

Universität Konstanz  
FB Informatik und Informationswissenschaft  
Master-Studiengang Information Engineering

**Masterarbeit**

**Auswirkung verschiedener Eingabegeräte auf das Erlernen  
räumlich-visueller Merkmale einer virtuellen  
Informationslandschaft**

*zur Erlangungen des akademischen Grades eines  
Master of Science (M.Sc.)*

vorgelegt von:

Name: Schubert Vorname: Sören  
Geboren am: 26.04.1980 in: Bremen  
Matrikelnummer: 01/630819

Erstgutachter: Prof. Dr. Harald Reiterer  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Ronald Hübner  
Betreuer: Hans-Christian Jetter

Einreichung: 25. Januar 2011

## Zusammenfassung

Untersuchungen im Bereich der Eingabegeräte haben in den vergangenen Jahren zunehmend das Interesse der universitären Forschung und der Industrie geweckt. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Kontext die Fragestellung, ob sich aufgrund der Verwendung neuartiger Interaktionstechnologien, ein Mehrwert für die Bedienung unterschiedlicher Software ergibt. Beim Touchscreen handelt es sich um einen populären Vertreter solcher innovativer Eingabegeräte. Im Rahmen der hier vorgestellten Masterarbeit wurde ein Experiment entworfen und durchgeführt, in dem Erkenntnisse über diejenigen Unterschiede gewonnen werden sollten, die sich aufgrund der Verwendung eines Touchscreens gegenüber der Interaktion mit Hilfe einer Computermaus ergeben.

Eine wichtige Rolle bei der Bedienung eines Computerprogrammes spielt oftmals das Auf- und Wiederfinden von Objekten, über die beispielsweise einzelne Funktionen aufgerufen werden können, sowie die explizite Erinnerung an die Positionen, an denen diese Objekte zu finden sind. Aufgrund dieser Tatsache wurde in dem Experiment zunächst die Navigation betrachtet, die Versuchspersonen im Rahmen einer Suchaufgabe vollbrachten, bei der das Erlernen einer räumlichen Anordnung von Objekten innerhalb einer virtuellen Informationslandschaft im Vordergrund stand. Zusätzlich wurde in einer weiteren Aufgabe erfasst, wie genau die Erinnerungen der Probanden im Hinblick auf die Orte der Objekte der innerhalb der Suchaufgabe explorierten Objektanordnung waren. In dem hier vorgestellten Testsetting konnte festgestellt werden, dass die Leistungen von Versuchspersonen, die sie bezüglich des Auf- und Wiederfindens von Objekten, wie auch in Hinblick auf die Erinnerung an die Positionen von Objekten erbrachten, größer waren, wenn die Probanden für die Bedienung ein Touchscreen verwendeten, als wenn die Interaktion mit dem Interface unter Zuhilfenahme einer Computermaus stattfand. Diese Unterschiede waren jedoch nur dann signifikant, wenn zur Exploration der Objektanordnung lediglich ein Verschieben des auf dem Bildschirm angezeigten Ausschnittes erlaubt wurde. Wurde zusätzlich ein Skalieren des Bildschirminhaltes zugelassen, ergaben sich keine bedeutsamen Unterschiede.

Um ein weitgehendes Verständnis für den vorgestellten Versuch und die ermittelten Ergebnisse zu ermöglichen, ist in der vorliegenden Arbeit unter Anderem eine detaillierte Beschreibung des Experiments zu finden. Hierbei wird insbesondere auch auf die Überlegungen eingegangen, die während der Planung der Studie unternommen wurden und sich schließlich im verwendeten Versuchsdesign widerspiegeln. Einen weiteren Teil der Masterarbeit stellt eine Betrachtung der theoretischen Grundlagen dar, die sowohl bei der Versuchsplanung eine wichtige Rolle einnahmen, als auch eine eingehende Interpretation der festgestellten Resultate ermöglichen.

## Abstract

In recent years research in the field of input devices has attracted increasing attention in the IT-industry as well as in university research. It seems that in this context the question whether the emergence of new input devices holds additional benefits for the interaction with different computerprograms is of particular importance. The touchscreen is a popular representative of such innovative input devices. In the scope of this thesis an experiment has been designed and conducted in which differences in the performances of touchscreen interaction and traditional mouse interaction were evaluated in order to gain new insights.

To find certain objects which provide access to the functionalities of different pieces of software and to find those objects again afterwards plays a significant role in the operation of computer programs. What is more, an explicit memory for the locations in which certain objects can be found is of importance. It was because of this fact that the navigation which test subjects carried out was observed and evaluated during a search task consisting of learning a spatial arrangement of objects. In an additional task the accuracy of explicit memory concerning the locations of the objects which had been investigated in the search task was captured. During the experiment it could be observed that under certain experimental conditions test subjects performed better when they used a touchscreen than when a mouse was used for the interaction. The performance was evaluated in terms of the initial finding and recovery of objects, as well as concerning the explicit memory for the objects' locations. The result that touchscreen interaction outperformed mouse interaction was significant if subjects were only allowed to issue panning commands in the interface during the search task. On the other hand, in an interface in which subjects could also issue zoom commands the results were not significant.

