ ;  $p = 0,090$ ) und -häufigkeit ( $Z = -1,70$ ;  $p = 0,090$ ) in der Umgebung zwischen den Interfaces festgestellt. Jedoch ist zu beobachten, dass Probanden, die mehrere Landmarken zur Verfügung haben, signifikant häufiger auf die Umgebung zurückkehren ( $Z = -2,19$ ;  $p = 0,029$ ). Die Testpersonen richten ihren Blick folglich häufiger wieder auf den Bildschirm oder die „Hauptlandmarke“, nachdem sie die Umgebung betrachtet haben. Dies könnte auf eine Verunsicherung während der Wegfindung hindeuten. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 7.15 (links) anhand eines Boxplots visualisiert. Der Unterschied ist jedoch bezüglich der Ef-

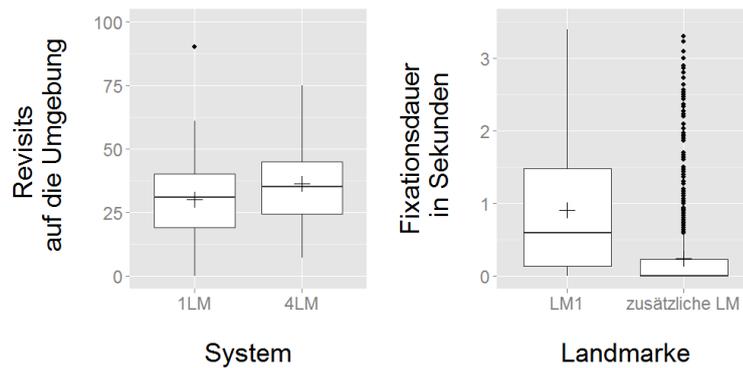


Abbildung 7.15: Revisits auf die Umgebung, aufgeteilt nach Interface-Variante (links) und durchschnittliche Fixationsdauer der unterschiedlichen Landmarken von Probanden, die mehr als eine Landmarke zur Wegfindung nutzten (rechts).

fektstärke eher klein ( $r = 0,200$ ) und der absolute Unterschied ist nicht sehr hoch.

Für Probanden, die mit vier Landmarken navigierten, wurde zudem die durchschnittliche Betrachtungshäufigkeit auf die „Hauptlandmarke“ im Vergleich zu den zusätzlich referenzierten Objekten analysiert. Wie in Abbildung 7.15 (rechts) zu sehen, werden die zusätzlichen Landmarken teilweise gar nicht betrachtet (Median = 0). Insgesamt fixieren die Nutzer die zusätzlich zur Verfügung stehenden Objekte im Vergleich zur „Hauptlandmarke“ nur sehr kurz bis gar nicht. Dieser Unterschied ist hoch signifikant (Mann-Whitney-U-Test für verbundene Stichproben:  $V = 231$ ;  $p < 0,001$ ). Die meisten Probanden suchen demnach nicht nach den zusätzlichen Objekten und verwenden sie nicht, um ihre Wegfindungsaufgabe zu lösen. Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass die zusätzlichen Objekte auf dem Bildschirmbereich „Karte“ eher ablenken, als dass sie hilfreich sind.

Dieser Zusammenhang wird auch bei der Analyse der einzelnen Bildschirm-Elemente deutlich. Auf dem Bereich „Karte“ also dem Element, das die variierende Anzahl an Objekten visualisiert, konnten signifikante Unterschiede bezüglich der Fixationszeit ( $Z = -2,99$ ;  $p = 0,003$ ;  $r = 0,273$ ) und -häufigkeit ( $Z = -3,000$ ,  $p = 0,003$ ;  $r = 0,274$ ) festgestellt werden. Die Effektstärke ist in einen kleinen bis mittleren Bereich einzuordnen. Nutzer, die mit dem „4LM“-Interface navigierten, betrachteten dieses Element signifikant länger und häufiger (siehe Tabelle 7.5). Sie benötigen länger, um die Darstellung visuell zu verarbeiten, suchen daraufhin jedoch nicht nach den zusätzlich dargestellten Objek-

	Interface	Karte		Text		Pfeil	
		M	SD	M	SD	M	SD
Fixationsdauer	1LM	30,49**	24,46	29,09	14,07	4,84	4,29
in Sekunden	4LM	40,40**	24,04	27,98	77,96	4,16	3,61
Fixationen	1LM	188,61**	140,18	182,67	72,02	31,59	26,43
(Häufigkeit)	4LM	241,98**	129,64	177,63	45,44	27,66	22,83
Revisits	1LM	60,89	25,70	38,70	18,68	12,46	12,79
(Häufigkeit)	4LM	69,90	28,52	40,07	14,56	10,83	11,54

Tabelle 7.5: Deskriptive Statistik der Blickdaten auf den unterschiedlichen Bildschirmbereichen.

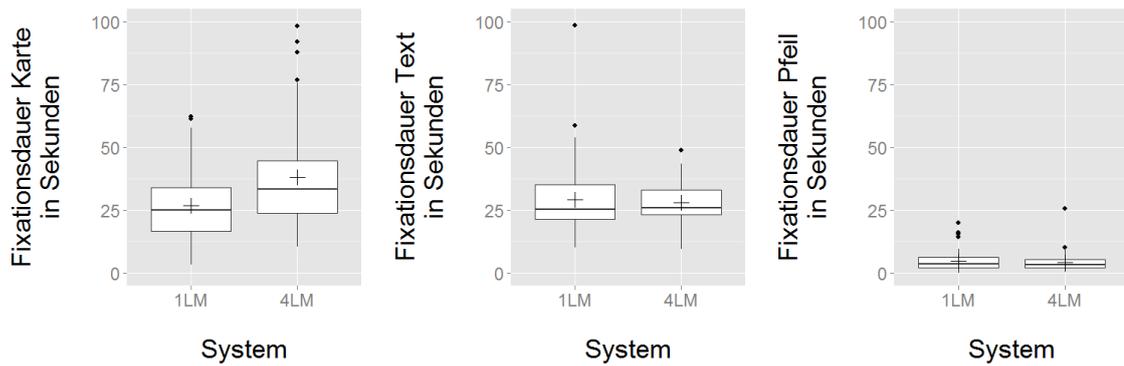


Abbildung 7.16: Fixationsdauer auf die unterschiedlichen Interface-Elemente.

ten. Vielmehr blicken sie mehr in der Umgebung umher (siehe Tabelle 7.4). Bezüglich der Revisits wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt ( $Z = -1,43$ ,  $p = 0,154$ ). Weiterhin zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Betrachtung der Textanweisung (Dauer:  $Z = -0,486$ ;  $p = 0,627$ ; Häufigkeit:  $Z = -0,449$ ;  $p = 0,654$ ; Revisits:  $Z = -0,830$ ;  $p = 0,407$ ). Die Pfeildarstellung wird wie in Experiment zwei kaum betrachtet und auch hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interfaces (Dauer:  $Z = 0,36$ ;  $p = 0,717$ ; Häufigkeit:  $Z = 0,438$ ;  $p = 0,661$ ; Revisits:  $Z = 0,344$ ;  $p = 0,731$ ). In Abbildung 7.16 ist zu sehen, dass das Kartenelement die größte visuelle Aufmerksamkeit auf sich zieht gefolgt von der Textanweisung, die von Nutzern, die lediglich eine Landmarke zur Wegfindung verwendeten, etwa gleich lange betrachtet wird wie das Kartenelement. Insgesamt ist zu sagen, dass die Effizienzunterschiede, die in Kapitel 7.7.1 bezüglich der Zeit, die benötigt wird, sich selbst zu verorten, festgestellt wurden, durch ein unterschiedliches Blickverhalten auf dem Kartenelement zu erklären sind. Aus diesem Grund wurde im Folgenden die Fixationsdauer auf diesem Interface-Bereich für jeden Schritt einzeln analysiert. Im Mittel sind die Fixationszeiten für alle Schritte hoch signifikant unterschiedlich ( $Z = -7,07$ ;  $p < 0,001$ ). Durchschnittlich betrachten Wegfinder, die eine Landmarke zur Verfügung hatten, dieses Element 1,61 Sekunden, die andere Gruppe 2,15 Sekunden. Die Standardabweichung ist für beide Gruppen relativ hoch („1LM“ = 1,98; „4LM“ = 2,44). In Abbildung 7.17 ist zu sehen, dass die Fixationszeit der Wegfinder, denen zusätzliche Landmarken angezeigt wurden, zumeist über denen der Gruppe liegen, die nur die „Hauptlandmarke“ zur Verfügung hatten. Bei den Schritten 10, 13, 16 und 19 ist die durchschnittliche Fixationszeit beinahe identisch. Hier ist auffällig, dass obwohl Schritt 10 zu einem relativ häufigen „Verlaufen“ geführt hat, der Bildschirmbereich „Karte“ nur sehr kurz betrachtet wird. Die Beantwortung der Freitextfragen zeigt in diesem Zusammenhang, dass insbesondere die Textanweisung für diesen Schritt für Verwirrung gesorgt hat (z. B.: „links vor H6 sehr verwirrend“ (Proband P4.6)). Somit ist für diesen Schritt die Anzeige des Kartenelements nicht die ausschlaggebende Darstellungsform. Die Schritte 13, 16 und 19 führten zu keinerlei Problemen und insgesamt zu relativ kurzen Erkennungszeiten (siehe Abbildung 7.12). Diese Schritte können scheinbar sehr einfach rezipiert werden, sodass hier keine Unterschiede im Blickverhalten zu beobachten sind. Die Anweisungen lauten in diesem Zusammenhang zwei Mal geradeaus durch eine Tür und ein Mal eine Treppe hinauf zu gehen.

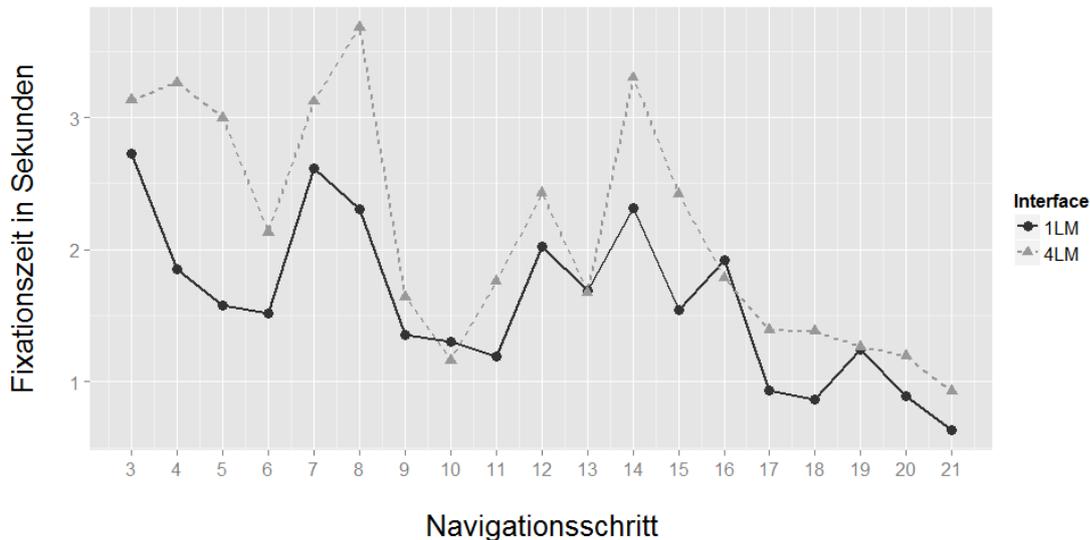


Abbildung 7.17: Fixationszeit des Kartenelements pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

Der Unterschied in der Fixationsdauer ist für die Schritte 4, 8, 11, 14, 17 und 18 signifikant unterschiedlich. Besonders auffällig ist hier Schritt 8, der zu einem häufigen „Verlaufen“ und zu sehr langen Erkennungszeiten geführt hat (siehe Abbildung 7.13). Letzteres ist offensichtlich dadurch begründet, dass die Probanden sowohl auf der Kartendarstellung als auch in der realen Umgebung lange nach dem Objekt suchen. Die Anzeige mehrerer Landmarken bindet in diesem Zusammenhang noch mehr visuelle Aufmerksamkeit, ohne den Navigationserfolg zu erhöhen. Auch bei Schritt 14 kommt es zu relativ langen Fixationszeiten und häufigen Revisits (siehe Abbildung 7.18). In dieser Szene ist eine Tür als „Hauptlandmarke“ gewählt worden, die als weniger salient bewertet wurde als die anderen Objekte der Umgebung. Dies führt offensichtlich zu längeren Betrachtungsdauern des Bildschirms. Jedoch ist die Szene insgesamt nicht sehr komplex (Branching-Faktor = 3), sodass die Probanden sich in dieser Situation nicht verlaufen und relativ schnell verstehen, wohin sie gehen sollen.

Betrachtet man die Revisits auf das Kartenelement für jeden Schritt, so können auch hier signifikante Unterschiede festgestellt werden, die sich bei der Aufsummierung dieser Variable nicht zeigten ( $Z = -3,70$ ;  $p < 0,001$ ). Nutzer, die mit vier Landmarken navigieren, kehren häufiger auf das Kartenelement zurück. Der Durchschnitt liegt für „1LM“-Nutzer bei 3,21 (SD = 2,63) und für „4LM“-Wegfinder bei 3,71 (SD = 3,11). In Abbildung 7.18 ist zu erkennen, dass wieder bei Schritt 8, der ein sehr unauffälliges Objekt referenziert, die häufigsten Revisits stattfinden. Zudem ist ersichtlich, dass gegen Ende der Teststrecke (ab Schritt 15) ähnlich wie bei der Fixationshäufigkeit, die Bindung der visuellen Aufmerksamkeit des Interfaces nachlässt. Ab diesem Schritt ist die Umgebung von kleineren (Büro)-Gängen dominiert, die scheinbar einfacher zu erkennen sind.

Die Ergebnisse der Blickdaten-Analyse zeigen auf, dass es einen Unterschied bezüglich der Unterstützung der Wegfindung zwischen den Interfaces gibt. Nutzer, die zusätzliche Landmarken zur Wegfindung verwenden, kehren mit ihrem Blick häufiger in die Umgebung zurück und betrachten das Interface-Element, das die variierende Anzahl an Land-

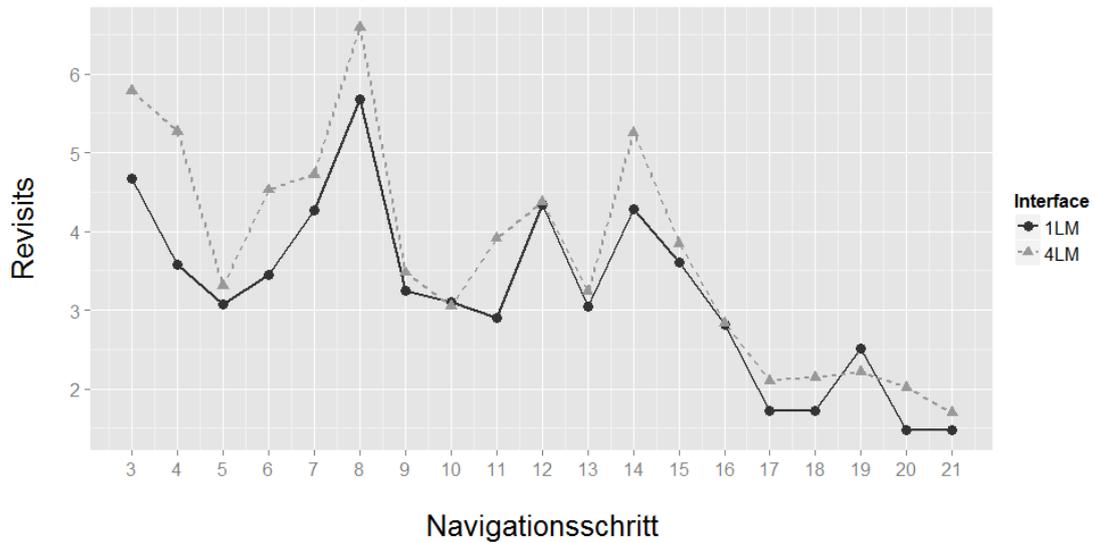


Abbildung 7.18: Anzahl der Revisits auf das Kartenelement pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

marken darstellt, länger. Zudem konnte gezeigt werden, dass diese Probanden die zusätzlichen Landmarken in der realen Umgebung kaum bis gar nicht betrachten. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Fragebogendaten beschrieben, die das subjektive Empfinden der Nutzer während der Wegfindungsaufgabe widerspiegeln.

### 7.7.3 Fragebogendaten

Zunächst wurde wie bereits in Experiment zwei gefragt, ob die gewählten Landmarken hilfreich waren. Alle Fragebogen-Items wurden auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala gemessen. Höhere Werte spiegeln eine höhere Zufriedenheit wider. Trotz der Probleme, die bei der Anzeige von gering salienten Objekten auftraten (Schritt 6 und 8), bewerteten die Nutzer die Objekte insgesamt mehrheitlich als sehr hilfreich (siehe Abbildung 7.19, links). Zwischen den Interface-Varianten ergab sich kein Unterschied ( $Z = 0,061$ ;  $p = 0,952$ ). Auch bezüglich der Frage, ob ausreichend Landmarken dargestellt wurden, wurde zwischen den Gruppen kein Unterschied festgestellt ( $Z = -0,604$ ;  $p = 0,546$ ). Sechs Probanden, die mit vier Landmarken navigierten, bewerteten die Landmarken-Anzahl sehr schlecht. Darunter waren Nutzer, die sich mehr Informationen anhand einer Karte (Proband P9.7) oder insgesamt mehr Orientierungspunkte wünschten (z. B.: „Manchmal haben Orientierungspunkte gefehlt, z. B. Hörsäle.“ (Proband P1.7.2)). Es zeigt sich somit, dass obwohl dieser Probanden-Gruppe ohnehin mehr Informationen angezeigt wurden, es trotzdem einzelne Nutzer gibt, die sich mehr Unterstützung wünschen.

Bezüglich der Fragen zur Nützlichkeit einzelner Bildschirm-Bereiche zeigte sich für keines der Elemente ein signifikanter Unterschied (Pfeil:  $Z = 1,46$ ;  $p = 0,145$ ; Text:  $Z = 0,727$ ;  $p = 0,467$ ; Routenausschnitt:  $Z = -1,29$ ;  $p = 0,199$ ; siehe Abbildung 7.20). Die Textanweisung erachtete die Mehrheit der Probanden als sehr hilfreich, jedoch sind in beiden Gruppen Ausreißer zu beobachten. Diese sind dadurch zu erklären, dass die Probanden mit der

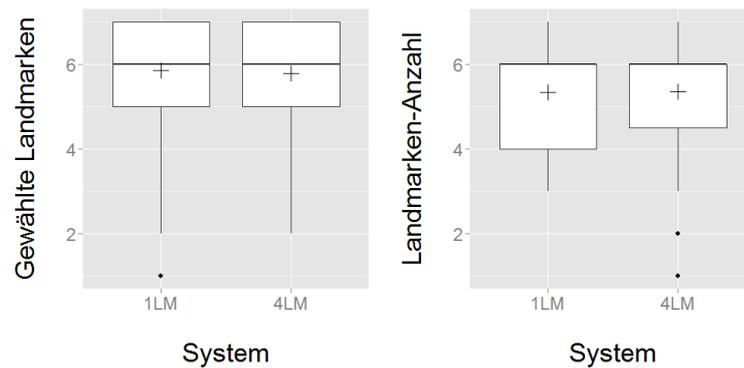


Abbildung 7.19: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der Landmarken.

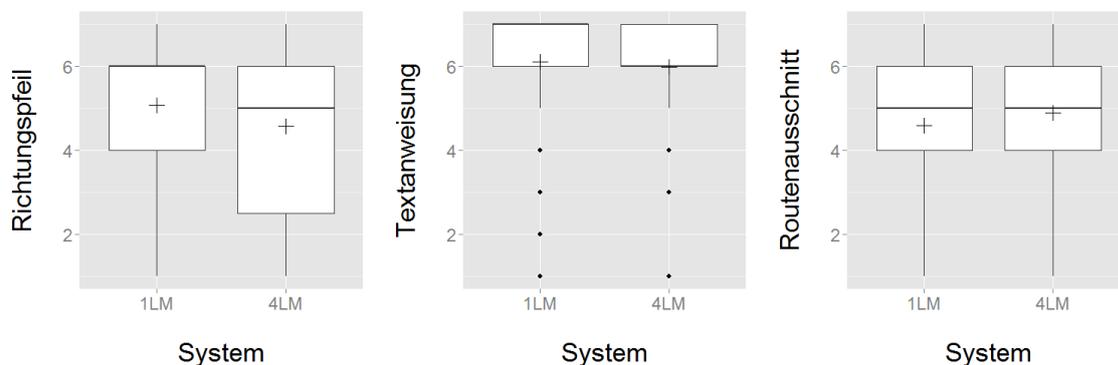


Abbildung 7.20: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der unterschiedlichen Interface-Bereiche.

Anweisung, die bei Schritt 10 angezeigt wurde („Gehen Sie links vor H6“), unzufrieden waren. Dies spiegelt sich auch bezüglich der Fehler und in der Beantwortung der Freitextantworten wider. Hinsichtlich der Richtungspfeile sind die Probanden zwar mehrheitlich zufrieden, jedoch streuen die Antworten deutlich mehr als noch in Experiment zwei, insbesondere für Nutzer, die mehrere Landmarken zur Wegfindung heranziehen konnten. Bezüglich der Kartendarstellung (Routenausschnitt) ist kein Unterschied zu Experiment zwei zu beobachten. Die Nutzer sind mehrheitlich eher zufrieden, jedoch erstrecken sich die Antworten über die ganze Bandbreite der Skala. Insgesamt ist zu beobachten, dass die Textanweisung als am hilfreichsten bewertet wurde.

Des Weiteren wurden geschlossene Fragen gestellt, die die summative Rezeption der Interfaces adressieren. Hinsichtlich der Frage, wie sicher sich die Probanden bei der Navigation gefühlt haben, wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt ( $Z = 0,943$ ;  $p = 0,346$ ). Die meisten Probanden fühlten sich sehr selbstsicher, der Median liegt für beide Gruppen bei sechs (siehe Abbildung 7.21, links). Lediglich ein Proband, der mit vier Landmarken navigierte, bewertet diese Frage mit 2 von 7. Diese Person war bereits mit der Anzahl der dargestellten Objekte unzufrieden und bewertete zudem die Textanweisungen negativ. Die Person äußerte in den Freitextantworten, dass die „Anweisungen [...] in einigen Fällen missverständlich“ waren und ist somit insgesamt eher unzufrieden (Proband

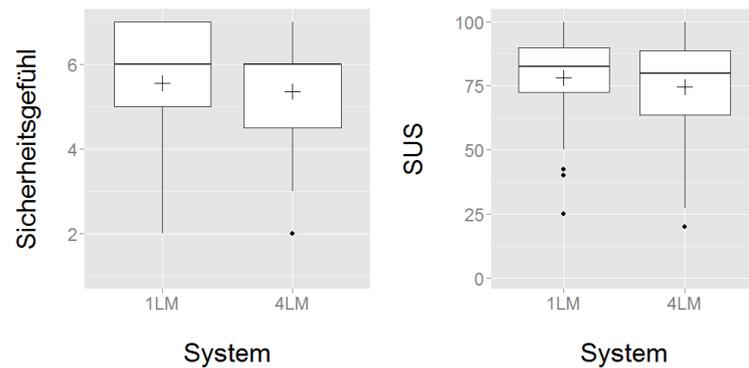


Abbildung 7.21: Einschätzung der Testpersonen bezüglich ihres Sicherheitsgefühls beim Navigieren und „System-Usability-Scale (SUS)“-Werte, aufgeteilt nach Interface-Variante.

P6.6). Dies äußert sich auch in der Bewertung des „System-Usability-Scale“. Hier vergibt dieser Proband den schlechtesten Wert.

Bezüglich dieser Usability-Bewertung des Systems konnten insgesamt zwischen den Interfaces keine Unterschiede festgestellt werden ( $Z = 0,831$ ;  $p = 0,406$ ). Nach Bangor, Kortum und Miller (2009, S. 118) befindet sich der Großteil der Usability-Bewertungen in dem Bereich „gut“ (auf einer siebenwertigen Skala, bei der „gut“ die fünfte Stufe vor „exzellent“ und „nicht besser vorstellbar“ bildet). Es zeigt sich, dass die Prototypen insgesamt sehr positiv aufgenommen wurden. Jedoch ist anzumerken, dass vier Probanden eine Bewertung unter 35 vergeben, was eine sehr schlechte Usability bedeutet (siehe Abbildung 7.21, rechts).

Die offenen Fragen des Fragebogens, die sich auf positive und negative Aspekte während der Navigation bezogen, wurden wie bereits in Experiment zwei mithilfe einer selektiven Codierung mit vordefinierten Codes ausgewertet. Dabei wurden nur Äußerungen bezüglich des Interfaces und der Landmarken berücksichtigt. Nennungen, die sich auf die Experiment-Durchführung bezogen, wurden nicht annotiert.

Die meisten positiven Nennungen bezogen sich auf die dargestellten Landmarken (siehe Tabelle 7.6). In etwa die Hälfte der Probanden äußerte explizit, dass sie die Objekte als hilfreich bei der Orientierung erachtete, wobei mehr Nutzer, die mit mehreren Landmarken navigierten, sich positiv äußerten. Jedoch merkten auch zwei Probanden dieser Gruppe an, dass zu viele Orientierungspunkte angegeben wurden (z. B.: „Die vielen roten Orientierungspunkte verwirren sehr“ (Proband P4.6)). Weiterhin äußerten sich je vier Personen negativ gegenüber den gewählten auffälligen Objekten. Nutzer, die mehrere Landmarken zur Wegfindung zur Verfügung hatten, formulierten ihre Unzufriedenheit eher allgemein (z. B.: „Die Wegpunkte (Spinde, Plakatwände) waren eher irritierend“ (Proband P4.7)).

	Anweisungen	„Karte“	Text	Pfeil	Landmarken
1LM	5	5	12	12	24
4LM	3	4	12	6	34

Tabelle 7.6: Anzahl positiver Äußerungen in den Freitextfragen bezüglich einzelner Interface-Elemente.

Probanden der anderen Gruppen bezogen sich in diesem Zusammenhang auf spezifische Objekte wie die schwer identifizierbare Tür bei Schritt 5. Die nur schlecht sichtbare Treppe bei Schritt 8 adressierten drei weitere Nutzer (1LM: eine Person; 4LM: zwei Personen). Bezüglich der Darstellung der Landmarken wurde von insgesamt fünf Probanden (vier mit 4LM) kritisiert, dass sie mit der Visualisierung als „Punkt“ unzufrieden sind und sich stattdessen Piktogramme gewünscht hätten.

Die Anweisungen im Allgemeinen wurden von acht Probanden als zweckdienlich eingeschätzt. Der Richtungspfeil wurde von Nutzern, die nur eine Landmarke bei der Wegfindung verwendeten, häufiger als hilfreich annotiert. Insgesamt scheinen die Testpersonen, die mehrere Objekte zur Verfügung haben, den Pfeil eher negativ zu sehen. Dies spiegelt sich auch in der Beantwortung der geschlossenen Frage zu diesem Interface-Element wider. Die positive Rezeption der Textanweisung zeigt sich dadurch, dass je zwölf Probanden dieses Element als hilfreich einstufen. Für die beiden Bereiche „Pfeil“ und „Text“ kommt es nur sehr vereinzelt zu negativen Äußerungen (insgesamt eine Nennung bezüglich des Pfeils und pro Interface-Variante eine Nennung bezüglich des Texts). Jedoch adressieren pro Gruppe vier Probanden das Problem bei Schritt 10, das zu einem häufigen „Verlaufen“ geführt hat und beziehen es auf die problematische Formulierung der Textanweisung (z. B.: *„Die Anweisung müsste in der Satzstellung verändert werden - Gehen Sie vor H6 links“* (Proband P9.9)). Das Kartenelement wird von den Nutzern meistens als solches bezeichnet oder als „Netzplan“ beziehungsweise „Wegenetz“, obwohl es nur eine sehr reduzierte Darstellung anzeigt. Neun Nutzer empfanden es als positiv, jedoch äußerten sich auch sieben Probanden negativ gegenüber dieser Darstellung und bezeichneten sie als *„nicht hilfreich“* (Proband P1.12.1) oder *„schwer vorstellbar“* (Proband P2.3). Interessant ist hierbei, dass sechs von sieben Nutzern, die die Karte negativ aufnahmen, mit vier Landmarken navigierten. Ähnlich verhält es sich mit Probanden, die sich explizit eine „echte“ Karte also einen Gebäudeplan wünschen. Von diesen sieben Nutzern, navigierten fünf mit mehreren Landmarken. Zwei weitere Probanden (beides „1LM“-Nutzer) fordern zudem eine Überblickskarte.

Die letzte Gruppe an Äußerungen bezog sich auf die Länge der Abschnitte. Elf Nutzer empfanden diese als zu kurz, insbesondere, wenn zwei ähnliche Türen aufeinander folgen (z. B.: *„Teilweise zu viele Navigationspunkte, z. B. wenn zwei Türen hintereinander sind, durch beide Türen geradeaus durch würde genügen“* (Proband P4.8)). Jedoch äußerten zwei Nutzer, die lediglich eine Landmarke zur Orientierung heranzogen, dass die Abschnitte gut gewählt waren (z. B.: *„Klare Schritte nicht zu lang oder zu kurz“* (Proband P7.4)).

## 7.8 Zusammenfassung und Diskussion

In dieser Studie wurde die Forschungsfrage adressiert, ob ein Unterschied bezüglich der Effizienz der Wegfindung feststellbar ist, wenn unterschiedlich viele Landmarken in einem Interface referenziert werden. Dabei wurde insbesondere eine Darstellung, die lediglich eine Landmarke visualisiert, mit einer weiteren Version, die drei zusätzliche Objekte pro Navigationsschritt anzeigt, verglichen.

Zu diesem Zweck wurden entlang einer im Vergleich zu Experiment eins und zwei neuen Teststrecke für eine Vorauswahl an Objekten Salienz-Bewertungen gesammelt. Daraufhin wurde das Objekt mit der höchsten Bewertung oder ein Objekt, das während der

Navigation „verwendet“ werden musste, als „Hauptlandmarke“ ausgewählt. Dieses Objekt wurde in beiden Varianten referenziert. Die zweite Version zeigte drei weitere Landmarken an.

Als abhängige Variablen wurden die Fehler während der Navigation, die Navigationszeit, die Zeit, die benötigt wird, die Anweisung zu verstehen, sowie Blickdaten der Nutzer gesammelt. Weiterhin wurden subjektive Zufriedenheitsmaße erhoben.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass Probanden, die mehrere Landmarken zur Wegfindung verwendeten, signifikant länger brauchen, um die Anweisung zu verstehen. Weiterhin kehren ihre Blicke häufiger in die Umgebung zurück. Sie betrachten das Kartenelement des Bildschirms signifikant länger und häufiger und kehren pro Schritt mit ihrem Blick signifikant häufiger auf diesen Bereich zurück. Eine weitere Beobachtung ist, dass diese Probanden die zusätzlichen Landmarken in der real-weltlichen Szene kaum bis gar nicht betrachten. Die „Hauptlandmarke“ hingegen wird von beiden Nutzer-Gruppen in etwa gleich lange fixiert.

Weiterhin wurde unabhängig vom Interface eine Abhängigkeit von der Salienz-Bewertung der Landmarke in der jeweiligen Szene festgestellt. Sollte die „Hauptlandmarke“ als wenig auffällig bewertet werden (durchschnittlich unter 2,0 von 5 möglichen Ausprägungen), steigt die Zeit, die benötigt wird, die Anweisung zu verstehen, und die Fixationszeit auf die Karte stark an. Auch treten vermehrt Fehler auf. Für andere Schritte, bei denen die „Hauptlandmarke“ zwar als salient ( $> 3,0$  von 5) jedoch weniger auffällig als die zusätzlichen Landmarken in der Umgebung eingestuft wurde, konnte beobachtet werden, dass die Erkennungs- und Fixationszeit ansteigt. Sollte der Salienz-Unterschied dagegen nur geringfügig sein (unter 0,3) oder die Szene wenig komplex (Branching-Faktor = 3), kommt es nicht zu Navigationsfehlern und die Nutzer können sich orientieren. Wenn der Unterschied deutlich ansteigt ( $> 1,0$ ), kann es zu Navigationsfehlern kommen. Insgesamt ist die Verteilung der Salienz der „Hauptlandmarke“ in dieser Studie eher homogen und es kam nur vereinzelt zu den oben beschriebenen Problemen. Um allgemeingültigere Aussagen bezüglich des Zusammenhangs zwischen Salienz-Bewertung und Navigationseffizienz treffen zu können, sollten Folgestudien durchgeführt werden.

Weiterhin ist die Position der „Hauptlandmarke“ ein wichtiger Einflussfaktor. Wenn diese nicht in Bewegungsrichtung der Nutzer liegt, wird sie teilweise übersehen und es treten Orientierungsprobleme auf. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen der Vorstudie (siehe Kapitel 4.6), in der festgestellt wurde, dass eine Landmarke entgegen der Bewegungsrichtung weniger betrachtet wird und somit leichter „übersehen“ werden kann. Darüber hinaus treten wie in Experiment eins und zwei vereinzelt Probleme auf, wenn ähnliche Landmarken (zum Beispiel zwei Türen) räumlich nahe zusammen liegen.

Bezüglich der subjektiven Zufriedenheitsmaße konnte kein Unterschied zwischen den Interfaces festgestellt werden. Die Nutzer sind mit den gewählten Landmarken zufrieden und erachten die unterschiedlichen Interface-Bereiche als nützlich. Weiterhin vergeben sie relativ gute Usability-Bewertungen für die Navigationsprototypen.

In dieser Studie wurde die Anzahl der zusätzlichen Landmarken auf drei fixiert, so dass insgesamt vier Objekte zur Anzeige kamen. Es ist somit nicht adressiert worden, ob die Darstellung von insgesamt zwei oder drei Landmarken (oder noch deutlich mehr) die Nutzer besser bei der Wegfindung unterstützt. Jedoch zeigen die Blickdaten der Probanden, die die Aufgabe mit mehreren Objekten absolvierten, dass die real-weltlichen

zusätzlichen Objekte so gut wie gar nicht betrachtet wurden. Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass die Nutzer nicht nach zusätzlichen Objekten suchen, um sich zu orientieren. Jedoch sollte die Darstellung einer anderen, womöglich variierenden Anzahl von Objekten in Folgestudien nochmals adressiert werden. Auch könnte untersucht werden, ob und wie diese Objekte zusätzlich in der Textanweisung referenziert werden können.

Auch in dieser Studie äußerten manche Nutzer, dass sie sich eine Darstellung einer Karte wünschen. Die Ergebnisse der Experimente eins und zwei haben gezeigt, dass sehr detailliertes Kartenmaterial bei der Wegfindung ablenkend wirkt. Auch zeigen die Ergebnisse der Studie, die in diesem Kapitel vorgestellt wurde, dass zu viele Objekte die Nutzer verwirren. Bezüglich der Effizienz der Orientierung scheint das Prinzip „weniger ist mehr“ zu gelten. Wie verhält es sich jedoch, wenn Karten zur Anzeige kommen, die explizit für die Wegfindungsaufgabe erstellt und abstrahiert wurden? Ist dann immer noch ein Unterschied zu beobachten, wenn nur auf eine Landmarke verwiesen wird? Diese Forschungsfragen werden im folgenden Kapitel adressiert.

# Darstellung der Umgebung – vereinfachtes Kartenmaterial

## 8.1 Motivation

Die bereits beschriebenen Experimente zeigten, dass Gebäudepläne, die sehr detailliert sind, bei der Wegfindung hinderlich sind.<sup>1</sup> Navigierende benötigen mehr Zeit, sich selbst zu verorten und das Interface bindet signifikant mehr visuelle Aufmerksamkeit. Es stellt sich jedoch die Frage, ob Kartenmaterial, das deutlich weniger Umgebungsinformationen anzeigt, ebenso zu längeren Zeiten bezüglich der Selbstverortung und der Betrachtungsdauer des Interfaces führt. Aus diesem Grund wurden die architektonischen Gebäudepläne der Universität grundlegend überarbeitet und erneut die Hypothese geprüft, dass ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke visualisiert, die Wegfindung effizienter unterstützt als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt. Dabei wird wieder vertieft auf das Blickverhalten während der Wegfindung eingegangen.

Weiterhin stellte sich heraus, dass die Referenzierung mehrerer Landmarken die Wegfinder ablenkt, sodass sie mehr Zeit benötigen, ihre Aufgabe zu erfüllen. Deshalb werden in den nachfolgend beschriebenen Interface-Designs neben einem auffälligen Objekt keine zusätzlichen Landmarken angezeigt.

Im weiteren Verlauf wird zunächst die Testumgebung beschrieben. Daraufhin wird auf das Testmaterial eingegangen, wobei in diesem Zusammenhang vorgestellt wird, wie das Kartenmaterial überarbeitet worden ist, um es der Wegfindungsaufgabe anzupassen. Daraufhin wird die Experiment-Durchführung sowie die Annotation der Eye-Tracker-Daten erklärt. Schließlich werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

---

<sup>1</sup>Das Experiment, das in Kapitel 5 beschrieben ist, wird im Folgenden weiterhin als „Experiment eins“ bezeichnet. Die Studie aus Kapitel 6 wird als „Experiment zwei“ und aus Kapitel 7 als „Experiment drei“ referenziert.

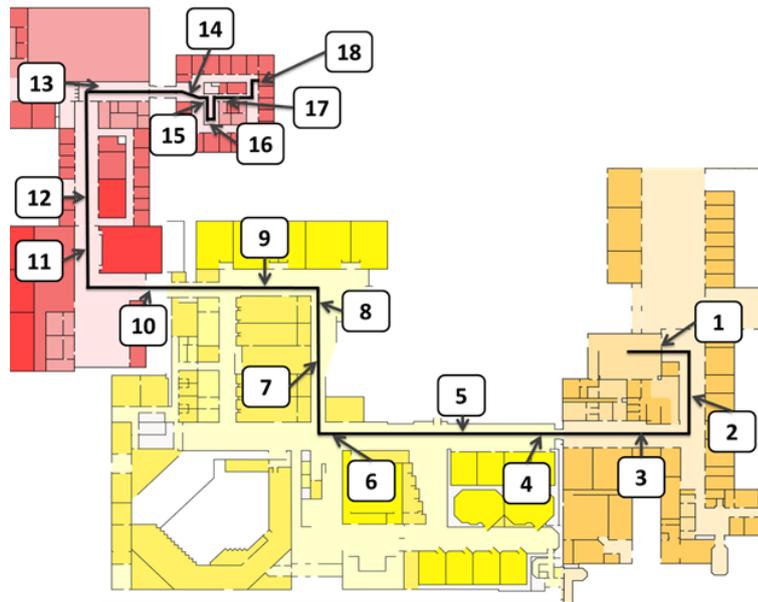


Abbildung 8.1: Testroute mit vermerkter Schrittnummer. Die Pfeile zeigen an, wo die Testperson stand, als sie die Navigationsanweisung erhielt.

## 8.2 Testumgebung

Für dieses Experiment wurde die gleiche Testroute gewählt, die bereits für Experiment drei als Untersuchungsbereich diente. Somit konnte bezüglich der Landmarkenauswahl auf die für Experiment drei durchgeführte Vorstudie zurückgegriffen werden. Die Charakteristika der Testroute sowie die Ergebnisse der Vorstudie sind in Kapitel 7.2 beschrieben. Es handelt sich wie in allen Experimenten um eine Umgebung, die unterschiedliche Situationen umfasst. Die Wegfindung findet sowohl in schmalen Bürofluren als auch in Räumen mit größerem Sichtbereich, wie breiten Gängen und Hallen, statt. Dabei sind unterschiedliche Entscheidungspunkte anzutreffen, die potenzielle und tatsächliche Abbiegungen enthalten. Weiterhin werden auch bestätigende Landmarken entlang des Weges referenziert, falls für einen größeren Abschnitt keine Entscheidungspunkte anzutreffen sind. Als Landmarken, die bei der Wegfindung hilfreich sein sollen, werden wieder vermehrt Treppen und Türen herangezogen, jedoch wird teilweise auch auf andere Objekte wie Hörsäle und „Plakate“ Bezug genommen (siehe Tabelle 8.1).

Anhand der Erkenntnisse des dritten Experiments wurden bezüglich der Routensegmentierung und Landmarkenauswahl mehrere Anpassungen durchgeführt, sodass die Strecke nun aus weniger Schritten besteht (18 statt 22). Die Route ist in Abbildung 8.1 illustriert. Weiterhin ist eine Übersicht der (neuen) Anweisungen und referenzierten Objekte in Tabelle 8.1 gegeben. Dort ist auch die Länge der Routenabschnitte aufgeführt. Diese nimmt ab Schritt 14 deutlich ab, da in diesem Bereich kurze Bürogänge dominieren, die häufige Richtungswechsel erfordern. Zudem ist in der Tabelle der Branching-Faktor der jeweiligen Wegfindungssituation angegeben.

Die Anpassungen gestalteten sich wie folgt: Der erste Schritt wurde außerhalb der Cafeteria gelegt, die in Experiment drei als Startpunkt diente. Mehrere Probanden äußerten, dass sie sich durch die Personen im Aufenthaltsraum beobachtet und dadurch unwohl

S	Anweisung	Landmarke	BF	L
1	Gehen Sie nach der Treppe <i>rechts</i> .	Treppe	4	15,8
2	Gehen Sie nach der Cafeteria <i>rechts</i> .	Cafeteria	3	19,1
3	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	2	25,9
4	Gehen Sie <i>geradeaus</i> an den Plakaten vorbei.	Plakate	2	24,4
5	Gehen Sie <i>geradeaus</i> an der Tür vorbei.	Tür	3	27,1
6	Gehen Sie <i>rechts</i> die Treppe <i>hinauf</i> .	Treppe	4	20,2
7	Gehen Sie <i>geradeaus</i> die Treppe <i>hinab</i> .	Treppe	6	25,5
8	Gehen Sie vor H6 <i>links</i> .	H6	3	14,5
9	Gehen Sie <i>geradeaus</i> an H9 vorbei.	H9	3	33,5
10	Gehen Sie nach der Treppe <i>rechts</i> .	Treppe	5	22,8
11	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	2	17,3
12	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür und dann <i>rechts</i> .	Tür	3	37,8
13	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Türen.	Türen	3	29,9
14	Nehmen Sie die Stufen und gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Stufen,Tür	2	13,1
15	Gehen Sie <i>rechts</i> die Treppe ein Stockwerk <i>hinauf</i> .	Treppe	4	6,5
16	Gehen Sie <i>rechts</i> durch die Tür.	Tür	3	9,5
17	Gehen Sie <i>geradeaus</i> durch die Tür.	Tür	2	8,5
18	Gehen Sie <i>links</i> . Ihr Ziel befindet sich auf der <i>rechten</i> Seite (Raum 113).	Ziel	3	7,2

Tabelle 8.1: Anweisungen und referenzierte Objekte (S = Schrittnummer; BF = Branching-Faktor, also Möglichkeiten, den Weg fortzuführen inklusive der Rückrichtung; L = Länge des Abschnitts in Metern; Richtungsangaben sind kursiv markiert).

fühlten. Zudem wurden folgende Änderungen durchgeführt:

**Schritt 3:** Zwei Schritte wurden zusammgelegt. Eine schlecht erkennbare Brandschutz-tür wurde von den Probanden nicht als solche identifiziert und führte zu Verwirrung (siehe Abbildung 7.10, links unten). Probanden äußerten, dass sie nicht wüssten, ob „das als Tür gilt“ und dass die Referenzierung der Tür „irgendwie komisch“ sei. Dieses als Durchgang wahrgenommene Objekt wird nicht mehr adressiert.

**Schritt 4:** Es wurde eine andere Landmarke herangezogen. Dabei wurde ein Objekt verwendet, das in der Vorstudie die durchschnittlich höchste Salienz-Bewertung erhielt, jedoch aus Gründen der Konsistenz nicht referenziert wurde (siehe Tabelle 7.1, Zeile 6, „Plakate“). Die in Experiment drei verwendete Landmarke führte zu einem häufigen „Verlaufen“ und langen Erkennungszeiten (siehe Kapitel 7.7.1).

**Schritt 8:** Diese Anweisung führte zu einem häufigen „Verlaufen“. Die Satzstellung wurde gemäß des Vorschlags eines Probanden geändert („Gehen Sie vor H6 links“ anstelle von „Gehen Sie links vor H6“). Es wurde nicht auf eine andere Landmarke zurückgegriffen, da kein Objekt in unmittelbarer Umgebung in der Vorstudie eine bessere Salienz-Bewertung erhielt.

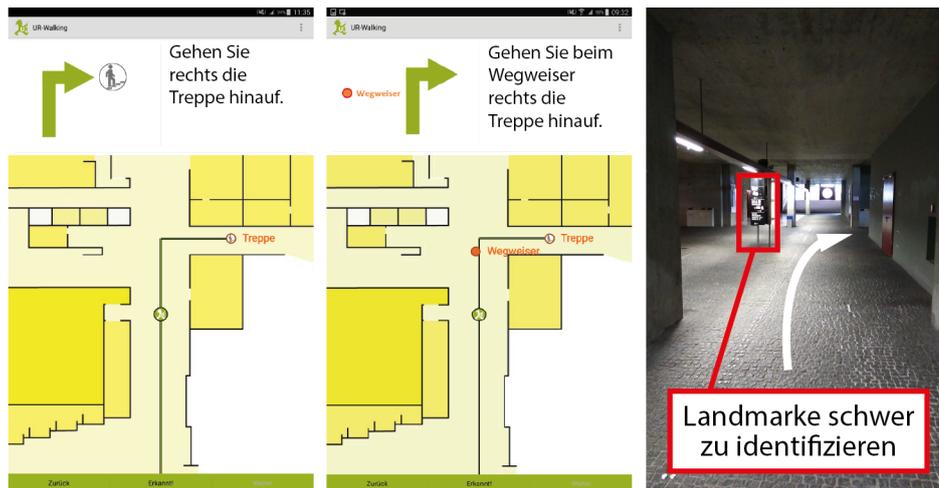


Abbildung 8.2: Mögliche Anpassung des Interface-Designs (links: Darstellung lediglich einer Landmarke, die schlecht sichtbar ist; mittig: zusätzliche Referenzierung eines „Wegweisers“; rechts: Szenenbild).

**Schritt 12:** Probanden hatten bei einer Abbiegung nach rechts Probleme, die Anweisung zu verstehen, da mehrere ähnliche Landmarken in unmittelbarer Umgebung angeordnet sind (siehe Abbildung 7.10, rechts unten). Aus diesem Grund wurde die Richtungsanweisung einen Schritt vorgezogen („Gehen Sie geradeaus durch die Türen und dann rechts“).

**Schritt 13:** Testpersonen äußerten mehrfach, dass sie die Routensegmentierung als zu kleinschrittig empfanden, insbesondere wenn zwei Türen aufeinander folgen. Deshalb wurden zwei Schritte zusammengelegt und gemäß den Vorschlägen der Probanden formuliert („Gehen Sie geradeaus durch die Türen“).

**Schritt 14:** Wie bei Schritt 13 wurden zwei kleinere Schritte zusammengeführt. Dies führt bei diesem Schritt dazu, dass sowohl „Stufen“, als auch eine Tür, als Landmarke referenziert werden, da beide verwendet werden müssen.

Weiterhin hatten Nutzer Probleme, eine schlecht sichtbare Landmarke zu finden (siehe Abbildung 7.13). Dies führte zu langen Blick- und Erkennungszeiten. Diese Landmarke muss jedoch zwingend referenziert werden, da sie verwendet werden muss (Schritt 6: „Treppe“). Zur Lösung dieses Problems wurde zunächst zusätzlich eine Landmarke referenziert, die hohe Salienz-Bewertungen in der Vorstudie erhielt (siehe Tabelle 7.1, Zeile 8, „Wegweiser“). Dies resultierte im Interface-Design, das in Abbildung 8.2 (mittig) zu sehen ist. Jedoch haben sich bei der Pre-Study mit je einem Probanden pro Interface-Variante beide Nutzer bei diesem Schritt verlaufen. Die Probanden äußerten, dass sie den Wegweiser nicht als solchen identifizieren konnten. Sie gingen weiter geradeaus auf der Suche nach weiteren Schildern. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass sich dieses Objekt entgegen der Bewegungsrichtung der Nutzer befindet. Bereits in der Vorstudie, die in Kapitel 4 beschrieben ist, stellte sich heraus, dass Objekte an dieser Position weniger geeignet sind. Aus diesem Grund wurde für diese Studie die Anweisung „Gehen Sie rechts die Treppe hinauf“ nicht durch eine weitere Landmarke ergänzt. In diesem Zu-

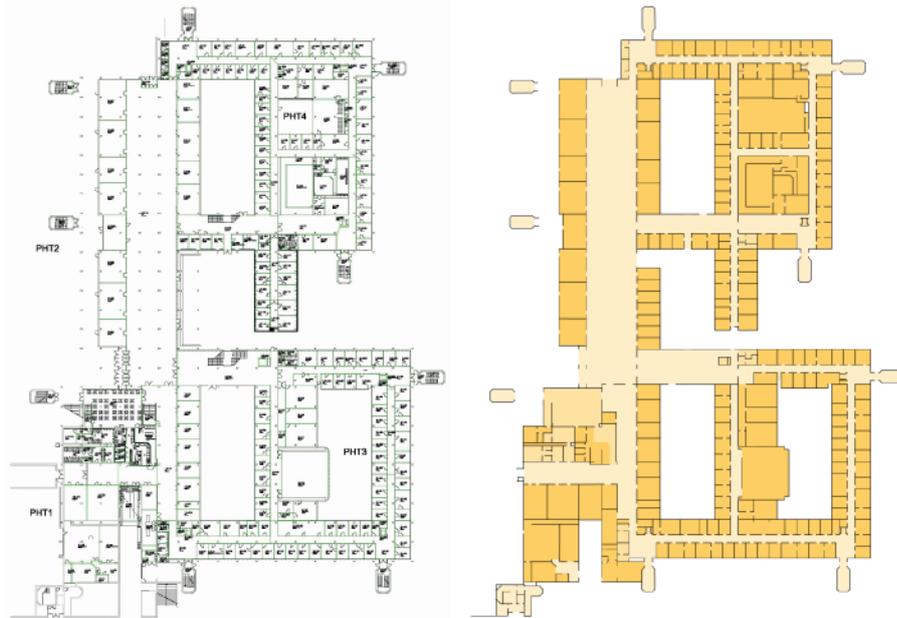


Abbildung 8.3: Überarbeitung der Kartendarstellung (links: Gebäudepläne der Universität; rechts: neues Kartenmaterial).

sammenhang kann dadurch untersucht werden, ob das überarbeitete Kartenmaterial bei dieser offensichtlich schwierigen Situation hilfreich sein kann.

Das Interface-Design, das bereits in Abbildung 8.2 dargestellt wurde, wird im Folgenden beschrieben. Weiterhin wird auf den verwendeten Fragebogen eingegangen.

## 8.3 Testmaterial

Da die Analyse der Blickdaten Forschungsschwerpunkt meiner Arbeit ist und Experiment eins gezeigt hat, dass zur genauen Feststellung der Blicke auf unterschiedliche Interface-Bereiche eine relativ große Hardware benötigt wird, wurde als Testgerät ein Samsung Galaxy Tab S gewählt. Die Bildschirmdiagonale dieses Tablets misst 26,7 Zentimeter (10,5 Zoll). Zur Erfassung der Blickdaten wurde ein im Vergleich zu den bereits beschriebenen Experimenten neues Eye-Tracker-Modell verwendet. Der „SMI Eye-Tracking Glasses 2“-Eye-Tracker misst die Blicke mit 60 Hz anstatt 30 Hz und liefert demnach genauere Daten. Weiterhin müssen die Probanden keinen Laptop in einem Rucksack mitführen. Das Aufnahmegerät ist bei diesem Modell ein Smartphone, das in einer kleinen Tasche um den Bauch getragen werden kann (siehe Kapitel 3.3.2).

### 8.3.1 Interface

Im Rahmen der Überarbeitung der architektonischen Gebäudepläne wurden folgende Änderungen durchgeführt (siehe Abbildung 8.3):

Da der Außenbereich während der Wegfindung im Inneren nicht rezipiert werden kann, wurden alle Elemente außerhalb eines Gebäudes vollständig weggelassen. Die in Abbildung 8.3 (rechts) sichtbaren nicht angeschlossenen Bereiche sind Treppenhäuser,

die erst ein Stockwerk höher ins Gebäudeinnere führen. Weiterhin wurden architektonische Besonderheiten wie die Dicke der Wände oder eingezeichnete Lüftungsschächte nicht kenntlich gemacht. Auf Beschriftungen der Gebäudeteile wurde verzichtet.

Da sich in Experiment drei herausgestellt hat, dass die Referenzierung mehrerer Objekte zu längeren Wegfindungszeiten führt, wurden potenzielle Landmarken nicht im Kartendesign berücksichtigt. Sollte innerhalb einer Navigationsanweisung auf ein Objekt verwiesen werden, wird dieses durch ein Icon dargestellt. Aus diesem Grund sind Raumnummern, Treppen, Säulen, Sitzbänke, Spinde, Aufzüge und Ähnliches nicht mehr eingezeichnet. Bei Türen wurde darauf verzichtet, die Schließrichtung visuell darzustellen, jedoch wurden innerhalb der Karten an Tür-Standorten Aussparungen in den Raumwänden eingefügt. Es wurde nicht komplett auf die visuelle Darstellung von Türen und Durchgängen verzichtet, da eine Route potenziell durch eine Durchgangstür führen könnte, die nicht Teil der Navigationsanweisung ist und somit nicht als Icon dargestellt wird. Dies ist beispielsweise bei Schritt 3 der Fall. Sollte keine Aussparung vorhanden sein, würde die Routendarstellung den Eindruck erwecken, der Wegfinder solle durch eine Wand laufen.

Räume sind farblich anders gestaltet als Gänge, da sie nicht begehbar sind. Die farbliche Unterscheidung von begehbaren und nicht begehbaren Bereichen wurde in Anlehnung an Schnitzler et al. (2016, S. 87) vorgenommen. Die Markierung von Gängen ist auch bei Papierkarten üblich (siehe z. B.: Hund & Nazarczuk, 2009, S. 154). Jegliche Mauer wurde im Kartenmaterial beibehalten, sodass auch die Trennwände zwischen Räumen angezeigt werden. Diese Art der Darstellung ist in verwandten Forschungsarbeiten verbreitet (siehe z. B.: Münzer & Stahl, 2011; Nikander et al., 2013) und wird von Butz et al. (2001, S. 28) vorgeschlagen, sofern keine genauen Daten über den Nutzerstandort und die Ausrichtung der Wegfinder bekannt sind. Insgesamt wurde somit eine deutliche Reduktion der dargestellten Informationsmenge vorgenommen, jedoch eine gängige Darstellungsart von Karteninformation gewählt. Die Farbe der Karten (im Beispiel orange) orientiert sich an den Farben des Corporate Designs der Universität Regensburg. Die Überarbeitung des Kartenmaterials wurde von einer studentischen Hilfskraft (Andrea Hansbauer) durchgeführt.