In order to provide a broad understanding for the described experiment and the reported results, one part of this thesis is concerned with a detailed description of the experiment as well as with the considerations which have been taken into account during the development of the experiment and eventually led to the final design. Another part of this master thesis provides a theoretical background which played an important role during the planning and on the basis of which a close examination and interpretation of the results can be conducted.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Untersuchungsgegenstand</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>8</b>
3.1	Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley & Hitch . . . . .	8
3.2	Implizites Wissen . . . . .	9
3.2.1	Recognition rather than recall . . . . .	11
3.2.2	Implizites Wissen bei der Navigation in einer Informations- landschaft . . . . .	12
3.3	Multiple Intelligenzen . . . . .	13
3.4	Propriozeption und Stereognosie . . . . .	14
3.5	Embodiment . . . . .	15
3.6	Reality-Based Interaction . . . . .	16
3.7	Virtuelle Informationslandschaften und ZUIs . . . . .	18
3.8	Navigation und Orientierung in der realen Welt . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Related Work</b>	<b>21</b>
4.1	Data Mountain . . . . .	21
4.2	Kinesthetic cues aid spatial memory . . . . .	21
4.3	Gesten . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Vorstellung der Hypothesen</b>	<b>22</b>
5.1	Unabhängige Variablen . . . . .	24
5.2	Abhängige Variablen . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Vorstellung der Aufgaben</b>	<b>25</b>
6.1	Problematik bei der Trennung von Trainings- und Testphase . .	25
6.2	Suchaufgabe . . . . .	26
6.2.1	Overlay zur Anzeige des zu suchenden Objektes . . . . .	28
6.2.2	Startpositionen . . . . .	29
6.2.3	Interaktion in der Suchaufgabe . . . . .	31
6.2.4	Reihenfolge der Suchobjekte . . . . .	33
6.2.5	Charakteristika der Suchvorgänge . . . . .	34
6.2.6	Datenerfassung . . . . .	35
6.2.7	Operationalisierung der Auf- und Wiederfindeleistung . .	36
6.3	Rekonstruktionsaufgabe . . . . .	39
6.3.1	Interaktion in der Rekonstruktionsaufgabe . . . . .	40
6.3.2	Datenerfassung . . . . .	41
6.3.3	Operationalisierung der Behaltensleistung . . . . .	41
6.4	Objektanordnungen . . . . .	42
6.4.1	Rahmenbedingungen . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Experiment</b>	<b>43</b>
7.1	Pretests . . . . .	44
7.2	Versuchsplan . . . . .	44
7.3	Versuchsablauf . . . . .	45
7.4	Aufgaben . . . . .	50
7.5	Materialien . . . . .	50

7.5.1	Fragebogen . . . . .	51
7.5.2	Versuchssoftware . . . . .	52
7.6	Teilnehmer . . . . .	52
7.7	Auswertung der Ergebnisse . . . . .	52
7.7.1	Auswertung der Auf- und Wiederfindeleistung . . . . .	53
7.7.2	Auswertung der Behaltensleistung . . . . .	55
7.8	Interpretation der Ergebnisse . . . . .	56
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>57</b>
8.1	Ausblick . . . . .	57
	<b>Literatur</b>	<b>59</b>
	<b>Anhang</b>	<b>61</b>

# 1 Einleitung und Motivation

Neuartige Eingabegeräte haben in den vergangenen Jahren damit begonnen die Computernutzung in nachhaltiger Weise zu verändern. Nicht zuletzt die kommerziellen Erfolge des Apple iPhone<sup>1</sup> und der Spielekonsole Wii<sup>2</sup> des Herstellers Nintendo, sowie das große Interesse, welches Microsoft mit der Veröffentlichung des Microsoft Surface<sup>3</sup> bei Endbenutzern, Wissenschaftlern und Unternehmen ausgelöst hat, sind hierfür eindeutige Belege. Sowohl dem iPhone, als auch der Wii wird der große Erfolg oftmals den Eingabetechniken zugeschrieben, die die Bedienung des jeweiligen Gerätes ermöglichen. Viele große Firmen unternehmen zunehmend Anstrengungen Alternativen zu der bislang dominierenden Kombination von Maus und Tastatur zur Bedienung von Computern zu finden. Thomas P. Moran und Shumin Zhai vertreten in dem Buch *Beyond the Desktop Metaphor* [Kap07] ihre Ansicht, dass Maus und Tastatur in der Zukunft nicht länger die dominante Form physikalischer Eingabegeräte darstellen können, weshalb die Forschung im Gebiet der Eingabegeräte gerade zum aktuellen Zeitpunkt eine wichtige Rolle einnimmt. Sollten wir uns in diesem Forschungsgebiet tatsächlich in einer Phase befinden, in der eine wissenschaftliche Revolution (im Sinne des 1962 erschienenen Werkes *The Structure of Scientific Revolutions* von Thomas S. Kuhn [Kuh96]) bevorsteht, so ist es von besonderem Interesse, zu untersuchen, in welcher Form ein solcher Paradigmenwechsel zu erwarten ist und welche Implikationen sich daraus für die Forschungsgemeinschaft und die Industrie ergeben. Kuhn beschreibt verschiedene Phasen einer wissenschaftlichen Revolution. In der Phase der außerordentlichen Wissenschaft ist die Forschungsgemeinde im Allgemeinen damit beschäftigt, in Alternativen zu den bis dato vorherrschenden Paradigmen zu entwerfen und im Hinblick auf ihren möglichen Beitrag zum Paradigmenwechsel zu evaluieren<sup>4</sup>. Im Bereich der Eingabegeräte hat sich diesbezüglich in den letzten Jahren insbesondere die Technik hervorgetan, mit der es möglich ist, die Bedienung einer Software über eine berührungsempfindliche Bildschirmoberfläche (einen sog. Touchscreen) vorzunehmen. Eine zentrale Fragestellung auf dem Weg zu einem Paradigmenwechsel ist daher, ob die Nutzung von Touchscreens dem Benutzer tatsächlich Vorteile gegenüber der bislang dominanten Form der Kommunikation mit dem Computer, der Maus, bietet. Ist dieses nicht der Fall, wäre es durchaus möglich, dass es sich bei der Eingabe über berührungsempfindliche Bildschirmoberflächen um eine Alternative handelt, die nur einen Zwischenschritt auf dem Weg zu einer wissenschaftlichen Revolution darstellt und in der Zukunft wieder verworfen werden könnte. Insbesondere die (oftmal als *Multitouch* bezeichnete) Eingabe unter Verwendung der Finger über berührungsempfindliche Bildschirme (Touchscreens), hat an Bedeutung gewonnen. Hierfür gibt es in der Forschung, aber auch der Industrie unmissverständliche Indikatoren. Ein solches Indiz für die besondere Rolle, die der Touchinteraktion in der letzten Zeit, aber insbesondere