Das Interface gestaltet sich sehr ähnlich zu dem aus Experiment drei und ist somit wieder in drei Bereiche eingeteilt. Im rechten oberen Teil wird eine Textanweisung angezeigt, die eine Richtungsangabe und die Referenzierung der Landmarken enthält. Die Textanweisung wurde in diesem Experiment größer gestaltet, um die Annotation der Blicke auf dieses Element zu erleichtern.<sup>2</sup> Eine Übersicht aller Textanweisungen ist in Tabelle 8.1 gegeben. Links neben der Textanweisung wird wieder ein Richtungspfeil nach Butz et al. (2001, S. 28) visualisiert, der zudem ein Landmarken-Icon anzeigt. Letzteres ist bezüglich der relativen Lage der Landmarke neben dem Pfeil platziert. Sofern es sich bei dem Objekt um eine Treppe oder Tür handelt, wird ein Piktogramm verwendet. Bei Landmarken, wie beispielsweise den Plakaten oder Hörsälen, wird ein Punkt für die Position dargestellt. Dieser ist zudem mit einer Beschriftung versehen. In Abbildung 8.4 ist ein Beispiel für einen Richtungspfeil zu sehen, der auf eine Landmarke mit Beschriftung verweist. In Abbildung 8.2 (links) ist ein Schritt abgebildet, der ein Piktogramm visualisiert. Die

---

<sup>2</sup>Bezüglich der Größe der Textdarstellung haben sich die Probanden in keinem der Experimente negativ geäußert.



Abbildung 8.4: Interface-Designs (links: reduzierte Darstellung; rechts: überarbeitetes Kartenmaterial). Die Screenshots zeigen Schritt 2 der Navigation.

Textanweisung und die Richtungspfeile sind für beide Interface-Versionen identisch.

Der größte Bereich in der Mitte des Bildschirms zeigt gemäß meiner Forschungsfrage entweder das überarbeitete Kartenmaterial (siehe Abbildung 8.4, rechts) oder die reduzierte Darstellung an, die lediglich die Route und die referenzierte Landmarke visualisiert (siehe Abbildung 8.4, links). Letztere wird wie in Experiment zwei im Folgenden als „Graph“-Interface bezeichnet. In beiden Varianten wird die zu absolvierende Route anhand eines grünen Strichs dargestellt. Diese Visualisierung basiert auf dem Umgebungsmodell der Universität (siehe Müller et al., 2014). Dabei wurde die Route wieder manuell extrahiert und Landmarken, sofern diese nicht bereits Teil des Modells waren, verortet und wenn nötig mit einem Namen versehen (z. B.: „Plakate“). Auch in diesem Experiment stand keine Lokalisierungskomponente zur Verfügung. Der erwartete Standort der Nutzer ist mit einem Icon visualisiert, das ein kleines Männchen darstellt. Die bereits absolvierte Route wird, sofern sie sich im gleichen Gebäudeteil befindet, weiterhin angezeigt. Die Zoom-Stufe ist so fixiert, dass die Route und die Landmarke immer zu sehen sind. Wie in Kapitel 7.3.1 beschrieben war eine dynamische Ausrichtung der Karte für diese Teststrecke nicht möglich. Als Konsequenz wurde das Kartenelement wie bei Experiment eins und drei in Bewegungsrichtung der Nutzer ausgerichtet. Man kann somit bei dieser Art der Darstellung wieder von einem „worst case“-Szenario ausgehen, bei dem keine verlässlichen Sensordaten zur Verfügung stehen.

Am unteren Rand des Bildschirms sind drei Buttons platziert. Sofern die Probanden die Anweisung verstanden hatten, sollten sie auf den mittleren Button „Erkannt“ klicken. Erst nach Betätigung dieses Elements wurde der Button rechts davon („Weiter“) aktiviert, der geklickt werden sollte, nachdem das Ziel des Routenabschnitts erreicht wurde. Zudem ist ein Button „Zurück“ vorhanden. Dieser sollte dazu dienen, im Falle eines „Verlaufens“ wieder zum „richtigen“ Schritt zurückkehren zu können, falls dies nötig war. Die Testsoftware basiert auf der gleichen Android-Applikation, die bereits für Experiment zwei und drei verwendet wurde. Diese wurde für die Experimente angepasst.

### 8.3.2 Fragebogen

Es wurde der gleiche Fragebogen herangezogen, der bereits bei Experiment drei verwendet wurde (siehe Kapitel 7.3.2). Dieser erfasst auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala von „lehne stark ab“ bis „stimme stark zu“ die Vorerfahrungen zu Smartphones und Fußgänger-Navigationssystemen sowie die schon vor dem Experiment bestehende Ortskenntnis für jeden der drei Gebäudeteile, die in Abbildung 8.1 farblich unterschiedlich dargestellt sind. Zudem wurde wieder eine Selbsteinschätzung des Orientierungssinns anhand des Fragebogens zu räumlichen Strategien von Münzer und Hölscher (2011) erfasst. Die Nützlichkeit der gewählten Landmarken sowie der unterschiedlichen Interface-Elemente wurde anhand geschlossener und offener Fragen erhoben. Auch die summative Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit des Systems anhand der „System-Usability-Scale“ wurde beibehalten.

Zusätzlich zu dem bereits verwendeten Testmaterial wurde der „NASA-TLX (Task Load Index)“ verwendet, um den empfundenen Workload – also das Belastungsniveau während der Aufgabe – zu messen (Hart & Staveland, 1988). Auch dieser Fragebogen ist ähnlich wie der „System-Usability-Scale“ ein weit verbreitetes Messinstrument in der Fußgänger-Navigationsforschung (siehe z. B.: Goodman et al., 2004; Partala & Salminen, 2012; N. Wenig et al., 2017) und kommt aus diesem Grund auch in dieser Untersuchung zum Einsatz.

## 8.4 Testpersonen

Der Stichprobenumfang dieses Experiments beträgt 118, davon waren 60 Probanden männlich. Die Testpersonen waren im Durchschnitt 23,36 Jahre alt (SD = 5,00; Minimum: 18 Jahre, Maximum: 54 Jahre). Beinahe alle Teilnehmer waren Studierende (110 Probanden). An dieser Studie durfte niemand teilnehmen, der bereits an Experiment drei beteiligt war. Außerdem war wieder die Einschränkung gegeben, dass Probanden mit Brille nicht herangezogen werden durften, da dies die Funktionsfähigkeit des Eye-Trackers beeinträchtigt.

Die Verteilung der Smartphone-Erfahrung ist mit einem Durchschnitt von 5,78 auf einer siebenwertigen Skala und einem Median von 6 (SD = 1,78) sehr ähnlich wie in den bereits beschriebenen Experimenten. Die Probanden kennen sich sehr gut mit Smartphones aus. Die Vorerfahrung mit Fußgänger-Navigationssystemen ist im Vergleich zu Experiment zwei und drei nur geringfügig höher bewertet und bewegt sich immer noch im unteren Bereich (M = 3,25; SD = 1,67).

Der Orientierungssinn nach Münzer und Hölscher (2011) ist eher durchschnittlich ausgeprägt und unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Interfaces ( $t(115) = 1,105$ ;  $p = 0,272$ ), auch wenn Graph-Nutzer bezüglich dieser Variable etwas höhere Werte angeben (siehe Abbildung 8.5, rechts). Auch die Ortskenntnis, gemittelt über die gesamte Teststrecke, unterscheidet sich nicht signifikant ( $Z = 1,03$ ;  $p = 0,301$ ). Diese Variable ist sehr heterogen verteilt (siehe Abbildung 8.5, links). Dort ist auch zu sehen, dass sich die Probanden im Durchschnitt im zentralen Hörsaalgebäude („OKS2“) etwas besser auskennen, wohingegen das Gebäude „Wirtschaft und Recht“ („OKS3“) unbekannter ist.

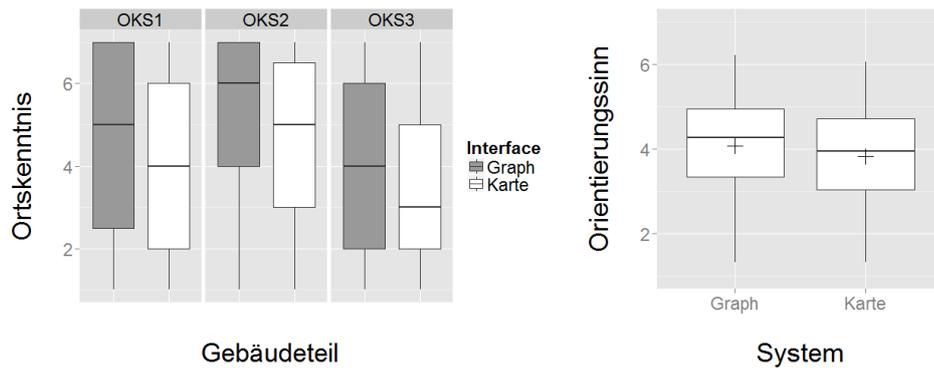


Abbildung 8.5: Ortskenntnis und Orientierungssinn der Testpersonen, gemessen auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala. Die Ortskenntnis ist nach Gebäudeteilen aufgeteilt (OKS1 = „Philosophie und Theologie“; OKS2 = „zentrales Hörsaalgebäude“; OKS3 = „Wirtschaft und Recht“).

## 8.5 Experiment-Durchführung

Das Experiment wurde im Winter 2016/2017 zwischen 10:00 Uhr und 16:00 Uhr durchgeführt. Zwei studentische Testleiter begleiteten die Testpersonen während des Experiment-Durchlaufs. Die Studierenden wählten zudem die Probanden aus. Die Testleiter erhielten eine detaillierte Einführung bezüglich des Experimentablaufs (circa 90 Minuten) sowie zusätzliche Bögen mit Instruktionen. Die Handhabung des Eye-Trackers wurde gruppenweise in einer circa 60-minütigen Einführung erklärt und geübt (zwei Personen pro Gruppe). Der Test selbst lief wie folgt ab: Zunächst wurden die Probanden außerhalb des Gebäudes „Philosophie und Theologie“ abgeholt. Daraufhin füllten sie an einem Ort, der nicht Teil der Teststrecke war, den ersten Teil des Fragebogens aus, der demografische Daten, die Vorerfahrung mit Smartphones und Fußgänger-Navigationsgeräten sowie eine Selbsteinschätzung des Orientierungssinns abfragte. Daraufhin wurde der Eye-Tracker aufgesetzt, kalibriert und das Aufnahmegerät in der Bauchtasche verstaut. Die Applikation wurde gestartet und die Funktionsweise der Testsoftware anhand des ersten Schritts beschrieben. Dieser wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt. In Experiment drei hat sich herausgestellt, dass sich die gesamte Zeit, die Wegfindungsaufgabe zu lösen, nicht signifikant unterscheidet. Jedoch zeigten die Ergebnisse bezüglich der Zeit, die benötigt wird, die Anweisung zu verstehen, signifikante Unterschiede auf. Folglich wurde auch in diesem Experiment dieses Orientierungsintervall abgefragt. Zu diesem Zweck mussten die Probanden den Button „Erkannt“ drücken, sobald sie „anhand der Anweisung verstanden haben, wohin sie weiter gehen sollen“. Diese Instruktion wurde den Teilnehmern wörtlich vorgelesen. Weiterhin mussten die Probanden selbst entscheiden, wann sie die nächste Anweisung sehen wollten, da keine Lokalisierungskomponente zur Verfügung stand. Dies mussten sie anhand des Betätigens des „Weiter“-Buttons signalisieren. Die wörtliche Erklärung zur Funktion dieses Buttons lautete wie folgt:

Drücken Sie bitte auf „Weiter“, sobald Sie das Ziel der jeweiligen Anweisung erreicht haben. Lautet die Anweisung z. B.: „Gehen Sie durch die Tür“ klicken Sie bitte auf „Weiter“ unmittelbar nachdem Sie durch die Tür gegangen sind.

Hatte die Person keine Fragen mehr, wurde der eigentliche Experiment-Durchlauf gestartet. Wie bereits in allen vorigen Experimenten, wurde das Ziel der Anweisung nicht bekannt gegeben, um zu vermeiden, dass die Probanden lediglich anhand ihrer kognitiven Karte zu diesem Punkt finden. Die Wegfinder erhielten keine Hinweise während der Aufgabe, außer es wurde explizit geäußert, dass sie ohne Hilfe nicht zum Ziel finden können. Dies wurde als ein „Verlaufen“ im Fragebogen notiert. Als Hilfestellung für diese Annotation wurde den Testleitern wie in Experiment drei eine Übersicht aller Schritte mit Schrittnummer, Anweisungstext, referenziertem Objekt und Abbildung des Richtungspfeils bereitgestellt. Neben dem Fragen nach Hilfe wurde das Einschlagen einer falschen Richtung an einem Entscheidungspunkt als „Verlaufen“ vermerkt. In diesem Zusammenhang wurde der „Zurück“-Button dazu eingesetzt, den Schritt zur Anzeige zu bringen, ab dem die Navigation fortgeführt werden sollte. In diesem Fall wurden die Probanden wieder zu dem Punkt geführt, an dem sie sich verlaufen hatten und erhielten somit einen „neuen Versuch“. Für solche Fälle wurde die Erkennungszeit der beiden Versuche summiert.

Am Ziel der Strecke wurde der Eye-Tracker abgenommen und die Aufnahme beendet. Die Testperson musste daraufhin den zweiten Teil des Fragebogens ausfüllen, der Fragen zur Ortskenntnis und Nützlichkeit des Systems sowie den „System Usability Scale“ und den „NASA-TLX (Task Load Index)“ umfasste.

Es wurde wieder auf ein Studien-Design mit unverbundenen Stichproben zurückgegriffen, sodass 59 Probanden mit dem Karten-Interface navigierten und 59 Teilnehmern die Graph-Ansicht zugewiesen wurde. Auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis wurde geachtet.

## 8.6 Annotation der Eye-Tracker-Daten

Auch die Daten der „neuen“ Eye-Tracking-Hardware müssen wie in den bereits beschriebenen Experimenten annotiert werden. Zu diesem Zweck wurde das Referenzbild, das in Abbildung 8.6 dargestellt ist, erstellt und mit Areas-of-Interest versehen.

Für jeden Navigationsschritt wurde ein gesondertes Bild erstellt. Diese sind identisch gestaltet und gliedern sich wie in den anderen Experimenten in mehrere Bereiche auf: Auf der linken Seite ist ein Screenshot abgebildet, der gemäß der Aufteilung des Interfaces neben den Buttons drei Areas-of-Interest umfasst. Diese sind der Richtungspfeil (Markierung „1“), die Textanweisung (Markierung „2“) sowie das Kartenelement, das für meine Fragestellung die höchste Relevanz aufweist (Markierung „3“). Weiterhin werden Blicke außerhalb des Bildschirms auf zwei Bereiche neben dem Screenshot übertragen. Da in diesem Experiment nicht mehrere unterschiedliche Landmarken referenziert werden, wurde anders als bei Experiment drei für das Design des Referenzbildes auf eine Fotografie der Landmarke verzichtet. Diese wird abstrakt mit einer Beschriftung „Landmarke“ dargestellt (Markierung „4“). Der letzte Bereich des Referenzbildes repräsentiert die Umgebung (Markierung „5“). In diese Areas-of-Interest werden alle Blicke, die für die landmarkenbasierte Orientierung relevant sind, übertragen. Diese umfassen alle Fixationen bis auf Blicke auf den Boden und die Decke sowie auf Passanten. Weiterhin werden Fixationen auf Treppen, während diese begangen werden, sowie Türen, während diese geöffnet werden, nicht annotiert. Alle zuletzt genannten Blicke dienen der Fortbewegung

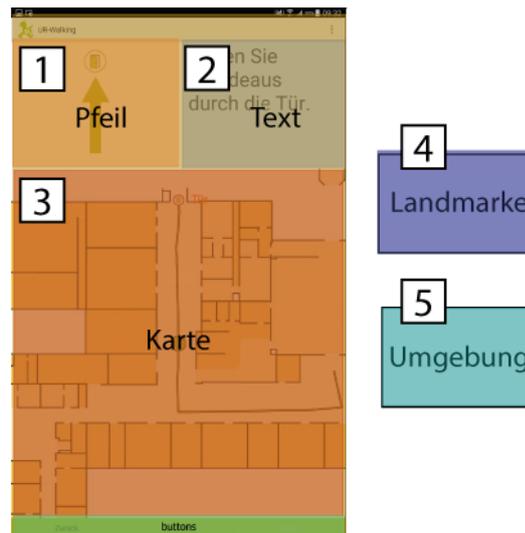


Abbildung 8.6: Festgelegte Areas-of-Interest für die Datenanalyse mithilfe des mobilen Eye-Trackers.

oder dem Vermeiden von Hindernissen in der Umgebung und sind somit für meine Fragestellung nicht relevant.

In Abbildung 8.7 (unten) ist dargestellt, wie eine beispielhafte Annotationssituation bei einem Blick auf das Interface aussieht. In diesem Fall fällt der Blick des Probanden auf das Kartenelement. Im mittleren Bereich wird eine Landmarke, die nicht referenziert ist, betrachtet (ein Aufzug). Diese Fixation wird auf den Bereich „Umgebung“ übertragen. Oben in Abbildung 8.7 betrachtet ein Proband die Landmarke „Plakate“.

## 8.7 Ergebnisse

Da die bereits durchgeführten Studien gezeigt haben, dass eine zusätzliche Anzeige von Umgebungsinformationen bei der Wegfindung hinderlich ist, wird auch bezüglich des überarbeiteten Kartenmaterials die gleiche Hypothese wie in Experiment zwei geprüft:

- $H_1$ : Ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterstützt die Wegfindung besser, als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt.
- $H_0$ : Ein Interface, das lediglich die Route sowie eine Landmarke beinhaltet, unterstützt die Wegfindung nicht besser, als ein Interface, das zusätzlich eine Karte anzeigt.

Als abhängige Variablen werden die Fehler während der Navigation, die Zeit zur Zielerreichung und Orientierung sowie das Blickverhalten herangezogen. Zudem werden subjektive Zufriedenheitsmaße durch einen Fragebogen mit offenen und geschlossenen Fragen erhoben, darunter auch der „System Usability Scale“. Weiterhin wird anhand des „NASA-TLX (Task Load Index)“ die empfundene Belastung während der Navigation gemessen.

Da der erste Navigationsschritt zur Erklärung des Interfaces diente, wurde er in der Auswertung nicht berücksichtigt. Auch der letzte Schritt, der lediglich auf das Ziel ver-



Abbildung 8.7: Annotation der Eye-Tracker-Daten (oben: Blick auf eine Landmarke; mittig: Fixation eines Objektes der Umgebung, das nicht referenziert wurde; unten: Blick auf den Bildschirm).

weist und somit keine anhand von Nutzerbefragungen erfasste Landmarke referenziert, wurde nicht in die Berechnungen eingeschlossen.

### 8.7.1 Zeit und Fehler

Die Verteilung der Navigationsfehler gestaltet sich zwischen den Interface-Varianten fast identisch: Pro Variante haben sich zehn Probanden verlaufen. Mit dem Karten-Interface verlief sich eine Person zwei Mal, mit der Graph-Darstellung eine Person drei Mal. Offensichtlich ist ein Orientierungsproblem, das zu einem Fehler führt wie bei allen bereits durchgeführten Experimenten nicht vom Interface abhängig. In diesem Experiment wurden die Probanden, falls sie an einem Entscheidungspunkt falsch abbogen, zu dem Punkt zurückgeführt, bei dem Probleme aufgetreten sind. Alle Testpersonen konnten bei einem „zweiten Versuch“ die Situation erkennen und selbstständig lösen. Insgesamt tritt ein „Verlaufen“, trotz gleicher Testroute, seltener auf, als bei Experiment drei (17 % im Vergleich zu 31 %). Insbesondere Probanden des dritten Experiments, die mehrere Landmarken zur Orientierung verwendeten, verliefen sich deutlich häufiger (44 %).

Interface/Schritt	2	3	5	6	7	8	10	11	14	15
Graph	1	2	1	0	1	2	1	1	3	0
Karte	3	1	0	2	0	1	0	0	2	2

Tabelle 8.2: Anzahl der Probanden, die sich verlaufen haben, aufgeteilt nach Interface und Navigationsschritt. Bei Schritten, die nicht aufgeführt sind, sind keine Probleme aufgetreten. Zwei Personen verliefen sich mehr als ein Mal.

Bezüglich der Situationen, bei denen Probleme auftraten (siehe Tabelle 8.2), ist zu beobachten, dass Nutzer häufig zu Beginn der Testroute Orientierungsprobleme haben (Schritte 2 und 3; drei Graph-Nutzer und vier Karten-Nutzer). Die initiale Selbstverortung ist eine kognitiv herausfordernde Aufgabe, die zudem zu langen Fixationszeiten auf dem Bildschirm führt (siehe Schnitzler et al., 2016, S. 91 und Abbildung 8.13). Auch in den bereits beschriebenen Experimenten konnte beobachtet werden, dass am Anfang der Navigation vermehrt Fehler auftreten. Die Probleme der Probanden sind zu Beginn der Aufgabe sehr unterschiedlich ausgeprägt. Ein Nutzer äußert in diesem Zusammenhang, dass ihm die Tür bei Schritt 3 nicht aufgefallen sei (Proband P23.3), ein anderer notiert in den Freitextfragen „nach der Treppe rechts und nach der Cafete rechts war doppelt“ (Proband P2.4), obwohl tatsächlich zwei Mal abgebogen werden musste.

Bei Schritt 6 musste eine Treppe verwendet werden, die im Rahmen der Vorstudie als wenig salient eingestuft wurde (siehe Tabelle 7.1, Zeile 8). Zwei Karten-Nutzer haben in diesem Zusammenhang immer noch Probleme, sich zu verorten, wohingegen Graph-Nutzer keine Probleme mehr haben. Die zusätzliche Anzeige einer Karte kann in dieser Situation demnach die Wegfindung nicht erleichtern.

Auch bei Schritt 8, bei dem die Landmarke nicht in Bewegungsrichtung der Nutzer liegt, konnte trotz veränderter Satzstellung der Textanweisung ein „Verlaufen“ nicht gänzlich vermieden werden. Drei Nutzer orientieren sich immer noch unmittelbar in die Richtung der Abbiegung und „übersehen“ dadurch das Objekt, sodass sie danach nach der Landmarke suchen und sich verlaufen.

Insgesamt ist jedoch zu sagen, dass bei den Schritten 6 und 8, bei denen im Rahmen

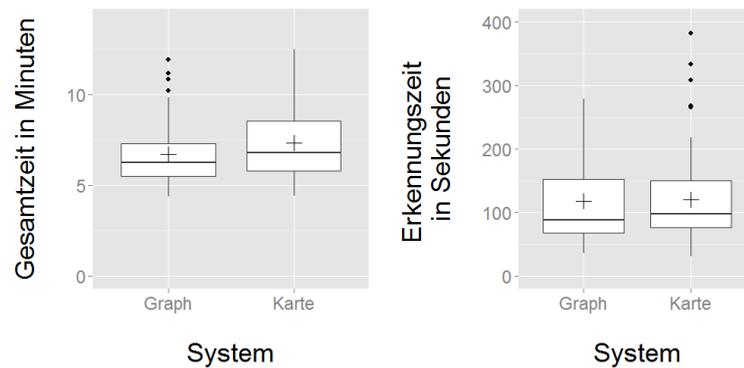


Abbildung 8.8: Gesamte Navigations- und Erkennungszeit, aufgeteilt nach Interface-Variante.

von Experiment drei häufig Probleme aufgetreten sind, die Anzahl des „Verlaufens“ deutlich zurückgegangen ist (vorher Schritt 6: neun Mal, Schritt 8: fünf Mal bei etwa gleicher Probandenanzahl).

Am problematischsten sind in diesem Experiment die Schritte 14 und 15 (sieben Vorkommnisse). Bei Schritt 14 wurden im Vergleich zu Experiment drei zwei Schritte zusammengelegt, da viele Probanden äußerten, sie empfänden die Einteilung des Weges als zu kleinschrittig (siehe Kapitel 8.2). Die Schritte einzeln führten in Experiment drei nicht zu gravierenden Problemen. Die Zusammenführung resultierte darin, dass zwei Landmarken referenziert wurden („Nehmen Sie die *Stufen* und gehen Sie durch die *Tür*“). Die Probanden haben in diesem Zusammenhang Schwierigkeiten, sich zu orientieren. Dies führt auch zu langen Erkennungszeiten und Fixationszeiten auf dem Kartenelement bei Schritt 14 – vor allem von Karten-Nutzern (siehe Abbildung 8.9 und 8.13). Eine vermehrte Betrachtungsdauer der Landmarken wurde jedoch nicht festgestellt. Die Probleme der Teilnehmer sind dabei unterschiedlich: Zwei Probanden gehen beispielsweise geradeaus weiter durch mehrere Türen und fordern keine neue Anweisung an. Dies kann durch die Textanweisung begründet sein, die unmittelbar vor Schritt 14 lautete, man solle geradeaus durch „die Türen“ gehen. Somit könnte die Erwartungshaltung entstanden sein, man solle nun mehrfach durch mehrere Türen gehen. Weiterhin werden die Stufen nicht als solche wahrgenommen, sodass Probanden nach einer weiteren Treppe Ausschau halten und denken, dass das referenzierte Objekt bei Schritt 15 (Treppe) gemeint sei. Somit sind manche Probanden bei Schritt 15 verwirrt, da sie den Unterschied zwischen den Stufen und der Treppe nicht verstehen. Dies zeigt, dass die Referenzierung mehrerer Objekte die Probanden verunsichert. Diese Ergebnisse decken sich mit denen aus Experiment drei, die zeigten, dass die Anzeige mehrerer auffälliger Objekte die Effizienz der Wegfindung einschränkt.

In Abbildung 8.8 (links) ist zu sehen, dass die Probanden, die eine Karte zur Verfügung hatten, im Schnitt etwas länger brauchten, um die Aufgabe zu absolvieren. Jedoch ist dieser Unterschied nicht signifikant ( $Z = -1,58$ ;  $p = 0,115$ ). Insgesamt benötigen die Probanden etwa 7 Minuten und 46 Sekunden für die gesamte Strecke und sind somit deutlich langsamer als die Probanden des dritten Experiments (6 Minuten und 20 Sekunden). Dies kann darin begründet sein, dass die Teilnehmer im Falle eines „Verlaufens“ anders als in Ex-

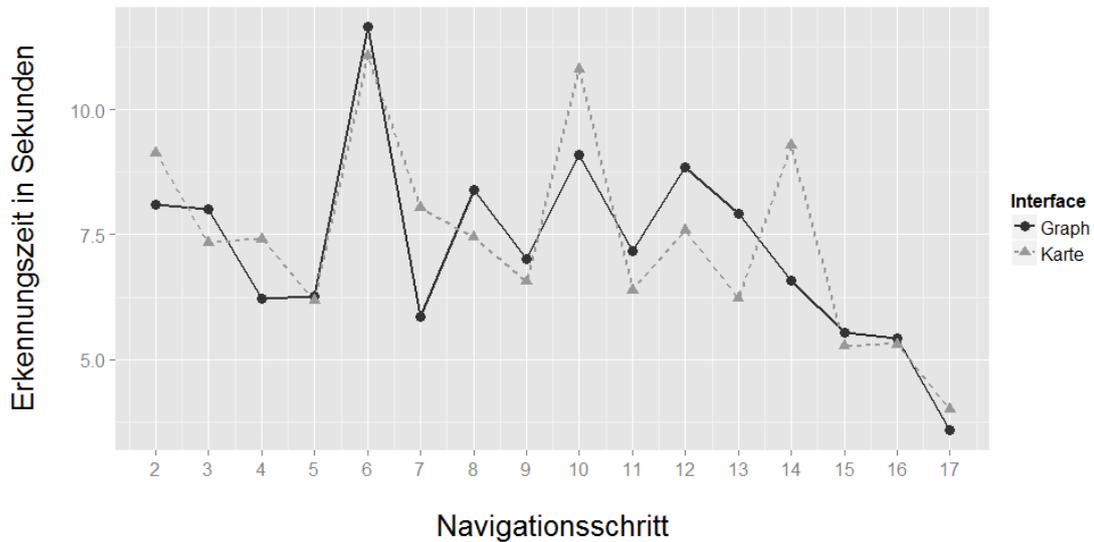


Abbildung 8.9: Erkennungszeit pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

periment drei zu einem problematischen Schritt zurückgeführt wurden und somit einen „neuen Versuch“ erhielten.

Auch bezüglich der aufsummierten Erkennungszeit über alle Schritte wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt ( $Z = -0,576$ ;  $p = 0,565$ ; siehe Abbildung 8.8, rechts). Betrachtet man jedoch die einzelnen Erkennungszeiten der Schritte, so lassen sich signifikante Unterschiede feststellen ( $Z = -2,50$ ;  $p = 0,013$ ). Im Schnitt benötigen Graph-Nutzer 7,23 Sekunden, um die Anweisung zu verstehen, wohingegen Teilnehmer mit Karte etwa 7,39 Sekunden benötigen. Der mittlere absolute Abstand ist offensichtlich sehr gering.

Die einzelnen Werte pro Schritt sind in Abbildung 8.9 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass auch Schritte existieren, bei denen die mittlere Erkennungszeit der Karten-Anwender unter denen der Graph-Nutzer liegt. Jedoch ist schrittweise betrachtet nur ein signifikanter Unterschied für die Schritte 7 und 14 festzustellen, bei denen die Erkennungszeiten der Karten-Nutzer immer deutlich länger als die der Graph-Anwender sind. Bei Schritt 7 muss geradeaus eine Treppe hinab gegangen werden. Die Anweisung ist in diesem Zusammenhang relativ einfach, jedoch ist der Branching-Faktor für diese Situation mit 6 sehr hoch. Es kann somit sein, dass Karten-Nutzer in dieser Situation von der detaillierten Darstellung der Umgebung abgelenkt werden und nicht erkennen, welche Routenoption die richtige ist. Schritt 14 stellte sich als ein sehr schwieriger Routenabschnitt heraus, der auch zu einem häufigen „Verlaufen“ führte. In diesem Abschnitt konsultieren die Probanden die Kartendarstellung häufiger, da sie vermutlich Informationen suchen, die ihnen dabei helfen können, die Situation aufzulösen (siehe auch Abbildung 8.13).

Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass die Erkennungszeiten für Schritt 6, wie bei Experiment drei, weiterhin sehr hoch sind. Es bestätigt sich, dass die Referenzierung dieser nicht salienten Landmarke zu langen Orientierungszeiten führt. Auch kann dies durch die zusätzliche Anzeige einer Karte nicht umgangen werden.

Bei Schritt 10 werden durchschnittlich relativ lange Erkennungszeiten benötigt, da eine Treppe referenziert wird, die teilweise nicht sichtbar ist, je nachdem, wann die Probanden die nächste Anweisung anfordern (siehe Abbildung 8.10). Auch die Betrachtungsdau-



Abbildung 8.10: Schritt, der zu langen Erkennungs- und Blickzeiten führt. Die Nummer verweist auf den Navigationsschritt. Zusätzlich ist die intendierte Bewegungsrichtung eingezeichnet.

er des Kartenelements ist für diesen Schritt insbesondere für Karten-Nutzer relativ hoch (siehe Abbildung 8.13).

Wie in den vorhergehenden Experimenten tritt ein Zoomen sehr selten auf. Lediglich drei Karten-Nutzer führen diese Geste aus (einer zwei Mal). Dies geschieht zwei Mal gleich zu Beginn und einmal bei Schritt 4 und 8. Aufgrund der geringen Häufigkeit ist diese Variable nicht sehr aussagekräftig, jedoch zeigt sich, dass nur Karten-Nutzer eine Anpassung der Skalierung der Karte wünschen. Das seltene Auftreten dieser Interaktion ist dadurch zu erklären, dass die Zoom-Stufe zu Beginn des Experiments so fixiert war, dass die gesamte Route sowie die referenzierte Landmarke dargestellt wurden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Interface-Variante kaum Einfluss auf ein „Verlaufen“ hat, sondern Eigenschaften der Umgebung maßgeblich sind. Insbesondere die initiale Orientierung sowie der Verweis auf mehrere Objekte führt zu Problemen bei der Wegfindung. Bezüglich der Navigationszeiten ist lediglich ein Unterschied der Orientierungszeit für einen Schritt, der auch zu einem vermehrten „Verlaufen“ geführt hat, zu beobachten. Dieser referenziert mehrere Landmarken. Weiterhin wurde ein signifikanter Unterschied für einen Schritt beobachtet, der einen hohen Branching-Faktor aufweist. In diesem Zusammenhang benötigen Karten-Nutzer mehr Zeit, sich selbst zu verorten. In schwierigen Situationen kann die Kartendarstellung scheinbar nicht helfen, sondern lenkt vielmehr ab. Insgesamt ist der beobachtete Unterschied deutlich geringer und seltener als in Experiment zwei, bei dem mit architektonischen Gebäudeplänen navigiert wurde. Im Folgenden wird analysiert, ob und wie sich das Blickverhalten unterscheidet, wenn die überarbeitete Kartendarstellung zur Anzeige kommt.

### 8.7.2 Blickverhalten

Für die nachfolgende Analyse wurden die Blicke über die gesamte Aufgabe zunächst aufsummiert. Bezüglich der Fixationen auf dem Bildschirm konnten sowohl für die Fixationsdauer ( $Z = -3,57$ ;  $p < 0,001$ ) als auch für die Häufigkeit ( $Z = -3,84$ ;  $p < 0,001$ ) hoch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Dabei ist die Effektstärke bezüglich der Fixationsdauer mit  $r = 0,329$  im mittleren Bereich einzuordnen. Graph-Nutzer verbringen

	Interface	Screen		Landmarke		Umgebung	
		M	SD	M	SD	M	SD
Fixationsdauer	Karte	89,22***	44,74	24,31	13,26	25,48	17,43
in Sekunden	Graph	63,78***	23,97	21,79	10,18	24,45	14,75
Fixationen	Karte	425,72***	199,15	93,37	34,83	115,52	73,54
(Häufigkeit)	Graph	314,47***	105,24	87,28	35,54	112,79	61,80
Revisits	Karte	37,33*	13,24	18,95	9,27	21,03	12,36
(Häufigkeit)	Graph	32,50*	10,91	17,48	9,62	20,29	12,13

Tabelle 8.3: Fixationsdauer, Fixationsanzahl und Revisits auf dem Bildschirm, der referenzierten Landmarke und der Umgebung.

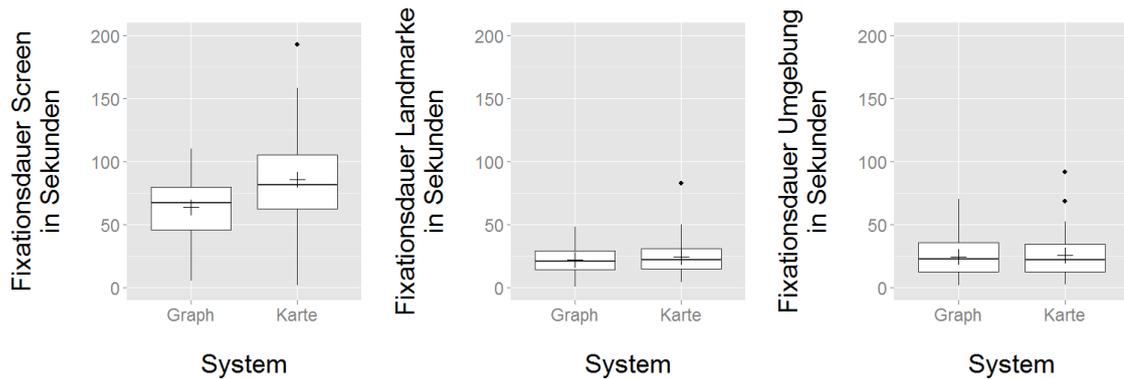


Abbildung 8.11: Fixationsdauer auf den Bildschirm, die referenzierte Landmarke und die Umgebung.

deutlich weniger Zeit damit, den Bildschirm zu betrachten. Dieser Zusammenhang ist zudem in Abbildung 8.11 (links) anhand eines Boxplots illustriert. Auch bezüglich der Revisits zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $Z = -2,03$ ;  $p = 0,042$ ), jedoch ist der absolute Unterschied relativ gering. Die deskriptive Statistik für diese Daten ist in Tabelle 8.3 zusammengefasst.

Die Fixationsdauer ( $Z = -0,711$ ;  $p = 0,477$ ) und -häufigkeit ( $t(116) = -0,940$ ;  $p = 0,349$ ) auf die referenzierten Landmarken sowie die Anzahl der Revisits ( $t(115) = -0,843$ ;  $p = 0,401$ ) unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Interface-Versionen. Auch das Blickverhalten in der Umgebung weist keinen signifikanten Unterschied auf (Dauer:  $Z = -0,027$ ;  $p = 0,979$ ; Häufigkeit:  $Z = 0,148$ ;  $p = 0,882$ ; Revisits:  $Z = -0,218$ ;  $p = 0,827$ ). In Abbildung 8.11 ist die Verteilung der Blicke zu sehen. Der Bildschirm bindet die meiste visuelle Aufmerksamkeit, wohingegen die referenzierte Landmarke und die Umgebung deutlich kürzer und in etwa gleich lang betrachtet werden.

Da der Bildschirm signifikante Unterschiede bezüglich der Betrachtung aufweist, werden im Folgenden die einzelnen Interface-Bereiche untersucht. Hierzu wird zunächst wieder auf die Summe der Fixationen und Revisits eingegangen. Bezüglich des Navigationspfeiles wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interfaces festgestellt (Dauer:  $Z = -1,07$ ;  $p = 0,286$ ; Häufigkeit:  $Z = -0,954$ ;  $p = 0,340$ ; Revisits:  $Z = 0,344$ ;  $p = 0,731$ ). In Tabelle 8.4 und Abbildung 8.12 (rechts) ist zu sehen, dass dieses Interface-Element so gut wie gar nicht betrachtet wird.

Wie bereits bei Experiment zwei, ist die Betrachtungsdauer des Kartenbereichs hoch

	Interface	Karte		Text		Pfeil	
		M	SD	M	SD	M	SD
Fixationsdauer	Karte	52,15***	35,71	27,78*	12,96	2,76	3,04
in Sekunden	Graph	31,71***	17,00	22,52*	12,62	2,34	2,46
Fixationen	Karte	244,58***	158,35	137,02*	58,83	15,08	15,86
(Häufigkeit)	Graph	157,22***	72,97	112,41*	58,87	12,66	12,65
Revisits	Karte	59,78**	26,79	31,05	15,22	5,72	8,57
(Häufigkeit)	Graph	48,12**	20,07	26,21	14,05	4,07	5,12

Tabelle 8.4: Deskriptive Statistik der Blickdaten auf den unterschiedlichen Bildschirmbereichen.

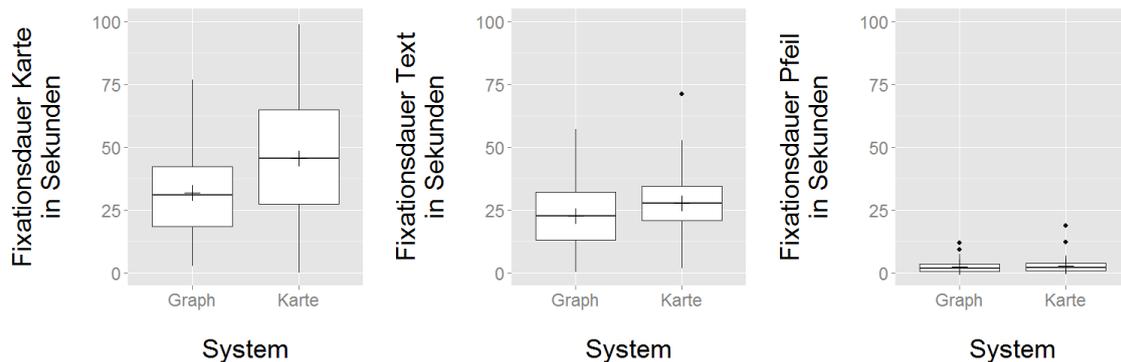


Abbildung 8.12: Fixationsdauer auf die unterschiedlichen Interface-Elemente.

signifikant unterschiedlich (Dauer:  $Z = -3,67$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,337$ ; Häufigkeit:  $Z = -3,64$ ;  $p < 0,001$ ). Auch die Revisits unterscheiden sich signifikant ( $Z = -2,61$ ;  $p = 0,009$ ). Die überarbeitete Karte wird länger und häufiger betrachtet, sodass  $H_0$  verworfen werden kann. Der Unterschied bezüglich der Betrachtungsdauer ist in Abbildung 8.12 (links) anhand eines Boxplots dargestellt. Zudem kehren die Nutzer mit ihren Blicken häufiger auf diesen Bereich zurück. Basierend auf diesen Ergebnissen, kann davon ausgegangen werden, dass Karten-Nutzer mehr Probleme haben, sich selbst zu verorten als Graph-Probanden. Weiterhin deuten die häufigen Revisits auf ein Gefühl der Verunsicherung während der Navigation hin.

Unerwartet waren die Ergebnisse, die sich bezüglich der Betrachtung der textuellen Navigationsanweisung zeigten. Karten-Nutzer fixierten dieses Element signifikant länger ( $t(116) = -2,24$ ;  $p = 0,027$ ;  $r = 0,201$ ) und häufiger ( $t(116) = -2,27$ ;  $p = 0,025$ ). Für die Variable „Revisits“ wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt, wenngleich eine leichte Tendenz besteht, dass häufiger auf das Textelement zurückgekehrt wird ( $t(116) = -1,80$ ;  $p = 0,075$ ). Ein solches Verhalten wurde bezüglich der architektonischen Gebäudepläne nicht beobachtet. Scheinbar versuchen Probanden, die die Karte verwenden, ihr Problem bei der Orientierung durch ein etwas längeres Lesen der Textanweisung zu kompensieren. Dies gelingt jedoch nicht vollständig, da die Erkennungszeit für Schritte, die signifikante Unterschiede zwischen den Interfaces aufzeigten (Schritte 7 und 14), für Karten-Nutzer höher liegt, bei etwa gleichbleibender Fehlerzahl zwischen den Interfaces. Insbesondere für diese Schritte ist aber bezüglich der Fixationsdauer auf die Textanweisung ein signifikanter Unterschied feststellbar. Dieser beläuft sich auf etwa eine halbe Sekunde

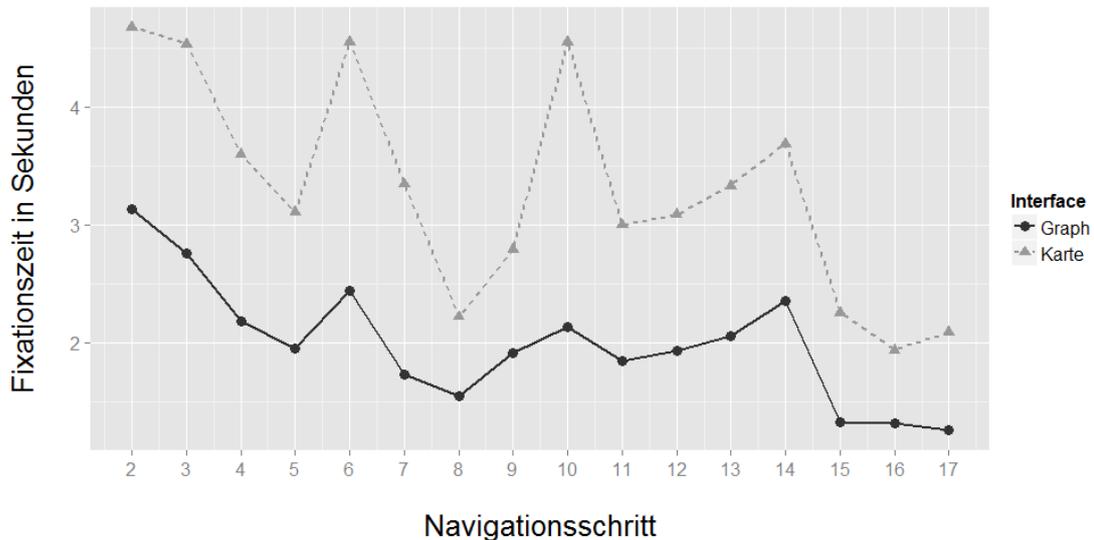


Abbildung 8.13: Fixationszeit des Kartenelements pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

Betrachtungsdauer und ist somit nicht sehr hoch ausgeprägt.

Betrachtet man die Mittelwerte der Fixationsdauer des Kartenelements für jeden Schritt, so sind diese für alle Abschnitte außer 8 und 9 signifikant unterschiedlich ( $Z = -10,72$ ;  $p < 0,001$ ). In Abbildung 8.13 ist zu erkennen, dass die Betrachtungsdauer der Karten-Nutzer für jeden Punkt der Wegfindung über denen der Graph-Probanden liegt. Prinzipiell ist dieses Ergebnis nicht verwunderlich, da die Karte deutlich mehr Informationen anzeigt, die potenziell zur Wegfindung herangezogen werden können. Jedoch sind Karten-Nutzer nicht erfolgreicher bei der Absolvierung der Aufgabe und kehren zudem signifikant häufiger auf die Kartendarstellung zurück (Revisits:  $Z = -6,75$ ;  $p < 0,001$ ). Dies deutet wieder auf eine Verunsicherung während der Navigation hin. In Abbildung 8.14 wird aufgezeigt, dass auch die Variable „Revisits“ für alle Schritte bei den Graph-Nutzern geringer ausgeprägt ist. Dieser Unterschied ist für die Schritte 4, 7, 10 und 15 signifikant.

Auffällig ist in diesem Zusammenhang auch die vermehrte Betrachtung des Interfaces am Anfang der Wegfindung. Hier kam es zudem zu einem häufigen „Verlaufen“. Die vermehrte Bindung der visuellen Aufmerksamkeit am Anfang der Aufgabe bestätigt somit die Ergebnisse von Schnitzler et al. (2016) und erklärt die längeren Erkennungszeiten.

Weiterhin kommt es bei Schritt 6 und 10 zu längeren Betrachtungszeiten und häufigen Revisits insbesondere bei Nutzern, die mit der Karte navigierten. Diese Schritte führten auch zu längeren Erkennungszeiten. Es zeigt sich, dass längere Erkennungszeiten mit längeren Betrachtungszeiten des Kartenelements einhergehen, insbesondere falls die Landmarke eine schlechte Sichtbarkeit aufweist. Insgesamt korreliert die Fixationszeit des Kartenelements hoch signifikant aber schwach ausgeprägt mit der Erkennungszeit ( $r_s = 0,300$ ;  $p < 0,001$ ). Dabei ist ein stärkerer wenngleich immer noch kleiner Zusammenhang bei Karten-Nutzern festzustellen ( $r_{sKarte} = 0,360$ ;  $r_{sGraph} = 0,230$ ;  $p_{Karte\&Graph} < 0,001$ ). Bei Schritt 6 und 10 wird zwei Mal eine Treppe referenziert, die vom Standpunkt der Navigationsanweisung teilweise schlecht zu sehen ist. Das Problem der „Treppen“-Landmarke bei Schritt 6 wurde bereits in Experiment drei beobachtet und kann durch die Verwendung

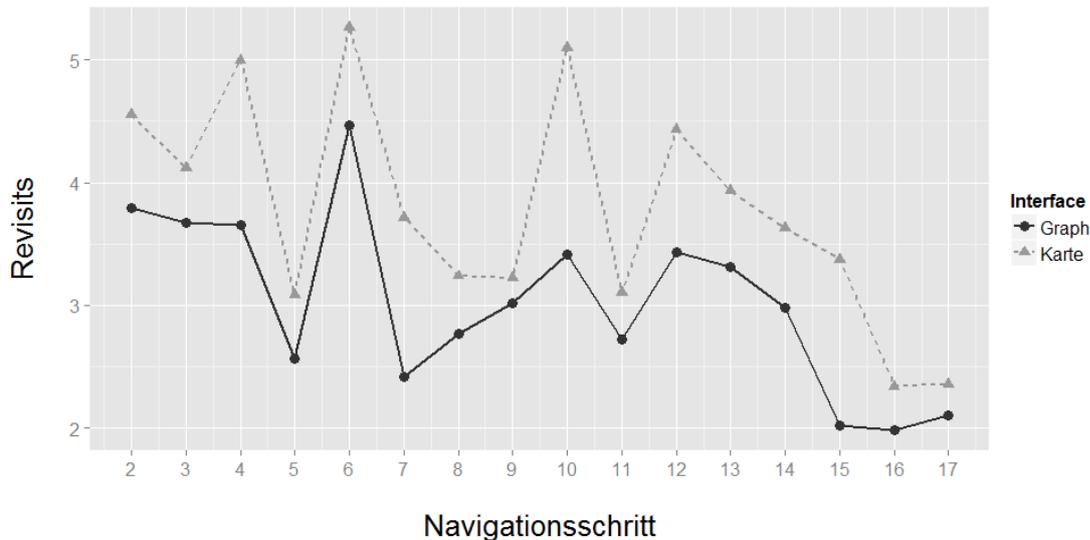


Abbildung 8.14: Anzahl der Revisits auf das Kartenelement pro Schritt, aufgeteilt nach Interface-Variante.

einer Karte nicht gelöst werden. Vielmehr scheinen Karten-Nutzer zudem mehr visuelle Ressourcen zur Lösung des Problems aufwenden zu müssen. Die Treppe bei Schritt 10 ist potenziell sehr gut sichtbar, jedoch nicht, wenn Probanden die nächste Navigationsanweisung früher als erwartet anfordern. Insgesamt benötigen die Probanden zwar länger, um diese Situationen zu lösen, dennoch tritt ein „Verlaufen“ in diesem Zusammenhang nicht so häufig auf wie bei Schritt 14, der zu einem vermehrten „Verlaufen“ geführt hatte. Auch für den „problematischen“ Schritt 14 steigt die Betrachtungsdauer an. Trotzdem sind in diesem Zusammenhang keine vermehrten Revisits zu beobachten.

### 8.7.3 Fragebogendaten

Zunächst werden die geschlossenen Fragen analysiert, die erfassten, wie hilfreich die Landmarken und unterschiedliche Interface-Elemente bei der Wegfindung waren. Dies wurde auf einer siebenwertigen endpunktbenannten Likert-Skala erhoben, wobei höhere Werte eine höhere Zufriedenheit widerspiegeln. Durchschnittlich wurden die gewählten Landmarken als sehr hilfreich eingestuft (siehe Abbildung 8.15, links). Zwischen den Probanden-Gruppen wurde diesbezüglich kein signifikanter Unterschied festgestellt ( $Z = -0,346$ ;  $p = 0,729$ ). Die Landmarken wurden im Vergleich zu Experiment drei etwas besser bewertet. Pro Interface sind vier Ausreißer zu beobachten. Diese Probanden äußerten sich in den Freitextfragen beispielsweise negativ gegenüber der Landmarke, die bei Schritt 10 referenziert wird („Treppe rechts, man schaut rechts nach einer Treppe“ (Proband P25.2)) oder der Darstellung der Landmarken-Icons („Treppen benutzen könnte optisch dargestellt werden“ (Proband P10.3)). Auch hinsichtlich der Anzahl der dargestellten Landmarken sind die Teilnehmer mehrheitlich zufrieden und die Einschätzung unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Interface-Varianten ( $Z = 0,395$ ;  $p = 0,693$ ; Abbildung 8.15, rechts). Insgesamt sind die Probanden gegenüber den gewählten Objekten demnach sehr positiv eingestellt.

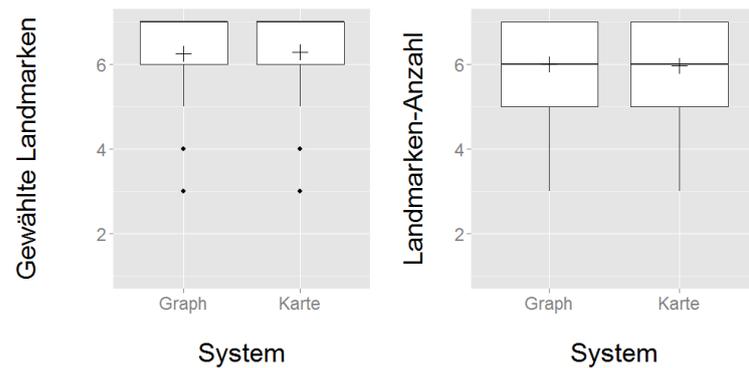


Abbildung 8.15: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der Landmarken.

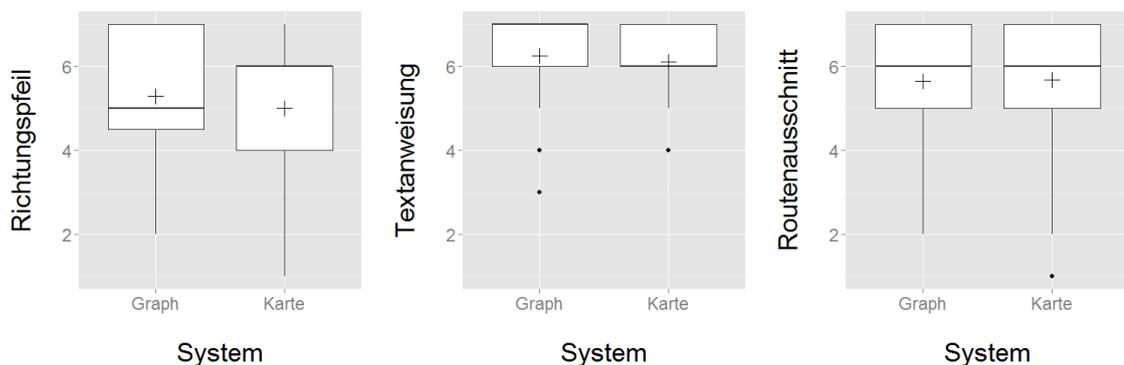


Abbildung 8.16: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der Nützlichkeit der unterschiedlichen Interface-Bereiche.

Bezüglich des Interface-Bereichs „Richtungspfeil“ ist zu beobachten, dass dieses Element als am wenigsten hilfreich im Vergleich zu den anderen Bereichen eingestuft wird (siehe Abbildung 8.16). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Probanden-Gruppen ist nicht festzustellen ( $Z = 0,530$ ;  $p = 0,597$ ), auch wenn der Boxplot in Abbildung 8.16 (links) vermuten lässt, dass Karten-Nutzer etwas unzufriedener mit dieser Darstellungsart sind. Die Blickdaten zeigen auf, dass dieser Bereich de facto nicht betrachtet wird: Eine durchschnittliche Fixationsdauer von 0,161 Sekunden (Median = 0) bedeutet, dass der Pfeil für manche Schritte überhaupt nicht fixiert wurde.

Die Textanweisung wird wie in den anderen Experimenten als sehr hilfreich eingestuft. Auch hier wurde kein Unterschied zwischen den Interfaces festgestellt ( $Z = 1,126$ ;  $p = 0,260$ ), obwohl sich die Betrachtungsdauer dieses Elements signifikant zwischen den Interface-Varianten unterscheidet (siehe Tabelle 8.4). Ein Proband, der die Textanweisung eher schlecht bewertete, äußerte, dass „durch die Türen gehen zu ungenau“ sei (Proband P21.2; Karten-Interface) und unterstreicht somit wieder, dass die Referenzierung mehrerer Landmarken zu Orientierungsproblemen führen kann.