---

<sup>1</sup><http://de.wikipedia.org/wiki/iPhone>

<sup>2</sup><http://de.wikipedia.org/wiki/Wii>

<sup>3</sup>[http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Surface](http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Surface)

<sup>4</sup>An dieser Stelle sei angemerkt, dass Kuhn in seinem Schaffen nicht mit Technologien, wie zum Beispiel Eingabegeräten, beschäftigt war, sondern sich vor Allem mit Wissenschaften im Allgemeinen befasste. Wie vom Autor jedoch an anderer Stelle beschrieben wurde, kann die Verwendung eines Technologiebegriffs, wie er von Giovanni Dosi [Dos93] definiert wurde, die Anwendung von Kuhns Erkenntnissen im Bereich von Produkten und Technologien, ermöglichen.

auch in den kommenden Jahren zukommt, ist die Tatsache, dass die Firma Microsoft in der aktuellen Version des Windows-Betriebssystemes (*Windows 7*) erstmals auch eine Unterstützung für Multitouchinteraktion vorsieht<sup>5</sup>. Ebenso wird die Annahme, dass momentan im Bereich der Eingabegeräte eine Art Aufbruchstimmung zu beobachten ist, welche ein erster Indikator für einen sich andeutenden Paradigmenwechsel sein könnte, unterstützt durch eine nüchterne Betrachtung der Auswirkungen, die die Veröffentlichungen von Produkten, welche eine Verwendung neuartiger Eingabetechniken vorsehen, auf die Aktienkurse der jeweiligen Unternehmen hatten. An dieser Stelle werden deshalb in den Abbildungen 1 und 2 beispielhaft die Aktienkurse der Unternehmen Apple Inc. und Nintendo präsentiert, in denen sich die Auswirkung des Verkaufsstarts des iPhones und respektive der Wii, erkennen lässt.



Abbildung 1: Aktienkurs der Firma Apple Inc. (Quelle: *Financial Times Deutschland*)



Abbildung 2: Aktienkurs der Firma Nintendo Co., Ltd. (Quelle: *Financial Times Deutschland*)

Nicht zuletzt in der Forschung im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion geht man davon aus, dass Computer zunehmend in immer mehr Bereiche unseres Lebens vordringen und eine allgegenwärtige Rolle spielen werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von *Ubiquitous Computing* (ubiquitous (engl.): allgegenwärtig). Diese steigende Allgegenwärtigkeit, welche mit einem zunehmend mobilen Charakter der Mensch-Maschine-Interaktion einhergeht, verlangt bereits inhärent eine Abkehr von Maus und Tastatur als dominierende Eingabegeräte, handelt es sich hierbei schließlich um vorwiegend stationär eingesetzte Technologien. Es ist naheliegend, anzunehmen, dass der Übergang in eine Ära des Ubiquitous Computing, zwangsläufig mit der Entwicklung neuartiger Ein- und Ausgabegeräte verbunden ist. Es ist davon auszugehen, dass mit der steigenden Anzahl von Einsatzgebieten für Computer, auch die Interaktionstechnologien in Zukunft ein breites Feld an verschiedenen technologischen Innovationen abdecken werden und eine Dominanz eines einzelnen Eingabegerätes, wie sie lange Zeit von der Computermaus ausgeübt wurde, nicht mehr den vielfältigen Anforderungen angemessen sein wird [Kap07].

In ähnlicher Weise ist die Berücksichtigung von Benutzerschnittstellen in den Fokus von Forschung und Industrie gerückt, welche Alternativen zur herkömmlichen Desktop-Metapher und dem WIMP-Paradigma (WIMP steht für **Windows, Icons, Menues, Pointer**) darstellen [Kap07]. Viele solcher neuartigen Interfaces basieren auf dem Konzept der Reality-Based Interaction [JGH<sup>+</sup>08]

<sup>5</sup><http://windows.microsoft.com/en-US/windows7/products/features/touch>

(kurz: RBI), welche in einem gesonderten Abschnitt (Abschnitt 3.6) vorgestellt wird.