Auch bezüglich des Bildschirmbereichs, der für meine Forschung von besonderem Interesse ist, wurde zwischen den Interface-Varianten kein Unterschied festgestellt ( $Z = -0,165$ ;  $p = 0,869$ ): Die Darstellung des Routenausschnitts, also des Elements, das

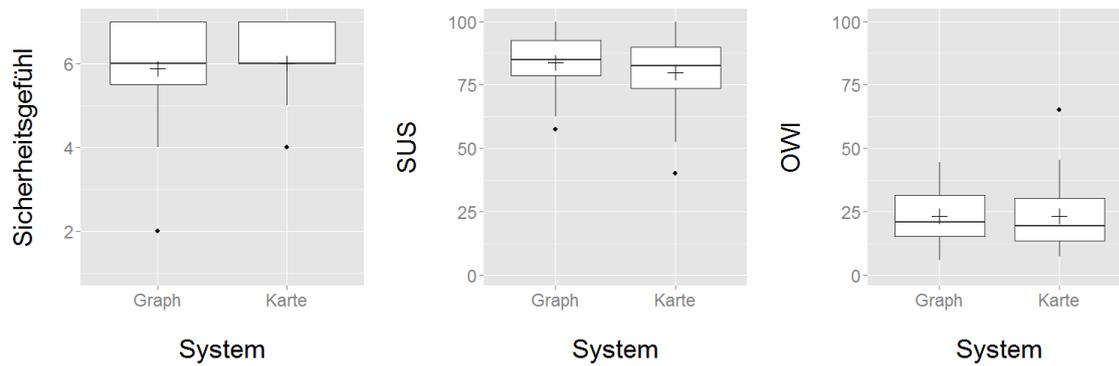


Abbildung 8.17: Einschätzung der Testpersonen bezüglich ihres Sicherheitsgefühls beim Navigieren, „System-Usability-Scale (SUS)“- und „Overall-Workload-Index (OWI)“-Werte, aufgeteilt nach Interface-Variante.

entweder die überarbeitete Karte oder das Graph-Interface anzeigt, wird mehrheitlich als hilfreich erachtet (siehe Abbildung 8.16, rechts).

Die geschlossene Frage, die sich darauf bezog, wie (selbst-)sicher sich Probanden während der Navigation fühlten, zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interfaces auf ( $Z = -0,323$ ;  $p = 0,747$ ). Lediglich ein Nutzer, der mit dem Graph-Interface navigierte, fühlte sich sehr unsicher (siehe Abbildung 8.17, links). In den Freitextantworten äußerte diese Person explizit den Wunsch, eine Karte zur Wegfindung heranziehen zu können (Proband P4.4).

Wie schon in Experiment drei wurde auch innerhalb dieser Studie die Gebrauchstauglichkeit des System anhand des „System-Usability-Scale“ abgefragt, da dieses Messinstrument in der verwandten Forschung sehr gängig ist (siehe Kapitel 3.4). Der Gesamtwert unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Interfaces ( $Z = 1,41$ ;  $p = 0,159$ ), auch wenn in Abbildung 8.17 (mittig) zu sehen ist, dass Graph-Nutzer etwas höhere Werte vergeben. Insgesamt ist die Usability des Prototypen nach Bangor et al. (2009, S. 118) in einen guten bis exzellenten Bereich einzuordnen. Neu in diesem Experiment im Vergleich zu den bereits beschriebenen Studien ist die Verwendung des „NASA-TLX (Task Load Index)“, der wiedergibt, wie viel Workload ein Proband während der Aufgabe empfunden hat. Für den „Overall-Workload-Index“, also den Gesamtwert der Belastung, der sich aus sechs Unterdimensionen berechnet (siehe Hart und Staveland (1988)), konnte zwischen den Interface-Versionen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $Z = 0,238$ ;  $p = 0,812$ ; siehe Abbildung 8.17, rechts). Insgesamt sind die Werte mit einer Ausprägung von etwa 25 von 100 eher im unteren Bereich angesiedelt. Lediglich eine Person, die mit der Karte navigierte, erlebt eine höhere Belastung. Dies ist hauptsächlich darin begründet, dass sie ihre eigene Leistung eher schlecht einstuft. Auch bezüglich der sechs Unterdimensionen des NASA-TLX konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interfaces festgestellt werden. Die Auswertung der einzelnen Dimensionen ist in der Forschung zur Fußgänger-Navigation gängig (siehe z. B.: Partala und Salminen, 2012, S. 206; Giannopoulos, 2016, S. 20). Abbildung 8.18 zeigt einen Überblick über die Ausprägungen der einzelnen Dimensionen, aufgeteilt nach Interface-Variante. Für keine dieser Variablen wurden signifikante Unterschiede festgestellt ( $p > 0,05$ ). Es zeigt sich, dass die Wegfindungsaufgabe in-

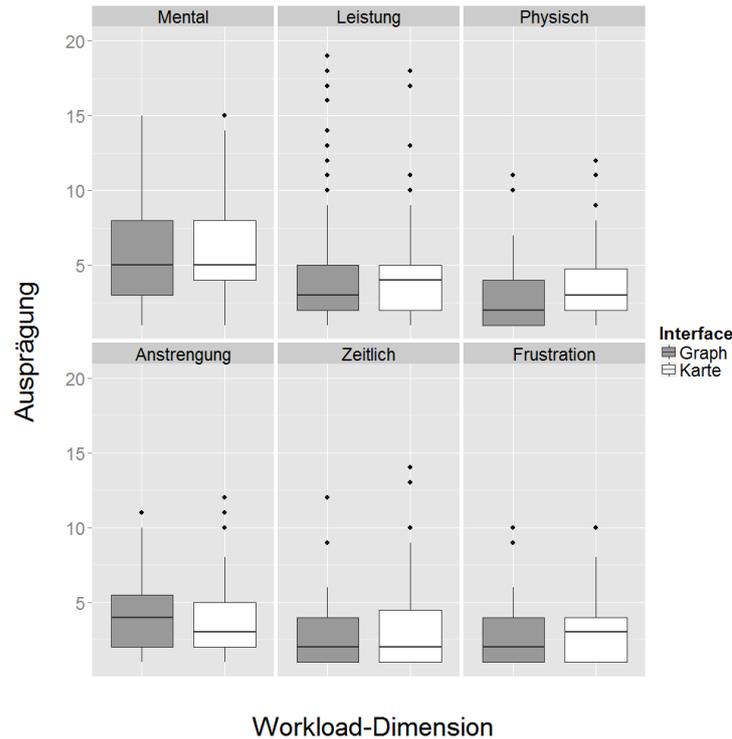


Abbildung 8.18: Einschätzung der Testpersonen bezüglich der einzelnen Dimensionen des „NASA-TLX (Task Load Index)“, aufgeteilt nach Interface-Variante.

nerhalb dieses Experiments bezüglich der physischen und zeitlichen Belastung als nicht sehr fordernd empfunden wurde. Auch das Anstrengungs- und Frustrationsniveau ist sehr gering. Bezüglich der mentalen Anforderung sind die Werte etwas höher ausgeprägt. Für das empfundene Leistungsniveau sind zahlreiche Ausreißer zu beobachten. Mehrere Probanden haben die Aufgabe ihrer Ansicht nach nicht zufriedenstellend erfüllt. Dies ist hauptsächlich durch Probanden zu erklären, die sich verlaufen haben und dadurch ein negatives Empfinden gegenüber ihrer Leistung bei der Absolvierung der Aufgabe haben.

Darüber hinaus wurden Freitextfragen gestellt, die im Nachgang selektiv codiert wurden. Dabei wurden nur Äußerungen berücksichtigt, die sich auf die Landmarken, das Interface oder Probleme während der Wegfindung bezogen. Antworten, die sich beispielsweise auf den Eye-Tracker oder Ähnliches bezogen, wurden nicht annotiert.

Zehn Probanden äußern sich allgemein positiv gegenüber den Navigationsanweisungen, ohne auf ein spezifisches Element Bezug zu nehmen. Die meisten positiven Äußerungen wurden bezüglich der Landmarken getätigt. Über 50 % der 118 Probanden fanden diese sehr hilfreich bei der Orientierung (siehe Tabelle 8.5). Jedoch werden auch negative

	Anweisungen	Karte	Route	Text	Pfeil	Landmarken
Graph	8	2	8	12	2	35
Karte	2	20	10	12	1	31

Tabelle 8.5: Anzahl positiver Äußerungen in den Freitextfragen bezüglich einzelner Interface-Elemente.

Aspekte genannt. Zwei Graph-Nutzer wünschen sich mehr Anhaltspunkte, wohingegen ein weiterer äußert, es seien zu viele gewesen. Weitere vier Probanden, die mit der abstrakten Karte navigierten, sind unzufrieden mit den gewählten Objekten. Dabei wird geäußert, dass insbesondere am Anfang der Aufgabe Schwierigkeiten bestanden haben, die Objekte zu identifizieren. Weiterhin wurde die Anweisung „Gehen Sie durch die Türen“ als problematisch bezeichnet, da diese schwer zu interpretieren sei. Dies äußerte auch ein Proband, der zusätzlich eine Karte zur Verfügung hatte. Es zeigt sich erneut, dass die Referenzierung mehrerer Objekte die Nutzer verunsichert. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Objekte vom gleichen Typ sind. Mit der Darstellung der Landmarken waren je zwei Nutzer unzufrieden. Dabei wurde genannt, dass bei dem gewählten Treppen-Icon nicht klar sei, ob die Treppe begangen werden muss, und wenn ja, ob man diese hinauf oder hinunter gehen soll (das Icon ist in Abbildung 8.2 (links) zu sehen). Die teilweise schlecht sichtbare Treppe bei Schritt 10 wird von einem Karten-Nutzer als Problem genannt. Die Referenzierung des Hörsaals, der bei Schritt 8 übersehen werden kann, da er nicht in Bewegungsrichtung liegt, wird von einem Probanden kritisiert, der die reduzierte Darstellung verwendete.

20 der 59 Karten-Nutzer empfanden das überarbeitete Kartenmaterial als eine gute Unterstützung der Wegfindung, zwei Graph-Nutzer referenzierten dieses Element ebenfalls als „Karte“ und betonten dessen Nutzen. Fünf Karten-Nutzer äußerten sich jedoch negativ gegenüber diesem Element. Dabei wurde zumeist der Farbwechsel zwischen den Gebäuden negativ empfunden. Ein Teilnehmer antwortete, *„dass zu viele Details von der Karte gegeben worden sind, die nicht unter normalen Umständen zu sehen sind“* (Proband P18.1). Weitere fünf Graph-Probanden äußerten explizit den Wunsch nach einer Karte. Ein Karten-Nutzer wünschte sich zusätzlich zu Beginn der Wegfindung eine Überblickskarte. Die eingezeichnete Route empfanden insgesamt 18 Personen als sehr hilfreich. Die Textanweisungen bewerteten je zwölf Probanden als nützlich. Der Navigationspfeil wurde lediglich von drei Personen als hilfreich genannt. Da dieses Element kaum betrachtet und zudem in den geschlossenen Fragen eher schlechter bewertet wurde, ist in Frage zu stellen, ob die Anzeige dieser Darstellung überhaupt (noch) sinnvoll ist. In Experiment zwei äußerten noch acht von 69 Nutzern, dass sie dieses Element als hilfreich erachteten. Der Pfeil stellt lediglich redundante Information zur Verfügung, da er die Route und die referenzierte Landmarke nochmals grafisch aufgreift. Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse dieses Experiments kann dieser demnach auch weggelassen werden.

Die Abschnittslänge der Routensegmente wurde von vier Graph-Nutzern und drei Karten-Probanden immer noch als zu kleinteilig empfunden, obwohl in diesem Experiment im Vergleich zu Experiment drei mehrere Schritte zusammengelegt wurden (siehe Kapitel 8.2). Je ein Nutzer pro Interface-Version äußerte jedoch, dass die Abschnittslängen gut gewählt seien.

## 8.8 Zusammenfassung und Diskussion

Innerhalb dieses Experiments wurden architektonische Gebäudepläne grundlegend überarbeitet und gemäß der Erkenntnisse der zuvor durchgeführten Experimente und der verwandten Forschungsarbeiten vereinfacht. Daraufhin wurde ein Experiment durchgeführt, das dazu diente, zu untersuchen, ob ein Interface, das lediglich die Route sowie eine

Landmarke darstellt, die Wegfindung besser unterstützt als eine Assistenz, die zusätzlich die überarbeiteten Karten zur Anzeige bringt. Dabei wurden als abhängige Variablen die Navigationszeit, das Blickverhalten und subjektive Zufriedenheitsmaße, die mit Fragebögen summativ nach der Aufgabe gemessen wurden, herangezogen.

Es zeigte sich, dass wie in den vorhergehenden Experimenten Navigationsprobleme vermehrt von der Umgebung und nicht von der Interface-Variante abhängig sind. Dabei ist insbesondere zu beobachten, dass die initiale Selbstverortung zu Beginn der Aufgabe zu Schwierigkeiten führt. Dieses Problem ist beispielsweise auch in Schnitzler et al. (2016, S. 91) beschrieben. Wie diese Situation besser unterstützt werden kann, sollte in Folgestudien untersucht werden. So könnte es beispielsweise helfen, zu Beginn der Wegfindung eine Überblickskarte anzuzeigen (siehe z. B.: Selvi et al., 2016, S. 3).

Weiterhin zeigte sich, dass eine Referenzierung mehrerer Landmarken (in diesem Fall zwei) die Probanden verwirrt, sodass infolgedessen Fehler auftreten. Zudem führt diese Anzeige zu längeren Orientierungszeiten und bindet vermehrt visuelle Aufmerksamkeit. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Resultaten des dritten Experiments und zeigt auf, dass auch die Anzeige nur einer weiteren Landmarke zu Orientierungsproblemen führt.

Signifikante Unterschiede für die Zeit, die benötigt wird, die Anweisung zu verstehen, wurden lediglich für zwei von 16 Schritten festgestellt. In diesen Situationen ist die Wegfindungsaufgabe komplex und Karten-Nutzer benötigen länger, sich selbst zu verorten. Das zusätzliche Kartenmaterial hilft nicht dabei, schwierige Situationen aufzulösen, sondern scheint vielmehr abzulenken.

Lange Erkennungszeiten werden unabhängig vom Interface benötigt, wenn die Landmarke eine schlechte Sichtbarkeit aufweist.

Bezüglich des Blickverhaltens wurden signifikante Unterschiede auf dem Interface und insbesondere auf dem Kartenelement festgestellt. Probanden, die lediglich die Route und die Landmarke zur Wegfindung heranziehen, blicken deutlich weniger und kürzer auf die Routendarstellung. Weiterhin kehren Karten-Nutzer häufiger auf das Element zurück. Dies deutet auf eine Verunsicherung während der Wegfindung hin. Zudem lesen Probanden, die die überarbeiteten Gebäudepläne verwenden, die Textanweisung signifikant länger.

Hinsichtlich der subjektiven Zufriedenheitsmaße wurde kein Unterschied zwischen den Interface-Varianten festgestellt. Bezüglich der gewählten Landmarken und deren Anzahl sind beide Probanden-Gruppen mehrheitlich sehr zufrieden. Auch die Textanweisung und die Kartendarstellung werden insgesamt positiv gesehen. Manche Probanden, die keine Karte zur Wegfindung heranziehen konnten, äußerten explizit den Wunsch nach dieser Darstellung. Der Navigationspfeil wird insgesamt selten betrachtet und auch als eher weniger hilfreich eingeschätzt. Auf diese Darstellung kann demnach verzichtet werden. Die Probanden fühlen sich selbstsicher während der Navigation und vergeben sehr gute Usability-Bewertungen. Auch erleben die meisten einen eher geringen Workload während der Aufgabe.

Insgesamt ist zu sagen, dass die Probanden im Vergleich zu den zuvor durchgeführten Experimenten eher weniger Probleme bei der Wegfindung haben und eine hohe Zufriedenheit aufweisen. Die Referenzierung mehrerer Landmarken führt jedoch zu Orientierungsschwierigkeiten. Die Kartendarstellung konnte in schwierigen Situationen nicht dabei helfen, die Situation aufzulösen und hat sehr viele visuelle Aufmerksamkeitsressour-

cen gebunden. Manche Nutzer wünschen sich aber die Anzeige einer Karte, weshalb ein Interface zumindest die Option einer derartigen Visualisierung anbieten sollte. Auch sind die Effizienz-Unterschiede deutlich geringer ausgeprägt als bei Experiment zwei, bei dem architektonische Gebäudepläne dargestellt wurden. In diesem Zusammenhang ist weiter zu untersuchen, ob andere Kartendesigns die Wegfindung besser unterstützen können. Aus meinen Ergebnissen folgere ich, dass dabei die Darstellung weiter abstrahiert werden sollte. So könnten in der Anzeige beispielsweise die Trennwände innerhalb nicht sichtbarer Bereiche, wie angrenzenden Räumen, weggelassen werden. Auch wäre es möglich, lediglich die Gänge zu visualisieren. In diesem Zusammenhang kann entweder die Ausdehnung des begehbaren Bereichs weiterhin sichtbar bleiben oder angrenzende Wege wie beispielsweise von Gartner und Radoczky (2006, S. 385) vorgeschlagen ähnlich einer Graphen-Struktur dargestellt werden.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse meiner Arbeit zusammengefasst und diskutiert. Zudem wird ein Ausblick auf weitere mögliche Studien gegeben.

## Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit habe ich digitale, landmarkenbasierte Kartendarstellungen im Rahmen von mehreren empirischen Studien analysiert. In diesem Zusammenhang wurde insbesondere untersucht, wie schematisches Kartenmaterial im Vergleich zu Gebäudeplänen rezipiert wird. Dabei lag der Forschungsschwerpunkt auf der Analyse des Blickverhaltens der Nutzer, wofür ein mobiler Eye-Tracker als Aufnahmegerät verwendet wurde. Als Untersuchungsgebiet diente der Innenraum der Universität Regensburg, wobei die Experimente in situ stattfanden. Im Folgenden werden meine Erkenntnisse und der wissenschaftliche Beitrag meiner Arbeit zusammengefasst. Zudem werden die Einschränkungen meiner Forschung diskutiert. Zuletzt gebe ich einen Ausblick auf weitere Untersuchungen, die sich an meine Arbeit anschließen könnten.

### 9.1 Erkenntnisse und wissenschaftlicher Beitrag

Aus der Analyse der verwandten Forschungsarbeiten geht hervor, dass meine Arbeit mehrere Forschungslücken adressiert: Zum einen wird davon ausgegangen, dass schematisches Kartenmaterial bei der Wegfindung hilfreich sein kann, da es die mentale Repräsentation der Umgebung der Nutzer widerspiegelt (Gartner & Radoczky, 2006, S. 386). Jedoch wurden unterschiedliche Abstraktionsgrade kaum in empirischen Studien untersucht (Huang & Gartner, 2010, S. 312). In meinen Experimenten evaluierte ich schematisches Kartenmaterial, das gemäß den Vorschlägen von Gartner und Radoczky (2006) abstrahiert worden ist. Diese Anzeige habe ich mit detaillierten sowie vereinfachten Gebäudeplänen verglichen, die die gängigste Anzeige von Wegfindungsinformation im Innenraum darstellen (siehe Kapitel 3.2.2).

Zum anderen zeigt die Literatur, dass Landmarken in der Umgebung der Nutzer elementare Bestandteile der Wegfindung sind (siehe Kapitel 2.4). Auf diese auffälligen Objekte sollte demnach in einer Routenbeschreibung verwiesen werden. Digitale Assistenz-

systeme für die Innenraum-Navigation stellen jedoch häufig keinen expliziten Bezug zu Landmarken her. Weiterhin erfolgt die Auswahl dieser Objekte, sofern sie überhaupt referenziert werden, zumeist durch die Testleiter. Ein weiteres Problem ist, dass die Anzahl der referenzierten Objekte nicht klar definiert ist, sodass häufig alle verfügbaren Landmarken abgebildet werden (siehe Kapitel 3.4). In meiner Arbeit wurde explizit auf Landmarken Bezug genommen. Diese waren ein wesentlicher Bestandteil der Routenkommunikation. Weiterhin erfolgte die Auswahl der Objekte durch eine nutzerzentrierte Erhebung. Da meine Untersuchungen im Innenraum stattfanden, konnte ich zudem weitere Erkenntnisse bezüglich der Art der Objekte gewinnen, die in diesem Bereich als Landmarken dienen können.

Eine zusätzliche Erweiterung des Kenntnisstandes bezüglich der Wegfindung stellt mein eingesetztes Messinstrument dar. Der Forschungsschwerpunkt meiner Arbeit lag darauf, das Blickverhalten der Nutzer während einer real-weltlichen Wegfindungsaufgabe im Innenraum zu analysieren. In der verwandten Forschungsarbeit wird bei solchen Untersuchungen das Blickverhalten zumeist nicht berücksichtigt. Zudem werden die Analysen häufig in Laborumgebungen durchgeführt (Giannopoulos, 2016, S. 5). Darüber hinaus werden in diesem Zusammenhang zumeist kleine Stichproben von etwa 20 Probanden herangezogen (Franke & Schweikart, 2017b, S. 32). Innerhalb meiner Wegfindungsexperimente wurden zwischen 69 und 120 Personen beobachtet, sodass diese Einschränkung überwunden werden konnte. Im Rahmen meiner Studien habe ich insgesamt sechs Forschungsfragen adressiert. Als erstes habe ich mich mit der Landmarkenauswahl im Innenbereich auseinandergesetzt:

**RQ 1:** Welche Objekte können im Innenbereich referenziert werden?

Meine Vorstudien, die primär dazu dienten, auffällige Objekte für meine Hauptexperimente zu erheben, zeigten bezüglich der Objektkategorie, die im Innenbereich als Landmarke dienen kann, klare Ergebnisse auf. Treppen und Türen, die ich als „funktionale“ Objekte bezeichne, da sie während der Wegfindung „verwendet“ werden können, werden unabhängig von ihrer Lage am häufigsten als Landmarken gewählt, erhalten die höchsten Salienz-Bewertungen und werden vermehrt und am längsten betrachtet, wenn ohne Hilfsmittel navigiert wird. Diese Erkenntnisse decken sich mit der verwandten Forschungsarbeit (siehe zum Beispiel: Viaene, Vanclooster et al., 2014, S. 109).

Weiterhin hat sich gezeigt, dass Orientierungslandmarken, also Objekte, die nicht an einem Entscheidungspunkt liegen (Anacta et al., 2016, S. 6), auch in der Innenraumnavigation sehr wichtig sind. Sie stellen einen Großteil der von den Probanden zur Wegfindung herangezogenen Objekte dar. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen für den Außenbereich (siehe z. B.: Lovelace et al., 1999). Jedoch hat sich für den Innenbereich zudem eine wichtige Objektposition herauskristallisiert: Landmarken, die „auf“ der Route liegen, bilden die am häufigsten gewählte Position. Dies stellt den Zusammenhang zur funktionalen Objektkategorie dar: Türen und Treppen müssen im Inneren häufig durchschritten oder begangenen werden auch wenn die Richtung nicht geändert werden muss. Auf diese Objekte wird somit Bezug genommen, da sie eine räumliche Barriere darstellen, die überwunden werden muss, um weiter auf dem richtigen Weg zu bleiben.

An Entscheidungspunkten zeigte sich, dass die Erkenntnisse für den Außenbereich von Wenzel et al. (2017) und für den virtuellen Raum von Röser et al. (2012) bestätigt

werden konnten. Objekte, die in Bewegungsrichtung auf der gegenüberliegenden Seite einer Kreuzung liegen, sind aufgrund ihrer guten Sichtbarkeit am besten geeignet, um an einem Entscheidungspunkt eine Routenanweisung zu geben. Meine empirischen Studien mit Assistenzsystemen zeigten zudem, dass ein Verweis auf ein Objekt entgegen der Bewegungsrichtung dazu führen kann, dass Nutzer es übersehen und sich folglich verlaufen.

Die gewählten Landmarken – also primär Treppen und Türen – wurden von den Probanden, die diese zur Wegfindung heranzogen, bezüglich ihrer Eignung bewertet. Die Objekte wurden durchweg als sehr hilfreich erachtet und die meisten positiven Äußerungen der Nutzer gegenüber der Wegfindungshilfe bezogen sich auf die Landmarken.

Ein großes Problem bei der Wegfindung sind Situationen, an denen viele ähnliche Landmarken wie beispielsweise mehrere Türen in unmittelbarer räumlicher Nähe zueinander angeordnet sind. Diese Konstellation führt zu Fehlern bei der Wegfindung, unabhängig davon, welche Kartendarstellung verwendet wird. In diesem Zusammenhang könnte entweder auf die Referenzierung einer Objektkategorie ausgewichen werden, die in der jeweiligen Szene einzigartig ist. Oder die Anweisung könnte den Bezug der gleichartigen Objekte darstellen („die linke Tür“). Letzteres könnte jedoch auch Probleme verursachen, da die Referenzierung mehrerer Objekte zu Navigationsfehlern führt. Details zu diesem Sachverhalt werden in der Ergebnisbeschreibung der nächsten Forschungsfrage thematisiert.

Eine weitere wichtige Eigenschaft eines Objekts ist dessen Sichtbarkeit vom momentanen Standpunkt der Nutzer. Sollte es visuell nicht wahrnehmbar sein, so führt dies zu langen Orientierungszeiten und dazu, dass die Wegfindungshilfe relativ lange betrachtet wird. Jedoch resultiert dies nicht immer in Navigationsfehlern. Da dies die Nutzer jedoch verunsichert, sollte darauf geachtet werden, dass Landmarken unmittelbar sichtbar sind. Dieses Problem kann beispielsweise dann gelöst werden, wenn – anders als bei meinen Experimenten – die Nutzerposition bekannt ist. Hierdurch kann verlässlicher abgeschätzt werden, ob das Objekt visuell wahrnehmbar ist.

Weiterhin zeigte sich, dass die Wahl eines wenig salienten Objektes zur Erklärung der Route zu Navigationsfehlern führt. Dies sollte demnach vermieden werden. Sollten zudem Landmarken in der Umgebung existieren, die deutlich auffälliger sind als das in der Navigationsanweisung referenzierte Objekt, so kann es dazu kommen, dass Nutzer sich verlaufen. Ein geringfügiger Unterschied in der Nutzerbewertung der Salienz führt jedoch nicht zu Fehlern.

Bezüglich der Referenzierung von Landmarken im Innenbereich empfehle ich zusammenfassend, dass Nutzerbewertungen das Hauptkriterium bei der Auswahl darstellen sollten, sofern diese situationsspezifisch vorliegen. Sollte dies nicht der Fall sein, sind im Innenbereich funktionale Objekte als Landmarkenkategorie zu präferieren. Zudem können Räume mit einer eindeutigen Bezeichnung referenziert werden. Jedoch zeigte sich bei dieser Objektkategorie, dass die Bekanntheit des Raumes – und somit seine kognitive Salienz nach Sorrows und Hirtle (1999) – berücksichtigt werden sollte. Wie diese gemessen werden kann, ist jedoch eine offene Forschungsfrage. Sofern beispielsweise Daten über häufig besuchte Räume zur Verfügung stehen, könnten diese in die Auswahl miteinbezogen werden. Bezüglich der Position der Landmarke ist zu beobachten, dass im Innenbereich auch bestätigende Landmarken entlang des Weges relevant sind und demnach her-

angezogen werden sollten. An Entscheidungspunkten sollte primär das Objekt verwendet werden, das auf der gegenüberliegenden Seite der Kreuzung in Bewegungsrichtung liegt. Weitere Studien sollten zeigen, wie eine Gewichtung der Position und der Objektkategorie erfolgen kann. Insbesondere für Entscheidungspunkte lagen im Rahmen meiner Studien nur wenige Daten vor und Plus- und T-Kreuzungen wurden nicht unterschieden. Diese Erkenntnisse können beispielsweise dazu genutzt werden, den kategoriebasierten Ansatz zur Landmarkenerhebung von Ludwig et al. (2014) mit weiteren Daten zu verfeinern. Hier wird auf die Position, die Kategorie sowie Nutzerbewertungen Bezug genommen. Weiterhin empfehle ich, dieses Vorgehen explizit durch einen Faktor zu ergänzen, der berücksichtigt, ob mehrere gleichartige Objekte in der Umgebung positioniert sind.