Eine Untersuchung, die sich mit den Auswirkungen der Interaktion mit einer Computermaus und der Interaktion unter Zuhilfenahme eines Touchscreens, bezüglich des Erlernens von Objektanordnungen in virtuellen Umgebungen, befasst, könnte wichtige Erkenntnisse darüber erbringen, welche Rolle der Touchscreeninteraktion in der aktuellen Forschung und der Industrie beigemessen werden muss.

## 2 Untersuchungsgegenstand

An dieser Stelle soll das Experiment, welches im Rahmen der Masterarbeit durchgeführt wurde, grundlegend beschrieben und einige Begrifflichkeiten erklärt werden, um im Anschluss auf diese Bezug nehmen zu können. Eine genaue Erörterung des Versuchsdesigns wird in späteren Abschnitten vorgenommen. Grundsätzlich soll in dieser Arbeit die Frage beantwortet werden, ob und in welcher Form Zusammenhänge existieren, zwischen der visuell-räumlichen Navigations-, Orientierungs- und Behaltensleistung in einer virtuellen Umgebung und der zur ihrer Bedienung bereitgestellten Interaktionsmöglichkeiten. Diese hängen von den verwendeten Eingabegeräten ab, mit denen jeweils unterschiedliche Interaktionen verbunden sind. Untersucht werden soll insbesondere, ob Unterschiede festzustellen sind, wenn als mögliche Eingabegeräte eine herkömmliche Computermaus und ein Touchscreen variiert werden.

Die Erwartung des Autors ist die, dass Interaktionen, die bei Verwendung eines Touchscreens als Eingabegerät, Zugang zur Bedienung bieten, zu einer besseren visuell-räumlichen Orientierung, Navigation und Erinnerung in einem Interface führen, in dem eine räumliche Anordnung von Objekten exploriert werden kann, als wenn die Benutzung mit Hilfe traditioneller Mausinteraktion erfolgt. Um diese Annahme zu unterstützen wurden mehrere Versuchspersonen mit einer Software konfrontiert, in der eine räumliche Navigations- und Orientierungsleistung von ihnen erfordert wird. Das Experiment wurde dabei auf dem Microsoft Surface<sup>6</sup> durchgeführt. Während des Versuchsablaufes sind innerhalb des Interfaces bestimmte, vordefinierte Anordnungen von Objekten repräsentiert, die die Versuchspersonen mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Eingabegeräte explorieren können. Während sie sich mit dem Programm beschäftigen, wird erfasst, wie gut sie die Objekte der räumlichen Konfiguration wiederfinden, bevor in einer anschließenden Aufgabe die explizite Erinnerung der Versuchspersonen an die Orte der gesuchten Objekte gemessen wird. Die erwähnte Leistung des Erlernens wird hierbei also bezüglich des Auffindens und Wiederfindens von Objekten betrachtet, sowie im Hinblick auf die Erinnerung an die Orte der einzelnen Objekte, welche in der Informationslandschaft präsentiert werden.

Von besonderem Interesse für den Autor, ist im Rahmen der Fragestellung des Weiteren die Untersuchung, ob bei der Verwendung eines Interfaces, welches auf dem Konzept der *Zoomable User Interfaces* (kurz: ZUI) basiert, die erwarteten Unterschiede anders ins Gewicht fallen, als wenn ein System verwendet wird, bei dem eine Skalierung des Bildschirminhaltes nicht erlaubt wird. Der Beschreibung von ZUIs ist ein eigener Abschnitt gewidmet, um so Klarheit

<sup>6</sup>[http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Surface](http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Surface)

über die Eigenschaften und Besonderheiten solcher Interfaces zu schaffen (siehe Abschnitt 3.7). Mit dem Ziel dieser erwähnten zusätzlichen Fragestellung gerecht zu werden, führte deshalb ein Teil der Versuchspersonen den Versuchsablauf unter Verwendung eines Interfaces durch, welches einem ZUI nachempfunden ist. Eine eingehende Beschreibung des letztlich resultierenden Versuchsplans ist in Abschnitt 7.2 zu finden.

### 3 Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden einige theoretische Grundlagen vorgestellt, die in der Studie eine wichtige Rolle spielen. Zum einen ist an dieser Stelle die Frage zu klären, welche Grundlagen der Kognitionswissenschaft den Entwurf der hier vorgestellten Studie erleichtern können und zu ihrem Verständnis beitragen. Hierzu gehören sowohl die Betrachtungen und Begriffserklärungen im Bezug auf Propriozeption und Stereognosie (Abschnitt 3.4), wie auch insbesondere die Vorstellung des Konzeptes des impliziten Wissens (Abschnitt 3.2), welches einen großen Einfluss auf das Versuchsdesign hatte. Ebenso eine Betrachtung der Fähigkeiten zur Orientierung und Navigation, die Menschen in der realen Umwelt offenbaren, ist von großer Bedeutung, wie auch eine Beleuchtung der Fragestellung, inwiefern diese in virtuellen Umgebungen ausgenutzt werden können und welche Implikationen sich folglich für das Design von Benutzerschnittstellen ergeben (Abschnitt 3.8). Außerdem wird hier der Begriff der ZUIs näher erläutert und einige der damit verbundenen Grundlagen vorgestellt, da diese Interfaces, wie eingangs bereits erwähnt, eine besondere Rolle in dem vorgestellten Experiment spielen und gesondert untersucht werden (Abschnitt 3.7). Eine wichtige Grundlage für das Verständnis von ZUIs stellt unter Anderem das Konzept der Reality-Based Interaction dar. Die Themen der RBI sind darüber hinaus ebenso von besonderer Bedeutung, für die Betrachtung der Interaktion mit Hilfe eines Touchscreens, weshalb sich ein eigener Abschnitt (Abschnitt 3.6) mit ihnen befasst.

#### 3.1 Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley & Hitch

In dem 1974 vorgestellten Artikel *Working Memory* [BH74] beschreiben Alan David Baddeley und Graham J. Hitch ein Modell des *Arbeitsgedächtnisses*, bei dem derjenige Teil des Gedächtnisses, der sich insbesondere dadurch auszeichnet, dass er über eine begrenzte Kapazität verfügt (und deshalb auch oft als Kurzzeitgedächtnis bezeichnet wird), in 3 Module aufgeteilt ist, in denen Informationen temporär gehalten werden können. Die beiden Autoren unterscheiden hierbei zwischen der *phonologischen Schleife* (im Original: Phonological Loop), dem *räumlich-visuellen Notizblock* (Visuospatial Sketchpad), sowie dem *episodischen Puffer* (Episodic Buffer). Zwischen diesen Komponenten vermittelt eine zentrale Exekutive. Im ursprünglichen Modell waren nur die ersten beiden Komponenten enthalten, der episodische Puffer wurde erst später in dem Artikel *The Episodic Buffer: A New Component of Working Memory?* eingeführt [Bad00]. Eine besonders wichtige Rolle kommt im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung dem räumlich-visuellen Notizblock zu. Diesen definieren Baddeley und Hitch als denjenigen Teil des Arbeitsgedächtnisses, in dem sowohl visuelle als auch räumliche Informationen bezüglich des Gesehenen vorübergehend gehalten

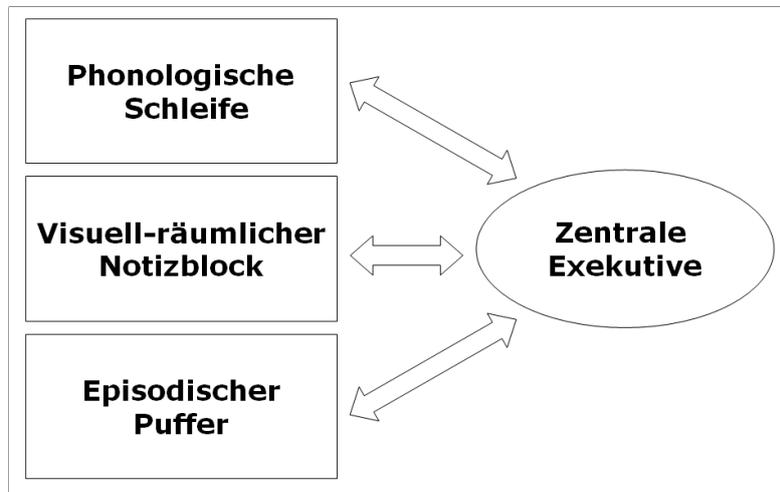


Abbildung 3: Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley und Hitch

werden können. Unter visuell sind hier solche Eigenschaften zusammenzufassen, die sich mit der Identität von Merkmalen (bzw. Objekten) beschäftigen. Dies können zum Beispiel Formen, Farben und Beschaffenheiten von Objekten sein. Räumliche Informationen sind solche, die sich mit der Position und Lage von Merkmalen in einem räumlichen Zusammenhang beschäftigen. Aufgrund der begrenzten Kapazität des Speichers, ist davon auszugehen, dass insbesondere bei der Bedienung eines Computerprogramms, welches viele verschiedene Objekte beinhaltet, die an unterschiedlichen Positionen innerhalb der Software zu finden sind (also zum Beispiel diejenigen, die Zugang zu bestimmten Funktionalitäten der Software bieten) das Arbeitsgedächtnis alleine nicht ausreicht und nur eine untergeordnete Rolle spielt, wenn es darum geht eine erfolgreiche Navigation zu den vielfältigen Objekten zu ermöglichen. Vielmehr werden hierzu solche Gedächtnisinhalte benötigt, die in Form expliziter Erinnerungen oder impliziten Wissens (siehe Abschnitt 3.2) repräsentiert sein können. Eine Aufgabe, die das Erlernen visuell-räumlicher Merkmale innerhalb einer Informationslandschaft messen soll, muss demnach so gestaltet sein, dass sich darin viele verschiedene Objekte befinden, damit im Sinne der externen Validität eine für ein Computerprogramm typische Benutzungssituation nachgebildet wird.

### 3.2 Implizites Wissen

Der Begriff des impliziten Wissens und der impliziten Fähigkeiten hat in der Kognitionswissenschaft in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Es handelt sich um ein Konzept, über welches von vielen Wissenschaftlern zum Teil kontrovers diskutiert wird. Da das implizite Wissen nach Ansicht des Autors, für viele der theoretischen Vorüberlegungen und schließlich auch für das hier vorgestellte Versuchsdesign, eine zentrale Rolle spielt, wird an dieser Stelle eine Charakterisierung der damit verbundenen Eigenschaften erläutert, um im Anschluss darauf Bezug nehmen zu können und eine Beleuchtung der relevanten Themen zu vereinfachen.