Die Wahl der auffälligen Objekte ist ausschlaggebend für den Navigationserfolg. Fehler während der Wegfindung wurden lediglich für Schritte beobachtet, an denen Landmarken schwer zu identifizieren sind, da vermehrt gleichartige Objekte in der unmittelbaren Umgebung der Nutzer wahrgenommen werden können. Dies deckt sich mit dem Kriterium der „Einzigartigkeit“, das von Burnett et al. (2001) als wichtige Eigenschaft einer Landmarke für den Außenbereich festgestellt worden ist. Eine Abhängigkeit vom Branching-Faktor einer Entscheidungssituation, der in der Literatur als eine ausschlaggebende Eigenschaft der Route diskutiert wird (Giannopoulos et al., 2014, S. 228), konnte für den Innenbereich innerhalb meiner Studien nicht festgestellt werden. Weiterhin stellt die Referenzierung mehrerer Objekte ein Problem dar. Diese Erkenntnis bezieht sich auf meine zweite Forschungsfrage:

**RQ 2:** Wie viele Landmarken sollte eine Wegfindungshilfe im Innenbereich anzeigen?

In der verwandten Forschungsarbeit werden vermehrt alle Objekte, die zur Verfügung stehen, innerhalb des Assistenzsystems angezeigt (siehe Kapitel 3.4). Aretz und Wickens (1992, S. 314) beobachteten jedoch in einer kontrollierten Laborstudie, bei der abstrakte Landmarken visualisiert wurden, dass Probanden mit steigender Objekt-Anzahl länger benötigen, um auf eine Aufgabe zu reagieren. Dies konnte ich innerhalb meiner in situ durchgeführten Studien bestätigen. Nutzer, die mehrere Objekte zur Wegfindung heranziehen, benötigen signifikant länger, um sich zu orientieren. Zudem ist für diese Personengruppe eine erhöhte visuelle Aufmerksamkeit auf das digitale Assistenzsystem zu beobachten. Weiterhin werden zusätzlich angezeigte Landmarken in der real-weltlichen Umgebung kaum bis gar nicht betrachtet. In diesem Zusammenhang wurde eine Landmarke mit der Anzeige von vier Objekten verglichen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch die Bezugnahme auf lediglich ein weiteres Objekt zu Navigationsfehlern führt. Es ist somit zu empfehlen, nur ein Objekt in einer Routenanweisung zu referenzieren. Die bereits beschriebenen Erkenntnisse beinhalten Ergebnisse, die meine dritte Forschungsfrage adressieren:

**RQ 3:** Wie werden Landmarken während der Wegfindung rezipiert?

Es hat sich gezeigt, dass zusätzliche Objekte während der Wegfindung kaum betrachtet werden. Im Allgemeinen werden auffällige Objekte nur sehr kurz fixiert. Im Durchschnitt betrachten die Nutzer das referenzierte Objekt lediglich eine Sekunde. Auch kehren sie mit ihrem Blick nicht auf das Objekt zurück. Insgesamt führen die Landmarken die Probanden jedoch effizient und effektiv ans Ziel. Auch ist die subjektive Zufriedenheit mit

diesen Objekten sehr hoch. Diese kurze Zeitspanne reicht somit aus, um sich zu orientieren.

Meine weiteren Forschungsfragen bezogen sich auf die zusätzliche Darstellung von Kartenmaterial, das die Umgebung der Nutzer visualisierte. In diesem Zusammenhang untersuchte ich folgende Fragen:

**RQ 4:** Wie stark können Kartendarstellungen vereinfacht werden?

**RQ 5:** Welche Kartendarstellungen führen zu einer effizienteren Orientierung?

Im Rahmen meiner Experimente habe ich schematisches Kartenmaterial, das lediglich die Route sowie eine Landmarke in der Umgebung der Nutzer darstellt, mit Gebäudeplänen verglichen. Hierzu wurden drei Experimente durchgeführt. Bezüglich sehr detaillierter Gebäudepläne, die beispielsweise Raumnummern und architektonische Besonderheiten wie Säulen darstellen, kann eindeutig gefolgert werden, dass diese im Vergleich zu schematischem Kartenmaterial zur Wegfindung weniger gut geeignet sind. Probanden benötigen signifikant länger, die Wegfindungsaufgabe zu lösen, und das Kartenelement bindet vermehrt visuelle Aufmerksamkeit. Zudem wird mit dem Blick häufiger auf dieses Element zurückgekehrt. Auch wenn das Kartenmaterial in der Darstellung vereinfacht ist, also nur den Gebäudegrundriss anzeigt, wird signifikant mehr visuelle Aufmerksamkeit gebunden. Zudem lesen Nutzer, die mit dieser Assistenz navigieren, vermehrt die Textanweisung. Weiterhin ist die Zeit, die benötigt wird, sich anhand der schematischen Karte zu orientieren, für manche Schritte signifikant kürzer. Jedoch ist zu sagen, dass der Unterschied bezüglich der Orientierungszeit bei vereinfachten Kartendarstellungen eher selten auftritt und zudem nur eine geringe absolute Differenz aufweist. Betreffend der subjektiven Zufriedenheitsmaße wie der Usability-Bewertung oder dem erlebten Workload wurde zwischen den Kartendarstellungen keine Verschiedenheit festgestellt. Auch bewerten die Probanden die einzelnen Interface-Elemente und die Landmarken nicht signifikant anders. Insgesamt ist zu sagen, dass von detaillierten Gebäudeplänen als digitale Wegfindungshilfe abgeraten werden kann. Dennoch wünschen sich die Navigierenden teilweise eine „klassische“ Kartenansicht, also einen Gebäudeplan. Aus diesem Grund empfehle ich eine vereinfachte Karte auf Wunsch bereitzustellen. Kiefer et al. (2016) zeigten auf, dass adaptierbare Karten zu höherer Nutzerzufriedenheit führen und zudem die kognitive Belastung senken und empfehlen, die Adaption nicht automatisch sondern lediglich durch eine Nutzerinteraktion durchzuführen. Auch Gartner und Radoczky (2006) schlagen vor, mehrere Präsentationsformen zur Verfügung zu stellen. Dieser Empfehlung schließe ich mich an. Insbesondere wenn die Effizienz der Wegfindung im Vordergrund steht und das Interface nicht visuell ablenken soll, sollte als Standardansicht schematisches Kartenmaterial verwendet werden. Jedoch sollten die Nutzer die Möglichkeit erhalten, einen Gebäudeplan, idealerweise in vereinfachter Form, betrachten zu können. Meine letzte Forschungsfrage lautete:

**RQ 6:** Wie betrachten Nutzer unterschiedliche Wegfindungshilfen und wie ist das Blickverhalten charakterisiert?

Wie bereits dargestellt, zeigte sich, dass die referenzierten Landmarken eher kurz betrachtet werden. Zusätzliche Objekte werden kaum fixiert. Weiterhin binden Gebäudepläne

ne deutlich mehr visuelle Aufmerksamkeit. Es stellte sich heraus, dass vermehrte Fixationen auf das Kartenelement zu längeren Orientierungszeiten führen. Orientierungszeiten und Fixationen auf das Display korrelieren signifikant. Das Blickverhalten spiegelt somit Probleme bei der Wegfindung wider.

Weiterhin zeigte sich, dass eine Kombination von Kartenansicht und Textanweisungen hilfreich ist. Die Textanweisung wird fixiert und von den Probanden als sehr hilfreich eingestuft. Eine zusätzliche Darstellung eines abstrahierten Pfeils scheint jedoch keinerlei weitere Hilfestellung zu bieten, da dieses Element kaum betrachtet und auch nicht explizit als hilfreich eingestuft wird. Ich schließe mich somit den Design-Empfehlungen von Kray et al. (2003) an: Kartenmaterial sollte immer mit einer Textanweisung kombiniert werden.

Das Blickverhalten zeigte zudem auf, dass insbesondere die Anfangsphase der Navigation viel visuelle Aufmerksamkeit fordert. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Schnitzler et al. (2016). Die Analyse der Fixationen konnte insgesamt deutlich zum Verständnis der Wegfindung und der kognitiven Prozesse der Nutzer beitragen. Hätte ich lediglich die gängigen Maße, wie die gesamte Navigationszeit, die Fehler während der Aufgabe oder Usability-Bewertungen der Software herangezogen, wären die meisten meiner Erkenntnisse nicht möglich gewesen.

Falls in zukünftigen Studien eine manuelle Annotation der Blickdaten notwendig ist, kann ich Folgendes empfehlen: Die von mir gewählten Referenzbilder, die immer einen Screenshot darstellen und die Umgebung entweder in abstrakter Weise oder als Karten-Fragment repräsentieren, haben sich als praktikabel herausgestellt. Von der Verwendung von Fotografien rate ich ab, da die Annotation dann sehr vom Winkel und der Beleuchtungssituation der Aufnahme abhängt und zudem schnell viele Referenzbilder notwendig sind. Dies erschwert die Übertragung der Daten.

Neben den Erkenntnissen bezüglich meiner anfangs formulierten Forschungsfragen habe ich im Verlauf meiner Experimente zusätzlich Folgendes festgestellt: Ich habe zur Segmentierung der Route eine Heuristik gewählt, die an jedem potenziellen und „echten“ Entscheidungspunkt eine Anweisung generiert. Zudem erhielten die Probanden Anweisungen, wenn sie ein Objekt „verwenden“ mussten, wie es bei Treppen und Türen der Fall sein kann. Darüber hinaus wurde eine Orientierungslandmarke referenziert, sofern mehr als die Hälfte der Probanden der Vorstudie diese als Landmarke genannt hatten oder zwischen zwei Entscheidungspunkten mehr als 50 Meter lagen. Zwar sind die Probanden insgesamt relativ zufrieden mit den Anweisungen gewesen, jedoch stellte sich heraus, dass die Heuristik zu einer zu hohen Anzahl an einzelnen Schritten führte. Dies äußerten manche Nutzer explizit in Freitextantworten. Es scheint so, dass nicht jeder Entscheidungspunkt im Innenraum als solcher wahrgenommen wird. Als Lösung für dieses Problem habe ich Schritte zusammengelegt. Hierdurch wurden jedoch teilweise zwei Landmarken pro Anweisung referenziert. Dies führte allerdings wie bereits beschrieben zu einem vermehrten Verlaufen. Zukünftige Studien sollten dieses Problem nochmals adressieren. Die Einteilung und Länge von Routensegmenten könnte beispielsweise dadurch näher untersucht werden, dass Probanden für verschiedene Strecken Routenanweisungen generieren. Diese könnten daraufhin bezüglich ihrer Länge und der Punkte, an denen eine neue Anweisung gegeben wurde, analysiert werden.

Insgesamt hat meine Arbeit gezeigt, dass die Darstellung von schematischem Kartenmaterial, das pro Anweisungsschritt nur eine Landmarke referenziert, für die Orientie-

zung im Innenraum am hilfreichsten ist und wenig visuelle Aufmerksamkeit bindet. Zudem sollten als Landmarken funktionale Objekte gewählt werden, die nicht nur an Entscheidungspunkten, sondern auch auf und entlang der Route positioniert sind, um die Orientierung aufrechtzuerhalten. In diesem Zusammenhang wurden erstmals Studien mit großen Stichproben durchgeführt, die während einer real-weltlichen Wegfindung im Innenraum das Blickverhalten der Nutzer auf digitalen, landmarkenbasierten Karten analysierten. Die Einschränkungen dieser Experimente werden im Folgenden diskutiert.

## 9.2 Einschränkungen

Innerhalb meiner Arbeit wurde unter spezifischen Testbedingungen eine relativ homogene Probandengruppe untersucht. Hieraus ergeben sich folgende Einschränkungen:

**Probanden:** An meinen Untersuchungen durften aufgrund der Verwendung eines mobilen Eye-Trackers keine Personen, die eine Brille tragen, teilnehmen. Kontaktlinsenträger waren hingegen Teil der Stichprobe. Ich gehe nicht davon aus, dass dies die Ergebnisse beeinflusst hat, da Brillenträger durch ihre Sehhilfe die gleichen visuellen Rezeptionsfähigkeiten aufweisen wie Probanden ohne diese Einschränkung. Weiterhin bestand meine Stichprobe überwiegend aus Studierenden. Diese sind bezüglich des Bildungsstandes und Alters sehr homogen. Es ist jedoch anzumerken, dass Studierende auch die Zielgruppe meines Systems darstellen. Inwiefern die Präferenzen der Darstellungsart sich für andere Nutzergruppen unterscheiden, sollte in zukünftigen Studien untersucht werden.

Die Teilnehmer wiesen zudem eine sehr heterogene Ortskenntnis und einen durchschnittlichen Orientierungssinn auf. Zukünftige Studien könnten Nutzergruppen heranziehen, die keinerlei Ortskenntnis haben und somit mit der baulichen Beschaffenheit des Testgeländes nicht vertraut sind. Durch die Kenntnis des grundsätzlichen Gebäude-Layouts ist es durchaus denkbar, dass Probanden hierdurch deutlich weniger Probleme bei der Wegfindung haben, da sie anhand ihrer kognitiven Karte navigieren konnten (siehe z. B.: Hirtle & Bahm, 2015). Auch ist es möglich, dass Probanden mit einem sehr gut oder unterdurchschnittlich ausgeprägten Orientierungssinn besondere Präferenzen bezüglich der Darstellungsart aufweisen (siehe z. B.: Bienk et al., 2013). Des Weiteren wurden Nutzer mit körperlichen oder geistigen Einschränkungen in keiner meiner Studien berücksichtigt.

**Testumgebung:** Als Testumgebung habe ich mehrere Gebäude der Universität Regensburg herangezogen. Untersuchungen innerhalb von Universitäten sind durchaus üblich (siehe Kapitel 3.4). Somit sind meine Erkenntnisse mit diesen verwandten Forschungsarbeiten vergleichbar. Jedoch bedeutet dies auch, dass die Ergebnisse nicht vorbehaltlos auf andere Bereiche übertragen werden können. Bezüglich der Landmarkenauswahl haben sich jedoch für einen Bahnhof und ein Einkaufszentrum ähnliche geeignete Kategorien herausgestellt (siehe Ohm, Müller & Ludwig, 2015). Lediglich Geschäfte sind in diesem Zusammenhang ebenso gut geeignet wie funktionale Objekte. Die Ergebnisse der Wegfindungsexperimente sind auf Gebäude übertragbar, die eine ähnliche geometrische Struktur aufweisen. Die Universität umfasst schmale Bürogänge, Treppenhäuser, kleinere und größere Freiflächen

und ist somit bezüglich des Raumes sehr divers, sodass viele andere Gebäude diesbezüglich Ähnlichkeiten aufweisen. Eine Besonderheit der Universität Regensburg ist jedoch, dass sie aus mehreren Zwischenebenen besteht und somit viele Treppen verwendet werden müssen, ohne dass ein Stockwerkswechsel erfolgt. Folglich dominiert die Landmarkenkategorie „Treppe“ in diesem Bereich. Weiterhin ist das Gebäude reich an visuellen Reizen. Durch viele studentische und universitäre Aushänge, Kunstwerke sowie bauliche Besonderheiten wie Säulen und Glasfronten bieten sich viele potenzielle Bezugspunkte für die Navigation. Dies ist beispielsweise innerhalb eines Krankenhauses oder schlicht gehaltenen Bürogebäudes eher unwahrscheinlich. Demnach sollte in weiteren Studien überprüft werden, ob meine Erkenntnisse auch für diese Räume zutreffen.

**Experimentbedingungen:** In meinen Experimenten kam ein mobiler Eye-Tracker zum Einsatz. Manche Probanden äußerten, dass dieser die Sicht etwas einschränkte oder sich unbequem anfühlte. Weiterhin kann dieses Gerät nur foveales Sehen aufnehmen, sodass Reize, die lediglich peripher wahrgenommen worden sind, nicht festgestellt werden konnten. Zudem musste aufgrund der Verwendung dieses Testgerätes für beinahe alle Wegfindungsexperimente ein Tablet als Testgerät verwendet werden, da ansonsten Blicke auf unterschiedliche Bildschirmbereiche nicht festgestellt werden konnten. Die Größe des Gerätes ist vermutlich unüblich für eine Navigationsaufgabe, die wohl am ehesten mit einem Smartphone absolviert werden würde. Durch das größere Gerät wird vermehrt visuelle Aufmerksamkeit gebunden. Jedoch zeigte sich, dass die relative Verteilung der Blicke zwischen einem Smartphone und einem Tablet gleich bleibt (siehe Kapitel 5 und 6). Somit gehe ich davon aus, dass meine Erkenntnisse auch für kleinere Endgeräte verallgemeinert werden können.

Den Probanden war das Ziel der Navigation nicht bekannt, um zu vermeiden, dass sie lediglich anhand ihrer kognitiven Karte dorthin finden. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass Nutzer, falls sie beispielsweise wissen, dass sie einen Raum in einem bestimmten Gebäude suchen, nicht fälschlicherweise einen Raum in einem anderen Gebäude betreten. Dies wurde in meinen Experimenten beobachtet. Ich gehe somit davon aus, dass dies die Wegfindung weiterhin erleichtern würde.

Zudem stand keine Lokalisierungskomponente für meine Experimente zur Verfügung. Die Nutzer mussten selbst entscheiden, wann sie die nächste Anweisung sehen wollten. Es konnte somit geschehen, dass Probanden Anweisungen „zu früh“ oder verspätet anforderten. Dies führte teilweise dazu, dass Landmarken noch nicht sichtbar waren und somit eine Desorientierung auftrat. Weiterhin äußerten die Testpersonen vermehrt den Wunsch nach einer Anzeige ihres Standpunktes. Auch in diesem Zusammenhang gehe ich davon aus, dass dies die Wegfindung erleichtern würde, da beispielsweise nur dann auf eine Landmarke verwiesen werden würde, wenn diese unmittelbar im Sichtfeld der Nutzer liegt. Jedoch muss in diesem Zusammenhang auch untersucht werden, wie die Darstellung der zusätzlichen Information der aktuellen Position von den Nutzern rezipiert wird.

Darüber hinaus mussten die Probanden, sobald sie die Anweisung verstanden hatten, einen Button betätigen. Dieser diente dazu, die Orientierungszeit zu messen. Diese ist nicht von der Bewegungsgeschwindigkeit der Nutzer abhängig und bein-

haltet anders als die gesamte Navigationszeit nicht das Zeitintervall, das vergeht, wenn Nutzer sich verlaufen hatten und wieder zurück zur Route geführt werden mussten. Jedoch äußerten viele Probanden, dass sie den Button als sehr störend und unnötig empfanden. Da sich jedoch Ergebnisse von Experimenten mit und ohne dieser Funktion sehr ähneln, gehe ich nicht davon aus, dass dies die Erkenntnisse beeinflusst hat.

**Untersuchungsgegenstand:** In meiner Arbeit wurden lediglich punktartige und lokale Landmarken berücksichtigt (siehe: Furlan et al., 2007; Raubal & Winter, 2002). Im Innenbereich wäre es auch denkbar, flächenartige Objekte wie Gänge, Kreuzungen oder ganze Gebäude zu referenzieren. Letztere könnten insbesondere für Probanden mit Vorkenntnissen bezüglich des Bereichs hilfreich sein. Zudem wurde innerhalb meiner Studien die kognitive Salienz nach Sorrows und Hirtle (1999) nicht berücksichtigt. Eine persönliche Dimension, die die Auffälligkeit eines Objektes im Innenraum beeinflusst, sollte Teil weiterer Experimente sein. Auch ist eine detaillierte Untersuchung sinnvoll, die adressiert, wie die unterschiedlichen Landmarken-Kategorien voneinander abhängen. Hierfür werden besonders für Entscheidungspunkte mehr Daten benötigt. Bezüglich der Untersuchung, wie viele Landmarken visualisiert werden sollten, habe ich explizit nur die Darstellung von einem im Vergleich zu vier Objekten verglichen. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Referenzierung von zwei Objekten zu Orientierungsproblemen führt. In diesem Zusammenhang könnte jedoch weiterhin analysiert werden, ob und wie die Darstellung von drei oder sogar mehr als vier Objekten bei der Wegfindung rezipiert wird.

Weiterhin wurden in meinen Interface-Designs keine Überblicksinformationen gegeben, um zu verhindern, dass Probanden anhand ihrer kognitiven Karte zum Ziel finden. Dies könnte jedoch die besonders schwierige initiale Phase der Navigation unterstützen und sollte in zukünftigen Studien berücksichtigt werden (siehe Delikostidis et al., 2015).

Des Weiteren wurde in meiner Arbeit nicht untersucht, wie ein Gebäudewechsel über den Außenbereich dargestellt werden kann. Diese Übergänge stellen eine Herausforderung dar, da sich hier die Umgebung der Probanden ändert und sie sich vermehrt neu orientieren müssen (Rehrl et al., 2005).

Bezüglich des untersuchten Kartenmaterials sind noch diverse andere Anzeigemöglichkeiten, wie etwa die Darstellung von weiteren Gängen im schematischen Kartenmaterial möglich. Da sich jedoch in allen Studien gezeigt hat, dass Karten vermehrt visuelle Aufmerksamkeit binden, jedoch nicht zu einer effizienteren Wegfindung führen, gehe ich davon aus, dass dies für alle Kartendesigns der Fall ist, die mehr Informationen als die von mir verwendeten schematischen Karten darstellen. Hierbei ist anzumerken, dass der Fokus meiner Untersuchungen auf einer effizienten Wegfindung lag. Die subjektiven Zufriedenheitsmaße zeigten in keinem Experiment Unterschiede auf. Weitere Untersuchungen, ob beispielsweise Kartenmaterial ästhetischer ansprechender ist als schematische Karten oder zu einer angenehmeren Wegfindung führt und die Verunsicherung der Probanden senkt, sind in diesem Zusammenhang notwendig. Auch könnte die Frage untersucht werden, ob Gebäudepläne besser dazu geeignet sind, räumliches Wissen über die Strecke zu erlangen.

Die beschriebenen Einschränkungen haben bereits mehrere Anknüpfungspunkte an meine Arbeit aufgezeigt, die in zukünftigen Studien adressiert werden können. Diese und weitere werden im Folgenden dargestellt.

### 9.3 Ausblick

Die Wegfindung hat viele Einflussfaktoren, die die Umgebung, die Nutzer und das Assistenzsystem betreffen (siehe Kapitel 2.2). Folglich wäre es wie bereits dargestellt sinnvoll, meine Experimente in anderen Gebäuden wie Krankenhäusern oder Flughäfen zu wiederholen, um die Generalisierbarkeit nochmals zu überprüfen. Auch sollten andere Probandengruppen wie beispielsweise Besucher der Universität herangezogen werden. In diesem Zusammenhang kann sowohl die Analyse von geeigneten Landmarken als auch von unterschiedlichen Kartendarstellungen vertieft werden. Zudem sollte untersucht werden, wie der Übergang zwischen dem Innen- und dem Außenraum dargestellt werden kann, ohne dass die Nutzer vermehrt kognitive Ressourcen für die Orientierung aufwenden müssen.

Eine große Einschränkung meiner Experimente war, dass die Positionsbestimmung der Probanden nicht erfolgen konnte. Ich habe somit eine Wegfindungshilfe analysiert, die für den „schlimmsten Fall“ konzipiert ist. Dieser tritt ein, wenn neben Start- und Endpunkt keinerlei Information über den Probanden vorhanden ist. Der Fokus zukünftiger Studien sollte darin liegen, eine Lokalisierung der Nutzer zu integrieren. In diesem Zusammenhang stelle ich die Hypothese auf, dass die landmarkenbasierte Wegfindung verbessert werden kann, da die Sichtbarkeit eines Objekts vom aktuellen Standpunkt der Nutzer ermittelt werden kann. Eine schlechte Sichtbarkeit führte in meinen Experimenten vermehrt zu Problemen bei der Wegfindung. Jedoch ist zu beachten, dass die Darstellung der Nutzerposition auch zusätzliche Aufmerksamkeitsressourcen erfordert. Dies könnte auch zu längeren Orientierungszeiten führen.

Weiterhin hat sich in meinen Experimenten herausgestellt, dass die Routensegmentgröße nicht optimal gewählt wurde. In weiteren Studien könnte beispielsweise ermittelt werden, wie groß die Abschnitte sind, die Probanden zur Erklärung einer Route wählen würden. Hierdurch könnte die Assistenz dem natürlichen Wegfindungsverhalten von Personen angepasst werden.

Als Fortführung meiner Studien, die sehr auf die Effizienz der Navigation fokussiert waren, wären auch Untersuchungen interessant, die beispielsweise die Ausprägung einer kognitiven Karte während der Wegfindungsaufgabe analysieren (ähnlich zu: Anacta et al., 2016; Brügger et al., 2017; Münzer et al., 2006). Die stark ausgeprägte visuelle Aufmerksamkeit, die auf den unterschiedlichen Interface-Varianten meiner Studien festgestellt wurde, lässt vermuten, dass die Probanden sich primär auf das Assistenzsystem konzentriert haben und somit die Aneignung von räumlichem Wissen eher in den Hintergrund gerückt ist. Jedoch ist für manche Zielgruppen, wie beispielsweise den von Münzer et al. (2006) genannten Touristen, aber auch den Studierenden einer Universität, eine Ausprägung der kognitiven Karte wünschenswert. Hierdurch müssten sich die Wegfinder nicht immer auf ein Navigationssystem verlassen, um ihr Ziel zu erreichen.

Des Weiteren könnte das Blickverhalten in der Umgebung während der Wegfindung genauer analysiert werden. In meinen Studien konnte ich lediglich feststellen, wie lange

das referenzierte Objekt betrachtet worden ist. In diesem Zusammenhang wäre es auch interessant, zu analysieren, wie das Blickverhalten unmittelbar nach der Rezeption des Interfaces und während der Fortbewegung charakterisiert ist. Eine zusätzliche Fragestellung wäre, ob die Art der Umgebung, also wenn beispielsweise viele gleichartige Landmarken in einer Szene vorhanden sind, ein anderes Blickverhalten zur Folge hat. Somit könnte man deutlich situationsspezifischer auf die Rezeption eingehen. Hierzu müssen die Eye-Tracker-Daten jedoch anders annotiert und analysiert werden.

Eine weitere wichtige Situation, die untersucht werden sollte, ist, wie Probanden im Falle eines „Verlaufens“ geholfen werden kann. In meinen Experimenten wurden die Teilnehmer von den Testleitern wieder zurück zur Route geführt. Jedoch ist insbesondere in einer Phase der Desorientierung eine Assistenz notwendig. In diesem Fall könnte man beispielsweise auf fotorealistische Darstellungen zurückgreifen, um die Situation aufzulösen. Eigene Studien haben bereits gezeigt, dass Fotos insbesondere an schwierigen Entscheidungspunkten hilfreich sein können (siehe Ohm, Ludwig & Gerstmeier, 2015). Weiterhin wäre es möglich eine Überblickskarte einzublenden, um eine globale Orientierung zu ermöglichen, wie von T. Wang et al. (2013) und Selvi et al. (2016) vorgeschlagen. Falls noch weniger visuelle Aufmerksamkeit vom Interface gebunden werden soll, wie es zum Beispiel wünschenswert ist, wenn mit viel Gepäck navigiert wird, wäre eine Kombination mit einer taktilen Navigation wie bei Pielot et al. (2012) möglich. Diese unterschiedlichen Arten, Routeninformationen mit meinen Kartendarstellungen zu kombinieren, sollten in Zukunft adressiert werden. In einer neueren Studie von D. Wenig et al. (2016) wurde Wegfindungsinformation auch auf kleinen Endgeräten wie Smartwatches angezeigt. Auch dies wäre eine sinnvolle Erweiterung meiner Arbeit, da das schematische Kartenmaterial aufgrund der geringen Informationsmenge, die dargestellt wird, auch auf diesen Interfaces gut visualisiert werden kann. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu beachten, dass eine Analyse mit einem mobilen Eye-Tracker aufgrund der kleinen Bildschirmfläche nur sehr eingeschränkt möglich sein wird.

Meine Arbeit legte den Schwerpunkt auf die Unterstützung und Untersuchung der „Suchen“-Aufgabe nach Allen (1999a, 1999b). Im Normalfall hilft ein Navigationssystem den Nutzern, wenn sie zu einem ihnen unbekanntem Ort navigieren möchten. Auch denkbar ist in diesem Zusammenhang, dass eine Person eine ihr unbekannte Umgebung zwischen zwei bekannten Punkten erkunden möchte. Dies ist insbesondere bei einem Stadt- oder Touristenführer relevant. Die Umsetzung solcher Systeme ist vor allem für den Außenbereich ein Forschungsschwerpunkt (siehe z. B.: Malaka & Zipf, 2000; Schaller & Hacker, 2014), wird jedoch im Rahmen meiner Arbeit nicht näher adressiert und bietet eine Möglichkeit, die von mir gewonnenen Ergebnisse bezüglich eines neuen Szenarios zu evaluieren, wie zum Beispiel in einem Museum.

Eine weitere wichtige Forschungsrichtung, die jedoch nicht Teil meiner Arbeit war, ist die Berücksichtigung von Bedürfnissen besonderer Nutzergruppen. Darunter fallen beispielsweise Senioren, die aufgrund von abnehmenden kognitiven Ressourcen besondere Interface-Designs benötigen (siehe z. B.: Goodman et al., 2005). Zudem wurde die Fragestellung, wie Personen mit eingeschränkter Sehfähigkeit (siehe z. B.: Ivanov, 2010) sowie Nutzer mit einer Mobilitätseinschränkung (siehe z. B.: Karimi & Ghafourian, 2010) unterstützt werden können, bereits adressiert. Eine weitere Forschungsrichtung behandelt die Frage, wie in einem Notfall Hilfestellung geleistet werden kann, zum Beispiel indem man

Einsatzkräften der Feuerwehr bei der Wegfindung in einem Gebäude hilft (siehe z. B.: Ramirez, Deneff & Dyrks, 2009). Inwiefern meine Erkenntnisse auch für diese Nutzergruppen relevant sein können, könnte Teil zukünftiger Studien sein.

Insgesamt haben meine Untersuchungen gezeigt, dass „weniger mehr ist“ – auch bei der Wegfindung im Innenraum. Jedoch sind in diesem Untersuchungsgebiet noch viele weitere Forschungsfragen offen, die in Zukunft adressiert werden sollten.

# Literaturverzeichnis

- Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Hong, J., Long, S., Kooper, R. & Pinkerton, M. (1997). Cyberguide: A Mobile Context-aware Tour Guide. *Wireless Networks*, 3 (5), 421–433.
- Afyouni, I., Ray, C. & Christophe, C. (2012). Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey. *Journal of Spatial Information Science*, 1 (4), 85–123.
- Agrawala, M. & Stolte, C. (2000). A design and implementation for effective computer-generated route maps. In *Proceedings of the AAAI symposium on smart graphics* (S. 61–65).
- Allen, G. L. (1999a). Cognitive Abilities in the Service of Wayfinding: A Functional Approach. *The Professional Geographer*, 51 (4), 555–561.
- Allen, G. L. (1999b). Spatial abilities, cognitive maps, and wayfinding. In R. G. Golledge (Hrsg.), *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes* (S. 46–80). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Anacta, V. J. A., Schwering, A., Li, R. & Muenzer, S. (2016). Orientation information in wayfinding instructions: Evidences from human verbal and visual instructions. *GeoJournal*, 1–17.
- Anacta, V. J. A., Wang, J. & Schwering, A. (2014). Routes to Remember: Comparing Verbal Instructions and Sketch Maps. In J. Huerta, S. Schade & C. Granell (Hrsg.), *Connecting a Digital Europe Through Location and Place* (S. 311–322). Cham: Springer.
- Anagnostopoulos, V., Havlena, M., Kiefer, P., Giannopoulos, I., Schindler, K. & Raubal, M. (2017). Gaze-Informed location-based services. *International Journal of Geographical Information Science*, 31 (9), 1770–1797.
- Andersson, R., Nyström, M. & Holmqvist, K. (2010). Sampling frequency and eye-tracking measures: How speed affects durations, latencies, and more. *Journal of Eye Movement Research*, 3 (3).
- Apple. (2018). *Apple Maps*. Zugriff auf <https://www.apple.com/ios/maps/>
- Aretz, A. J. (1991). The Design of Electronic Map Displays. *Human Factors*, 33 (1), 85–101.
- Aretz, A. J. & Wickens, C. D. (1992). The mental rotation of map displays. *Human Performance*, 5 (4), 303–328.
- Aslan, I., Schwalm, M., Baus, J., Krüger, A. & Schwartz, T. (2006). Acquisition of Spatial Knowledge in Location Aware Mobile Pedestrian Navigation Systems. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 105–108). New York, NY, USA: ACM.
- Bangor, A., Kortum, P. & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4 (3), 114–123.

- Basiri, A., Amirian, P. & Winstanley, A. (2016). The usability analysis for the use of augmented reality and visual instructions in navigation services. In G. Gartner & H. Huang (Hrsg.), *Proceedings of the 13th international conference on location-based services* (S. 34–43).
- Basiri, A., Amirian, P., Winstanley, A., Marsh, S., Moore, T. & Gales, G. (2016). Seamless Pedestrian Positioning and Navigation Using Landmarks. *Journal of Navigation*, 69 (1), 24–40.
- Bauer, C., Müller, M. & Ludwig, B. (2016). Indoor Pedestrian Navigation Systems: Is More Than One Landmark Needed for Efficient Self-localization? In *Proceedings of the 15th international conference on mobile and ubiquitous multimedia* (S. 75–79). New York, NY, USA: ACM.
- Bauer, C., Müller, M., Ludwig, B. & Zhang, C. (2017). Supporting orientation during indoor and outdoor navigation. In P. Fogliaroni, A. Ballatore & E. Clementini (Hrsg.), *Proceedings of Workshops and Posters at the 13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017)* (S. 153–161). Cham: Springer.
- Baus, J., Krüger, A. & Wahlster, W. (2002). A Resource-adaptive Mobile Navigation System. In *Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent User Interfaces* (S. 15–22). New York, NY, USA: ACM.
- Beeharee, A. K. & Steed, A. (2006). A Natural Wayfinding Exploiting Photos in Pedestrian Navigation Systems. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 81–88). New York, NY, USA: ACM.
- Bell, M., Reeves, S., Brown, B., Sherwood, S., MacMillan, D., Ferguson, J. & Chalmers, M. (2009). EyeSpy: Supporting Navigation Through Play. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 123–132). New York, NY, USA: ACM.
- Bienk, S., Kattenbeck, M., Ludwig, B., Müller, M. & Ohm, C. (2013). I want to view it my way: Interfaces to mobile maps should adapt to the user's orientation skills. In *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (S. 34:1–34:9). New York, NY, USA: ACM.
- Bigler, S., Brügger, A., Utzinger, F. & Richter, K.-F. (2014). Up, Down, Turn Around: Assisted Wayfinding Involving Level Changes. In C. Freksa, B. Nebel, M. Hegarty & T. Barkowsky (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Cognition IX* (S. 176–189). Cham: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Bosman, S., Groenendaal, B., Findlater, J. W., Visser, T., de Graaf, M. & Markopoulos, P. (2003). GentleGuide: An Exploration of Haptic Output for Indoors Pedestrian Guidance. In L. Chittaro (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Symposium on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Service (Mobile HCI 2003)* (S. 358–362). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bouwer, A., Nack, F. & El Ali, A. (2012). Lost in Navigation: Evaluating a Mobile Map App for a Fair. In *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimodal Interaction* (S. 173–180). New York, NY, USA: ACM.
- Brooke, J. (1996). SUS – A quick and dirty usability scale. In P. Jordan, B. Thomas, B. Weermeester & I. McClelland (Hrsg.), *Usability evaluation in industry* (S. 189–194).

- Taylor and Francis.
- Brügger, A., Richter, K.-F. & Fabrikant, S. I. (2017). Distributing attention between environment and navigation system to increase spatial knowledge acquisition during assisted wayfinding. In P. Fogliaroni, A. Ballatore & E. Clementini (Hrsg.), *Proceedings of Workshops and Posters at the 13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017)* (S. 19–22). Cham: Springer.
- Brügger, A., Richter, K.-F. & Fabrikant, S. I. (2018). Which egocentric direction suffers from visual attention during aided wayfinding? In P. Kiefer, I. Giannopoulos, F. Göbel, M. Raubal & A. T. Duchowski (Hrsg.), *Proceedings of the 3rd International Workshop on Eye Tracking for Spatial Research*.
- Brunner-Friedrich, B. & Radoczky, V. (2006). Active Landmarks in Indoor Environments. In S. Bres & R. Laurini (Hrsg.), *Visual Information and Information Systems* (S. 203–215). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brush, A. B., Karlson, A. K., Scott, J., Sarin, R., Jacobs, A., Bond, B., ... Levi, S. (2010). User Experiences with Activity-based Navigation on Mobile Devices. In *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 73–82). New York, NY, USA: ACM.
- Burnett, G., Smith, D. & May, A. (2001). Supporting the navigation task: Characteristics of 'good' landmarks. *Contemporary Ergonomics*, 1, 441–446.
- Butz, A., Baus, J., Krüger, A. & Lohse, M. (2001). A Hybrid Indoor Navigation System. In *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent User Interfaces* (S. 25–32). New York, NY, USA: ACM.
- Caduff, D. & Timpf, S. (2008). On the assessment of landmark salience for human navigation. *Cognitive Processing*, 9 (4), 249–267.
- Chittaro, L. & Burigat, S. (2005). Augmenting audio messages with visual directions in mobile guides: An evaluation of three approaches. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 107–114). New York, NY, USA.
- Colley, A., Rantakari, J. & Häkkinen, J. (2014). Stereoscopic 3D Mobile Maps for Indoor Navigation in Multi-level Buildings. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (S. 227–230). New York, NY, USA: ACM.
- Cöltekin, A., Heil, B., Garlandini, S. & Fabrikant, S. I. (2009). Evaluating the Effectiveness of Interactive Map Interface Designs: A Case Study Integrating Usability Metrics with Eye-Movement Analysis. *Cartography and Geographic Information Science*, 36 (1), 5–17.
- Daniel, M.-P. & Denis, M. (1998). Spatial Descriptions as Navigational Aids: A Cognitive Analysis of Route Directions. *Kognitionswissenschaft*, 7 (1), 45–52.
- Daniel, M.-P. & Denis, M. (2004). The production of route directions: Investigating conditions that favour conciseness in spatial discourse. *Applied Cognitive Psychology*, 18 (1), 57–75.
- Delazari, L. S., Anand, S. & Morley, J. (2014). Evaluation of subjective preferences regarding indoor maps: Comparison of schematic maps and floor plans. In G. Huerta Schade (Hrsg.), *Proceedings of the AGILE 2014 International Conference on Geographic Information Science* (S. 1–4). Castellon: AGILE Digital Editions.

- Delikostidis, I. (2011). *Improving the usability of pedestrian navigation systems*. Dissertation, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC).
- Delikostidis, I., Engel, J., Retsios, B., van Elzakker, C. P., Kraak, M.-J. & Döllner, J. (2013). Increasing the Usability of Pedestrian Navigation Interfaces by means of Landmark Visibility Analysis. *Journal of Navigation*, 66 (4), 523–537.
- Delikostidis, I., van Elzakker, C. P. & Kraak, M.-J. (2015). Overcoming challenges in developing more usable pedestrian navigation systems. *Cartography and Geographic Information Science*, 43 (3), 189–207.
- Denis, M. (2018). *Space and Spatial Cognition: A Multidisciplinary Perspective*. New York: Routledge.
- Denis, M., Pazzaglia, F., Cornoldi, C. & Bertolo, L. (1999). Spatial discourse and navigation: An analysis of route directions in the city of Venice. *Applied Cognitive Psychology*, 13 (2), 145–174.
- Dillemuth, J. (2005). Map Design Evaluation for Mobile Display. *Cartography and Geographic Information Science*, 32 (4), 285–301.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology*. Cham: Springer.
- Duckham, M., Winter, S. & Robinson, M. (2010). Including landmarks in routing instructions. *Journal of Location Based Services*, 4 (1), 28–52.
- Ekman, I. & Lankoski, P. (2002). What Should It Do?: Key Issues in Navigation Interface Design for Small Screen Devices. In *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 622–623). New York, NY, USA: ACM.
- Elias, B. (2003). Determination of landmarks and reliability criteria for landmarks. In *Proceedings of the 5th workshop on progress in automated map generalization*.
- Elias, B. & Brenner, C. (2005). Automatic generation and application of landmarks in navigation data sets. In *Developments in spatial data handling* (S. 469–480). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Elias, B. & Paelke, V. (2008). User-Centered Design of Landmark Visualizations. In L. Meng, A. Zipf & S. Winter (Hrsg.), *Map-based Mobile Services: Design, Interaction and Usability* (S. 33–56). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Elias, B., Paelke, V. & Kuhnt, S. (2005). Concepts for the cartographic visualization of landmarks. In *Proceedings of LBS and Telecartography* (S. 149–155).
- Elias, B. & Sester, M. (2006). Incorporating landmarks with quality measures in routing procedures. In *International conference on geographic information science* (S. 65–80). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Elmqvist, N., Axblom, D., Claesson, J., Hagberg, J., Segerdahl, D., So, Y., ... Wiklander, M. (2006). 3dvn: A mixed reality platform for mobile navigation assistance. In *Proceedings of the CHI2007 Workshop on Mobile Spatial Interaction* (S. 1–4).
- Emo, B. (2012). Wayfinding in Real Cities: Experiments at Street Corners. In C. Stachniss, K. Schill & D. Uttal (Hrsg.), *Spatial Cognition VIII* (S. 461–477). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ettliger, A., Neuner, H.-B. & Burgess, T. (2017). Smartphone Sensor-Based Orientation Determination for Indoor-Navigation. In G. Gartner & H. Huang (Hrsg.), *Progress in Location-Based Services* (S. 49–68). Cham: Springer.
- Fabrikant, S. I., Hespanha, S. R. & Hegarty, M. (2010). Cognitively Inspired and Perceptually Salient Graphic Displays for Efficient Spatial Inference Making. *Annals of the*

- Association of American Geographers*, 100 (1), 13–29.
- Fallah, N., Apostolopoulos, I., Bekris, K. & Folmer, E. (2013). Indoor Human Navigation Systems: A Survey. *Interacting with Computers*, 25 (1), 21–33.
- Fellner, I., Huang, H. & Gartner, G. (2017). "Turn Left after the WC, and Use the Lift to Go to the 2nd Floor" – Generation of Landmark-Based Route Instructions for Indoor Navigation. *International Journal of Geo-Information*, 6 (6), 1–23.
- Fontaine, S. & Denis, M. (1999). The Production of Route Instructions in Underground and Urban Environments. In C. Freksa & D. M. Mark (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory (COSIT'99)* (S. 83–94). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Franke, C. & Schweikart, J. (2017a). Investigation of Landmark-Based Pedestrian Navigation Processes with a Mobile Eye Tracking System. In G. Gartner & H. Huang (Hrsg.), *Progress in Location-Based Services 2016* (S. 105–130). Cham: Springer.
- Franke, C. & Schweikart, J. (2017b). Mental representation of landmarks on maps: Investigating cartographic visualization methods with eye tracking technology. *Spatial Cognition & Computation*, 17 (1-2), 20–38.
- Freksa, C. (1999). Spatial aspects of task-specific wayfinding maps. In *Visual and spatial reasoning in design* (S. 15–32). Sydney: Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney.
- Fröhlich, P., Simon, R., Baillie, L. & Anegg, H. (2006). Comparing Conceptual Designs for Mobile Access to Geo-spatial Information. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 109–112). New York, NY, USA: ACM.
- Furlan, A., Baldwin, T. & Klippel, A. (2007). Landmark Classification for Route Directions. In *Proceedings of the Fourth ACL-SIGSEM Workshop on Prepositions* (S. 9–16). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics.
- Gärling, T., Böök, A. & Lindberg, E. (2013). Adults' memory representations of the spatial properties of their everyday physical environment. In R. Cohen (Hrsg.), *The Development of Spatial Cognition* (S. 141–184). Psychology Press.
- Gartner, G. (2004). Location-based mobile pedestrian navigation services-the role of multimedia cartography. In *Proceedings of ICA UP- IMap* (S. 1–10).
- Gartner, G., Bennett, D. A. & Morita, T. (2007). Towards Ubiquitous Cartography. *Cartography and Geographic Information Science*, 34 (4), 247–257.
- Gartner, G. & Radoczky, V. (2005). Schematic vs. Topographic Maps in Pedestrian Navigation: How Much Map Detail is Necessary to Support Wayfinding? In *Proceedings of the AAI Spring Symposium on Reasoning with Mental and External Diagrams: Computational Modeling and Spatial Assistance* (S. 41–47).
- Gartner, G. & Radoczky, V. (2006). About the Role of Cartographic Presentation for Wayfinding. In E. Stefanakis, M. P. Peterson, C. Armenakis & V. Delis (Hrsg.), *Geographic hypermedia: Concepts and systems* (S. 381–398). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Giannopoulos, I. (2016). *Supporting Wayfinding Through Mobile Gaze-Based Interaction*. Dissertation, ETH-Zürich.
- Giannopoulos, I., Kiefer, P., Raubal, M., Richter, K.-F. & Thrash, T. (2014). Wayfinding Decision Situations: A Conceptual Model and Evaluation. In M. Duckham, E. Pebesma, K. Stewart & A. U. Frank (Hrsg.), *Proceedings of the 8th International Conference*

- on *Geographic Information Science* (S. 221–234). Cham: Springer.
- Gluck, M. (1991). Making Sense of Human Wayfinding: Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction. In D. M. Mark & A. U. Frank (Hrsg.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space* (S. 117–135). Dordrecht: Springer.
- Golledge, R. G. (1995). Path selection and route preference in human navigation: A progress report. In A. U. Frank & W. Kuhn (Hrsg.), *Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS* (S. 207–222). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Golledge, R. G. (1999). Human wayfinding and cognitive maps. In R. G. Golledge (Hrsg.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (S. 5–45).
- Goodman, J., Brewster, S. & Gray, P. (2005). How can we best use landmarks to support older people in navigation? *Behaviour & Information Technology*, 24 (1), 3–20.
- Goodman, J., Gray, P., Khammampad, K. & Brewster, S. (2004). Using Landmarks to Support Older People in Navigation. In S. Brewster & M. Dunlop (Hrsg.), *Mobile Human-Computer Interaction - MobileHCI 2004* (S. 38–48). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Google. (2018a). *Google Maps*. Zugriff auf <https://www.google.de/maps/>
- Google. (2018b). *Google Street View*. Zugriff auf <https://www.google.com/streetview/>
- Götze, J. & Boye, J. (2016). Learning landmark salience models from users' route instructions. *Journal of Location Based Services*, 10 (1), 47–63.
- Gunzelmann, G., Douglass, S. & Khooshabeh, P. (2008). Learning to orient using a map display: Evidence from eye tracking. In C. Hölscher (Hrsg.), *Poster Proceedings of the Conference on Spatial Cognition* (S. 85–88).
- Hampe, M. & Elias, B. (2004). Integrating Topographic Information and Landmarks for Mobile Navigation. *LBS and TeleCartography*, 147–157.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human Mental Workload* (Bd. 52, S. 139–183). North-Holland.
- Hassenzahl, M. (2004). The interplay of beauty, goodness, and usability in interactive products. *Human-computer interaction*, 19 (4), 319–349.
- Heidmann, F., Hermann, F. & Peissner, M. (2003). Interactive maps on mobile, location-based systems: Design solutions and usability testing. *Proceedings of the 10th International Conference on Human-Computer Interaction*, 1258–1262.
- Hermann, F., Bieber, G. & Duesterhoeft, A. (2003). Egocentric maps on mobile devices. In G. Bieber & T. Kirste (Hrsg.), *Proceedings of the 4th international workshop on mobile computing* (S. 32–37).
- Hile, H., Vedantham, R., Cuellar, G., Liu, A., Gelfand, N., Grzeszczuk, R. & Borriello, G. (2008). Landmark-based Pedestrian Navigation from Collections of Geotagged Photos. In *Proceedings of the 7th international conference on mobile and ubiquitous multimedia* (S. 145–152). New York, NY, USA: ACM.
- Hirtle, S. C. & Bahm, C. R. (2015). Cognition for the navigation of complex Indoor environments. In H. A. Karimi (Hrsg.), *Indoor Wayfinding and Navigation* (S. 1–12). Boca Raton: CRC Press.
- Hirtle, S. C. & Jonides, J. (1985). Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory & Cognition*, 13 (3), 208–217.

- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Hölscher, C., Büchner, S. J., Brösamle, M., Meilinger, T. & Strube, G. (2007). Signs and maps – Cognitive economy in the use of external aids for indoor navigation. In *Proceedings of the cognitive science society* (Bd. 29, S. 377–382). NY, USA: Curran.
- Huang, H. & Gartner, G. (2010). A Survey of Mobile Indoor Navigation Systems. In G. Gartner & F. Ortig (Hrsg.), *Cartography in Central and Eastern Europe: CEE 2009* (S. 305–319). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hund, A. M. & Nazarczuk, S. N. (2009). The effects of sense of direction and training experience on wayfinding efficiency. *Journal of Environmental Psychology*, 29 (1), 151–159.
- Hund, A. M. & Padgitt, A. J. (2010). Direction giving and following in the service of wayfinding in a complex indoor environment. *Journal of Environmental Psychology*, 30 (4), 553–564.
- Ishikawa, T., Fujiwara, H., Imai, O. & Okabe, A. (2008). Wayfinding with a GPS-based mobile navigation system: A comparison with maps and direct experience. *Journal of Environmental Psychology*, 28 (1), 74–82.
- Ishikawa, T. & Nakamura, U. (2012). Landmark Selection in the Environment: Relationships with Object Characteristics and Sense of Direction. *Spatial Cognition & Computation*, 12 (1), 1–22.
- Ivanov, R. (2010). Indoor Navigation System for Visually Impaired. In *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing on International Conference on Computer Systems and Technologies* (S. 143–149). New York, NY, USA: ACM.
- Jacob, R., Mooney, P. & Winstanley, A. C. (2011). Guided by Touch: Tactile Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Mobile Location-based Service* (S. 11–20). New York, NY, USA: ACM.
- Janzen, G. (2000). *Organisation räumlichen Wissens: Untersuchungen zur Orts-und Richtungsrepräsentation*. Wiesbaden: Springer.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive psychology*, 8 (4), 441–480.
- Kargl, F., Geßler, S. & Flerlage, F. (2007). The iNAV Indoor Navigation System. In H. Ichikawa, W.-D. Cho, I. Satoh & H. Y. Youn (Hrsg.), *Proceedings of the 4th international symposium on ubiquitous computing systems* (S. 110–117). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Karimi, H. A. (2011). *Universal Navigation on Smartphones*. Boston, MA: Springer.
- Karimi, H. A. & Ghafourian, M. (2010). Indoor Routing for Individuals with Special Needs and Preferences. *Transactions in GIS*, 14 (3), 299–329.
- Kato, Y. & Takeuchi, Y. (2003). Individual differences in wayfinding strategies. *Journal of Environmental Psychology*, 23 (2), 171–188.
- Kattenbeck, M. (2015). Empirically Measuring Saliency of Objects for Use in Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems* (S. 3:1–3:10). New York, NY, USA: ACM.
- Kattenbeck, M. (2016). *Empirically Measuring Saliency of Objects for Use in Pedestrian Navigation*. Dissertation, Universität Regensburg.

- Kiefer, P., Giannopoulos, I., Athanasios Anagnostopoulos, V., Schöning, J. & Raubal, M. (2016). Controllability matters: The user experience of adaptive maps. *GeoInformatica*, 1–23.
- Kiefer, P., Giannopoulos, I., Kremer, D., Schlieder, C. & Raubal, M. (2014). Starting to Get Bored: An Outdoor Eye Tracking Study of Tourists Exploring a City Panorama. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications* (S. 315–318). New York, NY, USA: ACM.
- Kiefer, P., Giannopoulos, I. & Raubal, M. (2013). Using Eye Movements to Recognize Activities on Cartographic Maps. In *Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems* (S. 488–491). New York, NY, USA: ACM.
- Kiefer, P., Giannopoulos, I. & Raubal, M. (2014). Where Am I? Investigating Map Matching During Self-Localization With Mobile Eye Tracking in an Urban Environment. *Transactions in GIS*, 18 (5), 660–686.
- Kitchin, R. & Blades, M. (2002). *The cognition of geographic space*. London New York: I.B.Tauris.
- Klippel, A., Hansen, S., Richter, K.-F. & Winter, S. (2008). Urban granularities – A data structure for cognitively ergonomic route directions. *GeoInformatica*, 13 (2), 223–247.
- Klippel, A., Richter, K.-F. & Hansen, S. (2006). Wayfinding Choreme Maps. In S. Bres & R. Laurini (Hrsg.), *Proceedings of the 8th international conference on visual information and information systems* (S. 94–108). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Klippel, A., Wallgrün, J. O., Yang, J. & Sparks, K. (2015). Intuitive Direction Concepts. *Baltic International Yearbook of Cognition, Logic and Communication*, 10 (1), 1–30.
- Klippel, A. & Winter, S. (2005). Structural Saliency of Landmarks for Route Directions. In A. G. Cohn & D. M. Mark (Hrsg.), *Spatial information theory* (S. 347–362). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kluge, M. & Asche, H. (2012). Validating a Smartphone-Based Pedestrian Navigation System Prototype. In B. Murgante et al. (Hrsg.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2012* (S. 386–396). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kolbe, T. H. (2004). Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation. In G. Gartner (Hrsg.), *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services & TeleCartography* (S. 45–52). TU Wien.
- Kray, C., Elting, C., Laakso, K. & Coors, V. (2003). Presenting Route Instructions on Mobile Devices. In *Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent User Interfaces* (S. 117–124). New York, NY, USA: ACM.
- Kray, C., Kortuem, G. & Krüger, A. (2005). Adaptive Navigation Support with Public Displays. In *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent User Interfaces* (S. 326–328). New York, NY, USA: ACM.
- Krisp, J. M. (2016). Landmarks for Location-Based Services (LBS) in Particular Navigation and Wayfinding. *KI - Künstliche Intelligenz*, 31 (2), 199–201.
- Krisp, J. M., Jahnke, M., Lyu, H. & Fackler, F. (2015). Visualization and Communication of Indoor Routing Information. In G. Gartner & H. Huang (Hrsg.), *Progress in Location-Based Services* (S. 33–44). Cham: Springer.
- Krüger, A., Baus, J. & Butz, A. (2000). Smart Graphics in Adaptive Way Descriptions. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (S. 92–97). New