Implizites Wissen äußert sich dadurch, dass es die Leistung, die ein Proband

innerhalb eines Versuches erbringt, verbessert, ohne dass sich die Person dieses Kenntnis bewusst ist. Eine zentrale Eigenschaft von implizitem Wissen ist, dass es der Person, die darüber verfügt, nicht in direkt zugänglich ist. Solches Wissen ist weiterhin „den Informationen, die der Versuchsperson in vorangegangenen Episoden präsentiert wurde zuzuschreiben“ [Sch87]. Um diese Art des Wissens zu offenbaren ist folglich zu beachten, dass es „am besten gelernt [wird], durch Erfahrungen in einer bestimmten Umgebung, in der es anschließend verwendet wird“ [Gou02]. Es handelt sich bei dem impliziten Wissen um „Erfahrungsmustern und Handlungsdispositionen“, die „dem Subjekt [nicht] notwendig reflexiv verfügbar sind oder explizit reflektiert werden“ [Tip02].

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es im Rahmen der hier vorgestellten Studie nicht darum geht implizites Wissen nachzuweisen oder gar seine Ausprägung zu messen. Dennoch ist die Forschung, die nachweisen konnte, dass implizites Wissen tatsächlich existiert und die Leistung von Menschen in ihnen nicht bewusster Weise beeinflusst, von zentraler Bedeutung für das Design des vorgestellten Experimentes.

In der Literatur finden sich viele Belege dafür, dass das Konzept des impliziten Wissens bereits in mehreren wissenschaftlichen Disziplinen entdeckt wurde, ehe der Begriff selbst entstand. In einer kritischen Betrachtung führt Daniel L. Schacter [Sch87] so beispielsweise den französischen Philosophen René Descartes auf, der schon früh die Feststellung machte, dass Wissen dem Einzelnen nicht bewusst sein muss, um unser Handeln zu beeinflussen. In dem 1649 fertiggestellten Werk „*Les passions de l'âme*“ (deutsch: die Leidenschaften der Seele) erklärt er dieses am Beispiel eines Menschen, der den Geruch von Rosen nicht mag, ohne sich darüber bewusst zu sein, dass diese Eigenheit daher rührt, dass Rosenduft ihm in seiner Kindheit oftmals Kopfschmerzen bereitete [Des49, Art. 136].

„*We can know more than we can tell*“ M. Polányi

Entscheidend geprägt wurde die Forschung zu derartigen unbewussten Gedächtnisinhalten durch die Arbeiten Michael Polányis: Eines der zentralen Werke zu der Thematik des impliziten Wissens ist das 1966 erschienene Werk *The tacit dimension* (tacit (engl.): stillschweigend) von Michael Polányi [Pol66]. In dem Buch beschreibt der Chemiker und Philosoph ungarischer Herkunft seine Sichtweise der Charakteristika unbewusster Gedächtnisvorgänge. Polányi verdeutlicht seine Auffassung von implizitem Wissen unter anderem anhand eines Beispiels aus der Medizin. Eine große Herausforderung in der Lehre der Anatomie des menschlichen Körpers besteht seiner Meinung nach darin, das Netzwerk, welches sich aus den Zusammenhängen der unterschiedlichen Organe ergibt, darzustellen. Es handelt sich dabei um einen dreidimensionalen Sachverhalt, der folglich in zweidimensionaler Weise (also beispielsweise in Form einer Abbildung oder auch durch Anzeige auf einem Computerbildschirm) nie erschöpfend dargestellt werden kann. Auch wenn eine Ansicht gewählt wird, bei der bestimmte Organe nicht mitangezeigt werden, da sie die Sicht auf darunterliegende versperren würden, beschreibt lediglich einen Aspekt der räumlichen Zusammenhänge, es ergibt sich jedoch kein vollständiges Bild. Kein Diagramm kann für sich genommen eine adäquate Repräsentation wiedergeben. Dennoch haben zum Beispiel erfahrene Chirurgen eine sehr genaue Vorstellung der dreidimensionalen Zusammenhänge. Dieses topographische Verständnis existiert nur in einer mentalen Form und ist nach Ansicht Polányis nur unter

Zuhilfenahme von beschreibenden Komponenten zu erfassen, jedoch nicht direkt *aussprechbar* (In der Terminologie Polányis: *ineffable*) [Pol62]. Auch wenn heutzutage moderne Computertechnologien die Darstellung dreidimensionaler Modelle ermöglichen, so ist in ihnen doch immer nur eine bestimmte Ansicht auswählbar, so dass die Feststellung, dass keine Visualisierung des gesamten Sachverhalts vorstellbar ist, auch heute noch in gleicher Weise bestand hat, wie es zu Lebzeiten Polányis der Fall war. In diesem Beispiel wird ersichtlich, dass Bereiche des Wissens existieren, die der einzelnen Person nicht direkt zugänglich sind und sich nur schwer formalisieren lassen. Diese sind dem impliziten Wissen zuzuordnen.