- York, NY, USA: ACM.
- Krüger, A., Butz, A., Müller, C., Stahl, C., Wasinger, R., Steinberg, K.-E. & Dirschl, A. (2004). The Connected User Interface: Realizing a Personal Situated Navigation Service. In *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interfaces* (S. 161–168). New York, NY, USA: ACM.
- Leonhart, R. (2009). *Lehrbuch Statistik*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Levine, M., Marchon, I. & Hanley, G. (1984). The Placement and Misplacement of You-Are-Here Maps. *Environment and Behavior*, 16 (2), 139–157.
- Li, C. (2006). User preferences, information transactions and location-based services: A study of urban pedestrian wayfinding. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30 (6), 726–740.
- Li, H. & Giudice, N. A. (2013). The Effects of 2D and 3D Maps on Learning Virtual Multi-level Indoor Environments. In *Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on MapInteraction* (S. 7–12). New York, NY, USA: ACM.
- Liao, H., Dong, W., Peng, C. & Liu, H. (2017). Exploring differences of visual attention in pedestrian navigation when using 2D maps and 3D geo-browsers. *Cartography and Geographic Information Science*, 44 (6), 474–490.
- Lin, M.-W., Cheng, Y.-M. & Yu, W. (2008). Using Tactons to Provide Navigation Cues in Pedestrian Situations. In *Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction* (S. 507–510). New York, NY, USA: ACM.
- Löchtefeld, M., Gehring, S., Schöning, J. & Krüger, A. (2010). PINwI: Pedestrian Indoor Navigation Without Infrastructure. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction* (S. 731–734). New York, NY, USA: ACM.
- Lorenz, A., Thierbach, C., Baur, N. & Kolbe, T. H. (2013a). App-Free Zone: Paper Maps as Alternative to Electronic Indoor Navigation Aids and Their Empirical Evaluation with Large User Bases. In J. M. Krisp (Hrsg.), *Progress in Location-Based Services* (S. 319–338). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lorenz, A., Thierbach, C., Baur, N. & Kolbe, T. H. (2013b). Map design aspects, route complexity, or social background? Factors influencing user satisfaction with indoor navigation maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 40 (3), 201–209.
- Lovelace, K. L., Hegarty, M. & Montello, D. R. (1999). Elements of Good Route Directions in Familiar and Unfamiliar Environments. In C. Freksa & D. M. Mark (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory. Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science* (S. 65–82). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ludwig, B., Müller, M. & Ohm, C. (2014). Empirical Evidence for Context-aware Interfaces to Pedestrian Navigation Systems. *KI - Künstliche Intelligenz*, 28 (4), 271–281.
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge, MA, USA: MIT press.
- Makita, K., Vincent, T., Ebisuno, S., Kourogi, M., Ishikawa, T., Okuma, T., ... Kurata, T. (2016). Mixed Reality Navigation on a Tablet Computer for Supporting Machine Maintenance in Wide-Area Indoor Environment. In T. Maeno, Y. Sawatani & T. Hara (Hrsg.), *Serviceology for Designing the Future: Selected and Edited Papers of the 2nd International Conference on Serviceology* (S. 109–124). Tokyo: Springer.
- Malaka, R. & Zipf, A. (2000). DEEP MAP: Challenging IT Research In The Framework Of A Tourist Information System. In D. R. Fesenmaier, S. Klein & D. Buhalis (Hrsg.),

- Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies in Tourism* (S. 15–27). Vienna: Springer.
- Mark, D. M., Freksa, C., Hirtle, S. C., Lloyd, R. & Tversky, B. (1999). Cognitive models of geographical space. *International Journal of Geographical Information Science*, 13 (8), 747–774.
- Mast, V., Jian, C. & Zhekova, D. (2012). Elaborate Descriptive Information in Indoor Route Instructions. *Proceedings of the 34th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 34, 1972–1977.
- May, A. J., Ross, T. & Bayer, S. H. (2005). Incorporating landmarks in driver navigation system design: An overview of results from the REGIONAL project. *The Journal of Navigation*, 58 (1), 47.
- May, A. J., Ross, T., Bayer, S. H. & Tarkiainen, M. J. (2003). Pedestrian navigation aids: Information requirements and design implications. *Personal and Ubiquitous Computing*, 7 (6), 331–338.
- Meilinger, T., Hölscher, C., Büchner, S. J. & Brösamle, M. (2007). How Much Information Do You Need? Schematic Maps in Wayfinding and Self Localisation. In T. Barkowsky, M. Knauff, G. Ligozat & D. R. Montello (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Cognition* (S. 381–400). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Michon, P.-E. & Denis, M. (2001). When and Why Are Visual Landmarks Used in Giving Directions? In D. R. Montello (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science* (S. 292–305). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Miller, J. & Carlson, L. (2011). Selecting landmarks in novel environments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18 (1), 184–191.
- Millonig, A. & Schechtner, K. (2007). Developing Landmark-Based Pedestrian-Navigation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8 (1), 43–49.
- Möller, A., Diewald, S., Roalter, L., Stockinger, T., Huitl, R., Hilsenbeck, S. & Kranz, M. (2013). Navigating Indoors Using Decision Points. In R. Moreno-Díaz, F. Pichler & A. Quesada-Arencibia (Hrsg.), *Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Systems Theory* (S. 450–457). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Möller, A., Kranz, M., Diewald, S., Roalter, L., Huitl, R., Stockinger, T., ... Lindemann, P. A. (2014). Experimental Evaluation of User Interfaces for Visual Indoor Navigation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 3607–3616). New York, NY, USA: ACM.
- Montello, D. R. (2005). Navigation. In A. Miyake & P. Shah (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (S. 257–294). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Montello, D. R. (2017). Landmarks are Exaggerated. *KI - Künstliche Intelligenz*, 31 (2), 193–197.
- Montello, D. R. & Raubal, M. (2013). Functions and applications of spatial cognition. In D. Waller & L. Nadel (Hrsg.), *The APA handbook of spatial cognition* (S. 249–264). APA: Washington DC.
- Montello, D. R. & Sas, C. (2006). Human factors of wayfinding in navigation. In W. Karwowski (Hrsg.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (S. 2003–2008). London, England: CRC Press/Taylor & Francis.
- Müller, H. J., Schöning, J. & Krüger, A. (2006). Mobile Map Interaction– Evaluation in an

- indoor scenario. In *Proceedings of the GI Jahrestagung* (Bd. 2, S. 403–410).
- Müller, J., Jentsch, M., Kray, C. & Krüger, A. (2008). Exploring Factors That Influence the Combined Use of Mobile Devices and Public Displays for Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction* (S. 308–317). New York, NY, USA: ACM.
- Müller, M., Ohm, C. & Ludwig, B. (2014). Path network modeling of public buildings. In *International workshop on interfacing indoor and outdoor spaces at GIScience*.
- Müller, M., Ohm, C., Schwappach, F. & Ludwig, B. (2017). The path of least resistance. *KI - Künstliche Intelligenz*, 31 (2), 125–134.
- Mulloni, A., Seichter, H. & Schmalstieg, D. (2011a). Handheld Augmented Reality Indoor Navigation with Activity-based Instructions. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 211–220). New York, NY, USA: ACM.
- Mulloni, A., Seichter, H. & Schmalstieg, D. (2011b). User experiences with augmented reality aided navigation on phones. In *10th ieee international symposium on mixed and augmented reality* (S. 229–230). IEEE.
- Münzer, S. & Hölscher, C. (2011). Development and validation of a self-report measure of environmental spatial strategies. *Diagnostica*, 57 (3), 111–125.
- Münzer, S. & Stahl, C. (2011). Learning Routes from Visualizations for Indoor Wayfinding: Presentation Modes and Individual Differences. *Spatial Cognition & Computation*, 11 (4), 281–312.
- Münzer, S., Zimmer, H. D., Schwalm, M., Baus, J. & Aslan, I. (2006). Computer-assisted navigation and the acquisition of route and survey knowledge. *Journal of Environmental Psychology*, 26 (4), 300–308.
- Nikander, J., Järvi, J., Usman, M. & VIRRANTAU, K. (2013). Indoor and Outdoor Mobile Navigation by Using a Combination of Floor Plans and Street Maps. In J. M. KRISP (Hrsg.), *Progress in Location-Based Services* (S. 233–249). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Nivala, A.-M. & Sarjakoski, T. L. (2007). User Aspects of Adaptive Visualization for Mobile Maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 34 (4), 275–284.
- Nossum, A. S. (2011). IndoorTubes A Novel Design for Indoor Maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 38 (2), 192–200.
- Nothegger, C., Winter, S. & Raubal, M. (2004). Selection of Salient Features for Route Directions. *Spatial Cognition and Computation*, 4 (2), 113–136.
- Nuhn, E. & Timpf, S. (2018). An Overall Framework for Personalised Landmark Selection. In P. KIEFER, H. HUANG, N. VAN DE WEGHE & M. RAUBAL (Hrsg.), *Progress in Location Based Services* (S. 231–253). Cham: Springer.
- Nurmi, P., Salovaara, A., Bhattacharya, S., Pulkkinen, T. & Kahl, G. (2011). Influence of Landmark-based Navigation Instructions on User Attention in Indoor Smart Spaces. In *Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent User Interfaces* (S. 33–42). New York, NY, USA: ACM.
- Ohm, C., Bienk, S., Kattenbeck, M., Ludwig, B. & Müller, M. (2016). Towards interfaces of mobile pedestrian navigation systems adapted to the user's orientation skills. *Pervasive and Mobile Computing*, 26, 121–134.
- Ohm, C., Ludwig, B. & Gerstmeier, S. (2015). Photographs or Mobile Maps? – Displaying Landmarks in Pedestrian Navigation Systems. *Proceedings of the 14th International*

- Symposium on Information Science*, 302–312.
- Ohm, C., Müller, M. & Ludwig, B. (2015). Displaying landmarks and the user's surroundings in indoor pedestrian navigation systems. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 7 (5), 635–657.
- Ohm, C., Müller, M. & Ludwig, B. (2017). Evaluating indoor pedestrian navigation interfaces using mobile eye tracking. *Spatial Cognition & Computation*, 17 (1-2), 89–120.
- Ohm, C., Müller, M., Ludwig, B. & Bienk, S. (2014). Where is the landmark? Eye tracking studies in large-scale indoor environments. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Eye Tracking for Spatial Research co-located with the 8th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2014)*.
- O'Neill, M. J. (1992). Effects of familiarity and plan complexity on wayfinding in simulated buildings. *Journal of Environmental Psychology*, 12 (4), 319–327.
- Ooms, K., Maeyer, P. D. & Fack, V. (2014). Study of the attentive behavior of novice and expert map users using eye tracking. *Cartography and Geographic Information Science*, 41 (1), 37–54.
- OpenStreetMap Foundation. (2018). *OpenStreetMap*. Zugriff auf <https://www.openstreetmap.de/>
- Padgitt, A. J. & Hund, A. M. (2012). How good are these directions? Determining direction quality and wayfinding efficiency. *Journal of Environmental Psychology*, 32 (2), 164–172.
- Partala, T. & Salminen, M. (2012). User Experience of Photorealistic Urban Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (S. 204–207). New York, NY, USA: ACM.
- Passini, R. (1996). Wayfinding design: Logic, application and some thoughts on universality. *Design Studies*, 17 (3), 319 - 331.
- Pielot, M. & Boll, S. (2010). Tactile Wayfinder: Comparison of Tactile Waypoint Navigation with Commercial Pedestrian Navigation Systems. In P. Floréen, A. Krüger & M. Spasojevic (Hrsg.), *Pervasive computing* (S. 76–93). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pielot, M., Henze, N. & Boll, S. (2009). Supporting Map-based Wayfinding with Tactile Cues. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 23:1–23:10). New York, NY, USA: ACM.
- Pielot, M., Poppinga, B., Heuten, W. & Boll, S. (2011). 6th Senses for Everyone!: The Value of Multimodal Feedback in Handheld Navigation Aids. In *Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces* (S. 65–72). New York, NY, USA: ACM.
- Pielot, M., Poppinga, B., Heuten, W. & Boll, S. (2012). PocketNavigator: Studying Tactile Navigation Systems In-situ. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 3131–3140). New York, NY, USA: ACM.
- Pinelo da Silva, J. D. (2011). *Spatial congruence theory: Visual cognition and wayfinding in the urban environment*. Dissertation, University College London.
- Pospischil, G., Umlauft, M. & Michlmayr, E. (2002). Designing LoL@, a Mobile Tourist Guide for UMTS. In F. Paternò (Hrsg.), *Proceedings of the 4th International Symposium on Human Computer Interaction with Mobile Devices* (S. 140–154). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Presson, C. C. & Montello, D. R. (1988). Points of reference in spatial cognition: Stalking

- the elusive landmark. *British Journal of Developmental Psychology*, 6 (4), 378–381.
- Prestopnik, J. L. & Roskos-Ewoldsen, B. (2000). The relations among wayfinding strategy use, sense of direction, sex, familiarity, and wayfinding ability. *Journal of Environmental Psychology*, 20 (2), 177 - 191.
- Puikkonen, A., Sarjanoja, A.-H., Haveri, M., Huhtala, J. & Häkkinen, J. (2009). Towards Designing Better Maps for Indoor Navigation: Experiences from a Case Study. In *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (S. 16:1–16:4). New York, NY, USA: ACM.
- Radoczky, V. (2007). How to design a pedestrian navigation system for indoor and outdoor environments. In G. Gartner, W. Cartwright & M. P. Peterson (Hrsg.), *Location Based Services and TeleCartography* (S. 301–316). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ramirez, L., Deneff, S. & Dyrks, T. (2009). Towards Human-centered Support for Indoor Navigation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1279–1282). New York, NY, USA: ACM.
- Raper, J., Gartner, G., Karimi, H. & Rizos, C. (2007). A critical evaluation of location based services and their potential. *Journal of Location Based Services*, 1 (1), 5–45.
- Raubal, M. (2000). Human wayfinding in unfamiliar buildings: A simulation with cognizing agents. *Cognitive Processing*, 2 (3), 363–388.
- Raubal, M. & Egenhofer, M. J. (1998). Comparing the Complexity of Wayfinding Tasks in Built Environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25 (6), 895–913.
- Raubal, M. & Winter, S. (2002). Enriching Wayfinding Instructions with Local Landmarks. In M. J. Egenhofer & D. M. Mark (Hrsg.), *Geographic Information Science* (S. 243–259). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Redish, A. D. (1999). *Beyond the cognitive map: From place cells to episodic memory*. Cambridge, London: MIT Press.
- Rehman, U. & Cao, S. (2015). Augmented Reality-Based Indoor Navigation Using Google Glass as a Wearable Head-Mounted Display. In *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (S. 1452–1457).
- Rehrl, K. (2011). *Kognitiv-ergonomische Sprachanweisungen als elektronische Navigationsunterstützung für Fußgängerinnen und Fußgänger*. Dissertation, Technischen Universität Wien.
- Rehrl, K., Bruntsch, S. & Mentz, H. J. (2007). Assisting Multimodal Travelers: Design and Prototypical Implementation of a Personal Travel Companion. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8 (1), 31–42.
- Rehrl, K., Göll, N., Leitinger, S. & Bruntsch, S. (2005). Combined indoor/outdoor Smartphone navigation for public transport travellers. In G. Gartner (Hrsg.), *Proceedings of the 3rd Symposium on Location Based Services & Telecartography* (S. 235–242).
- Rehrl, K., Göll, N., Leitinger, S., Bruntsch, S. & Mentz, H.-J. (2007). Smartphone-based information and navigation aids for public transport travellers. In G. Gartner, W. Cartwright & M. P. Peterson (Hrsg.), *Location Based Services and TeleCartography* (S. 525–544). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rehrl, K., Häusler, E., Steinmann, R., Leitinger, S., Bell, D. & Weber, M. (2012). Pedestrian Navigation with Augmented Reality, Voice and Digital Map: Results from a Field Study assessing Performance and User Experience. In G. Gartner & F. Ortig

- (Hrsg.), *Proceedings of the 8th International Symposium on Location-Based Services* (S. 3–20). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Richter, K.-F. (2017). Identifying Landmark Candidates Beyond Toy Examples. *KI - Künstliche Intelligenz*, 31 (2), 135–139.
- Röser, F., Krumnack, A., Hamburger, K. & Knauff, M. (2012). A four factor model of landmark salience – A new approach. In N. Rußwinkel, U. Drewitz & H. van Rijn (Hrsg.), *Proceedings of the 11th International Conference on Cognitive Modeling* (S. 82–87). Berlin: Universitätsverlag TU Berlin.
- Ross, T., May, A. & Thompson, S. (2004). The Use of Landmarks in Pedestrian Navigation Instructions and the Effects of Context. In S. Brewster & M. Dunlop (Hrsg.), *Proceedings of the 6th International Symposium on Mobile Human-Computer Interaction* (S. 300–304). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rukzio, E., Müller, M. & Hardy, R. (2009). Design, Implementation and Evaluation of a Novel Public Display for Pedestrian Navigation: The Rotating Compass. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 113–122). New York, NY, USA: ACM.
- Rümelin, S., Rukzio, E. & Hardy, R. (2011). NaviRadar: A Novel Tactile Information Display for Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (S. 293–302). New York, NY, USA: ACM.
- Salvucci, D. D. & Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye-tracking Protocols. In *Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (S. 71–78). New York, NY, USA: ACM.
- Sas, C., O’Grady, M. & O’Hare, G. (2003). Electronic Navigation – Some Design Issues. In L. Chittaro (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Symposium on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 471–475). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Saucier, D. M., Green, S. M., Leason, J., MacFadden, A., Bell, S. & Elias, L. J. (2002). Are sex differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in the ability to use the strategies? *Behavioral Neuroscience*, 116 (3), 403–410.
- Schaller, R. & Hacker, M. (2014). Mobile Tourist Guide: Bridging the Gap Between Recommending, Planning and User-centered Interaction. In *Proceedings of the Twenty-first European Conference on Artificial Intelligence* (S. 1231–1232). Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.
- Schilling, A., Coors, V. & Laakso, K. (2005). Dynamic 3D Maps for Mobile Tourism Applications. In L. Meng, T. Reichenbacher & A. Zipf (Hrsg.), *Map-based Mobile Services: Theories, Methods and Implementations* (S. 227–239). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schmalstieg, D. & Reitmayr, G. (2007). Augmented Reality as a Medium for Cartography. In W. Cartwright, M. P. Peterson & G. Gartner (Hrsg.), *Multimedia Cartography* (S. 267–281). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schnitzler, V., Giannopoulos, I., Hölscher, C. & Barisic, I. (2016). The Interplay of Pedestrian Navigation, Wayfinding Devices, and Environmental Features in Indoor Settings. In *Proceedings of the 9th Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (S. 85–93). New York, NY, USA: ACM.
- Schöning, J., Krüger, A., Cheverst, K., Rohs, M., Löchtfeld, M. & Taher, F. (2009). PhotoMap: Using Spontaneously Taken Images of Public Maps for Pedestrian Navigation Tasks on Mobile Devices. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-*

- Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 14:1–14:10). New York, NY, USA: ACM.
- Schroder, C. J., Mackaness, W. A. & Gittings, B. M. (2011). Giving the 'Right' Route Directions: The Requirements for Pedestrian Navigation Systems. *Transactions in GIS*, 15 (3), 419–438.
- Schuchard, R., Connell, B. & Griffiths, P. (2006). An Environmental Investigation of Wayfinding in a Nursing Home. In *Proceedings of the 2006 Symposium on Eye Tracking Research & Applications* (S. 33–33). New York, NY, USA: ACM.
- Seager, W. & Fraser, D. S. (2007). Comparing Physical, Automatic and Manual Map Rotation for Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 767–776). New York, NY, USA: ACM.
- Sefelin, R., Bechinie, M., Müller, R., Seibert-Giller, V., Messner, P. & Tscheligi, M. (2005). Landmarks: Yes; but Which?: Five Methods to Select Optimal Landmarks for a Landmark- and Speech-based Guiding System. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services* (S. 287–290). New York, NY, USA: ACM.
- Selvi, H. Z., Bildirici, İ., Gartner, G. & Ortay, F. (2011). An Orientation System Design for Pedestrians: A Case Study at Selcuk University. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Location-Based Services*.
- Selvi, H. Z., Bildirici, I. O. & Ulugtekin, N. (2016). Landmark Orientation and Map Design for Pedestrians: Prototype of a Selcuk University Campus Area Pedestrian Navigation System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44 (4), 1–7.
- Seo, D., Kim, D., Yoo, B. & Ko, H. (2016). Adaptive Landmark-Based Pedestrian Navigation System with Hand-Held and Wearable Devices. In C. Stephanidis (Hrsg.), *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction* (S. 379–384). Cham: Springer.
- Siegel, A. W. & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. *Advances in child development and behavior*, 10, 9–55.
- Smets, N. J. J. M., te Brake, G. M., Neerincx, M. A. & Lindenberg, J. (2008). Effects of Mobile Map Orientation and Tactile Feedback on Navigation Speed and Situation Awareness. In *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 73–80). New York, NY, USA: ACM.
- SMI. (2014). *Be gaze manual* [Software-Handbuch].
- Sorrows, M. E. & Hirtle, S. C. (1999). The Nature of Landmarks for Real and Electronic Spaces. In C. Freksa & D. M. Mark (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory. Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science* (S. 37–50). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Spiers, H. J. & Maguire, E. A. (2008). The dynamic nature of cognition during wayfinding. *Journal of Environmental Psychology*, 28 (3), 232–249.
- Srikulwong, M. & O'Neill, E. (2011). A Comparative Study of Tactile Representation Techniques for Landmarks on a Wearable Device. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 2029–2038). New York, NY, USA: ACM.
- Stark, A., Riebeck, M. & Kawalek, J. (2007). How to design an advanced pedestrian navigation system: Field trial results. In *4th IEEE workshop on intelligent data acquisition and advanced computing systems: Technology and applications* (S. 690–694).

- Suomela, R., Roimela, K. & Lehtikainen, J. (2003). The evolution of perspective view in WalkMap. *Personal and Ubiquitous Computing*, 7 (5), 249–262.
- Swienty, O., Reichenbacher, T., Reppermund, S. & Zühl, J. (2008). The Role of Relevance and Cognition in Attention-guiding Geovisualisation. *The Cartographic Journal*, 45 (3), 227–238.
- Taher, F. & Cheverst, K. (2011). Exploring User Preferences for Indoor Navigation Support Through a Combination of Mobile and Fixed Displays. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 201–210). New York, NY, USA: ACM.
- Taher, F., Cheverst, K., Harding, M. & Fitton, D. (2009). Formative Studies for Dynamic Wayfinding Support with In-building Situated Displays and Mobile Devices. In *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (S. 5:1–5:10). New York, NY, USA: ACM.
- Tenbrink, T., Bergmann, E. & Konieczny, L. (2011). Wayfinding and description strategies in an unfamiliar complex building. *Proceedings of the Cognitive Science Society*, 33 (33), 1262–1267.
- Tom, A. & Denis, M. (2003). Referring to Landmark or Street Information in Route Directions: What Difference Does It Make? In W. Kuhn, M. F. Worboys & S. Timpf (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory. Foundations of Geographic Information Science* (S. 362–374). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Tsetsos, V., Anagnostopoulos, C., Kikiras, P. & Hadjiefthymiades, S. (2006). Semantically enriched navigation for indoor environments. *International Journal of Web and Grid Services*, 2 (4), 453–478.
- Tversky, B., Agrawala, M., Heiser, J., Lee, P., Hanrahan, P., Phan, D., ... Daniel, M.-P. (2007). Cognitive design principles for automated generation of visualizations. In G. Allen (Hrsg.), *Applied spatial cognition: From research to cognitive technology* (S. 53–73). Mahwah, London: Erlbaum.
- Tversky, B. & Lee, P. U. (1999). Pictorial and Verbal Tools for Conveying Routes. In C. Freksa & D. M. Mark (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory. Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science* (S. 51–64). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Universität Regensburg. (2018). *Rauminformation der Universität Regensburg*. Zugriff auf <http://www-app.uni-regensburg.de/Einrichtungen/TZ/famos/hoersaele/index.php?raumid=BY.R.C.2200.2200.1.03>
- Universität Regensburg. (2017). *Orientierungsplan*. Zugriff auf <http://www.uni-regensburg.de/impressum/medien/orientierungsplan.pdf>
- van Elzakker, C. P. J. M., Delikostidis, I. & van Oosterom, P. J. M. (2008). Field-Based Usability Evaluation Methodology for Mobile Geo-Applications. *The Cartographic Journal*, 45 (2), 139–149.
- Viaene, P., Ooms, K., Vansteenkiste, P., Lenoir, M. & De Maeyer, P. (2014). The Use of Eye Tracking in Search of Indoor Landmarks. *2nd International Workshop on Eye Tracking for Spatial Research*, 52–56.
- Viaene, P., Vanclooster, A., Ooms, K. & Maeyer, P. D. (2014). Thinking aloud in search of landmark characteristics in an indoor environment. In *Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS)* (S. 103–110).

- Viaene, P., Vansteenkiste, P., Lenoir, M., Wulf, A. D. & Maeyer, P. D. (2016). Examining the validity of the total dwell time of eye fixations to identify landmarks in a building. *Journal of Eye Movement Research*, 9 (3), 1–11.
- Walther-Franks, B. & Malaka, R. (2008). Evaluation of an Augmented Photograph-Based Pedestrian Navigation System. In A. Butz, B. Fisher, A. Krüger, P. Olivier & M. Christie (Hrsg.), *Proceedings of the 9th International Symposium on Smart Graphics* (S. 94–105). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wang, E. & Yan, W. (2014). iNavigation: An image based indoor navigation system. *Multimedia Tools and Applications*, 73 (3), 1597–1615.
- Wang, T., Tjondronegoro, D., Docherty, M., Song, W. & Fuglsang, J. (2013). A Recommendation for Designing Mobile Pedestrian Navigation System in University Campuses. In *Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference* (S. 3–12). New York, NY, USA: ACM.
- Wasinger, R., Stahl, C. & Krüger, A. (2003). M3I in a Pedestrian Navigation & Exploration System. In L. Chittaro (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Symposium on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 481–485). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Weisman, J. (1981). Evaluating Architectural Legibility. *Environment and Behavior*, 13 (2), 189–204.
- Wen, J., Helton, W. S. & Billinghamurst, M. (2013). A Study of User Perception, Interface Performance, and Actual Usage of Mobile Pedestrian Navigation Aides. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57 (1), 1958–1962.
- Wenczel, F., Hepperle, L. & von Stülpnagel, R. (2017). Gaze behavior during incidental and intentional navigation in an outdoor environment. *Spatial Cognition & Computation*, 17 (1-2), 121–142.
- Wenig, D., Schöning, J., Hecht, B. & Malaka, R. (2015). StripeMaps: Improving Map-based Pedestrian Navigation for Smartwatches. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 52–62). New York, NY, USA: ACM.
- Wenig, D., Steenbergen, A., Schöning, J., Hecht, B. & Malaka, R. (2016). ScrollingHome: Bringing Image-based Indoor Navigation to Smartwatches. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 400–406). New York, NY, USA: ACM.
- Wenig, N., Wenig, D., Ernst, S., Malaka, R., Hecht, B. & Schöning, J. (2017). Pharos: Improving Navigation Instructions on Smartwatches by Including Global Landmarks. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 7:1–7:13). New York, NY, USA: ACM.
- Werner, S., Krieg-Brückner, B., Mallot, H. A., Schweizer, K. & Freksa, C. (1997). Spatial Cognition: The Role of Landmark, Route, and Survey Knowledge in Human and Robot Navigation. In M. Jarke, K. Pasedach & K. Pohl (Hrsg.), *27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik* (S. 41–50). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wiener, J. M., Büchner, S. J. & Hölscher, C. (2009). Taxonomy of Human Wayfinding Tasks: A Knowledge-Based Approach. *Spatial Cognition & Computation*, 9 (2), 152–165.
- Wiener, J. M., Hölscher, C., Büchner, S. & Konieczny, L. (2012). Gaze behaviour during space perception and spatial decision making. *Psychological Research*, 76 (6), 713–729.

- Winter, S. (2003). Route Adaptive Selection of Salient Features. In W. Kuhn, M. F. Worboys & S. Timpf (Hrsg.), *Spatial Information Theory. Foundations of Geographic Information Science* (S. 349–361). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wither, J., Au, C. E., Rischpater, R. & Grzeszczuk, R. (2013). Moving Beyond the Map: Automated Landmark Based Pedestrian Guidance Using Street Level Panoramas. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 203–212). New York, NY, USA: ACM.
- Xu, Q., Li, L., Lim, J. H., Tan, C. Y. C., Mukawa, M. & Wang, G. (2014). A Wearable Virtual Guide for Context-aware Cognitive Indoor Navigation. In *Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices & Services* (S. 111–120). New York, NY, USA: ACM.
- Zipf, A. (2002). User-adaptive maps for Location-Based Services (LBS) for tourism. In K. Wöer, A. J. Frew & M. Hitz (Hrsg.), *Information and communication technologies in tourism* (S. 329-338). Wien, Austria: Springer.