Es konnte in verschiedenen Versuchen zum Erfassen impliziten Wissens die Feststellung gemacht werden, dass eine Variation der Modalitäten zwischen einer Trainingsphase und einer Phase, in der das Gelernte abgefragt werden sollte, die Leistungen von Versuchspersonen in starkem Maße beeinträchtigte [Sch87]. Daraus lässt sich schließen, dass zur bestmöglichen Erfassung von implizitem Wissen die Gegebenheiten während des Erlernens eines Sachverhaltes denen gleichen sollten, die während der Überprüfung bestand haben. In dem hier besprochenen Experiment sollten also nach Möglichkeit die Rahmenbedingungen, die gelten, während die Leistung der Versuchspersonen gemessen wird, den Gegebenheiten entsprechen, die während des Lernens von Bedeutung sind.

In einer frühen Iteration des Versuchsdesigns bestand eine Trennung von Trainings- und Testphase. Innerhalb einer so getrennten Antwortphase sollten die Versuchspersonen keine direkte Interaktion mit dem System mehr ausführen. Dieses Design wurde jedoch verworfen, da es der Erfassung von implizitem Wissen klar im Wege steht, wie in einem späteren Abschnitt 6.1 näher erläutert wird.

### 3.2.1 Recognition rather than recall

Ein Interfacedesigner mag bei Betrachtung des impliziten Wissens an eine Heuristik erinnert werden, die von Jakob Nielsen aufgestellt wurde. In der Tat existieren einige Parallelen, weshalb im Folgenden die Sichtweise Niensens erläutert wird. 1994 stellte Jakob Nielsen in dem Buch *Usability Inspection Methods* [Nie94] mehrere Heuristiken vor, die von Designern von Benutzerschnittstellen eingehalten werden sollten, um eine hohe Gebrauchstauglichkeit der Software zu gewährleisten. Eine dieser Heuristiken betitelte er mit „*Recognition rather than recall*“. Im Folgenden Abschnitt wird auf diesen Grundsatz näher eingegangen und ein Bezug zum Konzept des impliziten Wissens hergestellt.

Nielsen geht davon aus, dass für Benutzer eine explizite Erinnerung daran, welche Interaktionen ausgeführt werden müssen, um bestimmte Funktionalitäten einer Software aufzurufen, nicht zwingend notwendig sein muss. Achtet man bereits beim Konzipieren der Benutzerschnittstellen darauf, dass der Zugang zu den Aktionen, die mit der Software durchgeführt werden können, über einen gewissen Wiedererkennungswert verfügt, so kann die Notwendigkeit zu einem vollkommen freien Abrufen der benötigten Information verhindert werden. Ein Beispiel der Umsetzung der Heuristik ist das farblich gleiche Kennzeichnen des Zugangs zu unterschiedlichen Funktionalitäten, die innerhalb eines Computerprogramms bestimmte Gemeinsamkeiten haben.

Nielsen geht in der Formulierung der Heuristik offensichtlich davon aus, dass es sich bei Recognition und Recall, um klar voneinander trennbare Konzepte

handelt. Insbesondere wird suggeriert, dass es sich bei Recognition nicht um einen Aufruf bereits gelernter Fakten aus dem Gedächtnis handelt. Betrachtet man die Problematik aus einer kognitionspsychologischen Perspektive, lässt sich allerdings festhalten, dass Nielsen mit der Heuristik im Grunde verschiedene Arten des Recalls gegenüberstellt und somit eine exaktere Formulierung der Heuristik möglich ist. Wie Dr. Dinesh S. Katre in dem Artikel *Recognition is Recall: Paraphrasing the Heuristic* feststellt, handelt es sich bei den von Nielsen als getrennte Sachverhalte betrachteten Recognition und Recall um die Konzepte des *cued recall* und des *free recall* [Kat06]. Als Recognition sollte nach Katre folglich verstanden werden, dass bei dem Benutzer, als Reaktion auf einen sensorisch wahrgenommenen Hinweis (engl.: *cue*), die Erinnerung an einen vorher erlernten Sachverhalt aktiviert wird. Hierbei handelt es sich um einen *cued recall*. Ein populäres Beispiel hierfür ist die Situation, in der einem polizeilichen Zeugen einer Straftat, mehrere Bilder von Tatverdächtigen vorgelegt werden, anhand derer er die, seiner Meinung nach straffällig gewordene Person, identifizieren soll. An diesem Beispiel lässt sich auch eindeutig der Unterschied zum *free recall* festmachen. Dieser läge nämlich dann vor, wenn der Zeuge frei aus dem Gedächtnis, ohne die Verwendung weiterer Hilfsmittel, eine exakte Beschreibung des Täters wiedergeben würde. Der entscheidende Faktor, der die unterschiedlichen Konzepte *cued* und *free recall*, bzw. (respektive) *recognition* und *recall* in der Sprache Niensens voneinander abhebt, ist also die Tatsache, dass bei der ersten der beiden Formen des Erinnerns ein sensorischer Hinweis gegeben wird, mit Hilfe dessen ein Erinnern erleichtert wird. Im Gegensatz zum *free recall* kann implizites Wissen hierbei also mitgenutzt werden und so dabei helfen bestimmte Inhalte des Gedächtnisses zu aktivieren, die der Person nicht bewusst zugänglich sind [Kat06].

Um keine Ambiguitäten zuzulassen, bietet es sich folglich an, die von Nielsen postulierte Heuristik zu paraphrasieren. Katre schlägt hierfür die Formulierungen „*Recognition rather than free recall*“ oder noch exakter „*Cued recall rather than free recall*“ vor.

Die Heuristiken von Nielsen genießen eine große Popularität in der HCI-Gemeinde und viele Interfacedesigner schenken ihnen große Beachtung. Aufgrund dieser Tatsache ist davon auszugehen, dass die Rolle, die implizites Wissen bei der Bedienung aktueller und zukünftiger Benutzerschnittstellen spielt, in besonderem Maße beim Entwurf, aber auch der Evaluation von Interaktionstechniken berücksichtigt werden muss. Nicht zuletzt aus diesem Grund, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Versuch unternommen, ein Experiment zu konzipieren, bei dem die Erfassung impliziten Wissens und impliziter Fähigkeiten eine wichtige Rolle im Versuchsdesign einnimmt.

### **3.2.2 Implizites Wissen bei der Navigation in einer Informationslandschaft**

Zur Untersuchung, inwiefern das Wissen, welches sich ein Benutzer angeeignet hat, bei der Bedienung einer virtuellen Umgebung und dem Auf- und Wiederfinden von Objekten unterstützend einwirkt, reicht es nicht aus, nur das explizite Wissen zu betrachten. Eine dem Benutzer bewusste Information über den genauen Ort, an dem innerhalb einer Informationslandschaft ein Objekt zu finden ist, stellt dieses explizite Wissen dar. Sicherlich ermöglicht derartige Wissen eine erfolgreiche Navigation. Man könnte es im Rahmen des

hier vorgestellten Experimentes als *know-where* bezeichnen. Dem Gegenüber steht das *know-how* in welchem die Navigation, die für das Wiederfinden von Objekten ausgeführt werden muss, repräsentiert ist. Dieses implizite Wissen, welches zum Beispiel in der Form unbewusster Erinnerungen an die Ausführung bestimmter Interaktionen existieren könnte, dürfte hier durchaus auch eine Rolle spielen. Es ist anzunehmen, dass es Nutzern möglich ist, die Aufgabe ein bestimmtes Objekt zu finden, effizient und effektiv zu lösen, ohne dass sie dabei explizite Kenntnis über den genauen Ort des Objektes haben. Ist dieses der Fall, so machen sie Gebrauch vom know-how bzw. dem implizitem Wissen.

Hinzu kommt, dass, in einer für ein Computerprogramm typischen Benutzungssituation, die genaue Kenntnis über den Ort eines Informationsobjektes, welche als gespeicherte Information innerhalb des expliziten räumlichen Gedächtnisses angesehen werden kann, nicht zwangsläufig von Nöten ist, um das System zufriedenstellend zu bedienen. Vielmehr geht es um die Informationen, welche notwendig sind, um zu dem Objekt zu navigieren, das aktuell von Interesse ist. Das Wissen über diese ist zwar sicherlich vom räumlichen Gedächtnis beeinflusst, aber eben nicht ausschließlich. Ebenso könnte es zunächst nur in Form von bestimmten Handlungs- und Problemlösedispositionen repräsentiert sein, die dem Benutzer jedoch nicht bewusst sind. Die Berücksichtigung derartigen impliziten Wissens ist folglich nicht zuletzt zur Wahrung der externen Validität der Studie zu berücksichtigen.

### 3.3 Multiple Intelligenzen

Der Erziehungswissenschaftler Howard Gardner veröffentlichte 1983 in seinem Werk *Frames Of Mind: The Theory Of Multiple Intelligences* seine Vorstellung der menschlichen Intelligenz. Er merkte an, dass es viele verschiedene Arten von Intelligenz gibt [Gar83]. Ursprünglich identifizierte er 7 verschiedene Typen von Intelligenz. Jedoch sei angemerkt, dass sich diese nicht immer klar von einander trennen lassen und inzwischen durch weitere Konzepte erweitert wurden. Im Grunde ging es Gardner aber auch nicht darum, eine genaue Auflistung aller Intelligenzen zu finden und durch ihre Zusammenfassung die Ganzheit menschlicher Intelligenz festzuhalten. Er wollte vor Allem darauf aufmerksam machen, dass der Begriff Intelligenz nicht eindimensional zu verstehen ist, sondern über viele Nuancen verfügt, von denen nicht alle bis dato in der z.B. schulischen Erziehung berücksichtigt wurden. Nach Gardner ist Intelligenz also nicht einfach nur Intelligenz, sondern formiert sich aus dem Zusammenspiel multipler Intelligenzen. In besonderem Maße ist eine Berücksichtigung aller darin enthaltener Dimensionen für das Lernen und Lehren von großer Bedeutung, da so die unterschiedlichen Stärken von Menschen wesentlich differenzierter betrachtet und nutzbar gemacht werden können. Entsprechend einer Auflistung von Robert E. Slavin [Sla05] sind diese Ausprägungen, nach einer heute allgemein anerkannten Unterteilung, die folgenden Intelligenzen: räumliche, sprachlich-linguistische, logisch-mathematische, körperlich-kinästhetische, musische, interpersonelle, intrapersonelle, naturalistische und existentielle Intelligenz. Sie bedingen und beeinflussen sich gegenseitig und können einzeln gefördert und ausgenutzt werden. Aus einer Perspektive des Interfacedesigns erscheint es folglich sinnvoll, diese Betrachtung bei der Entwicklung von Benutzerschnittstellen zu berücksichtigen, um, soweit möglich, Umgebungen zu schaffen, in denen viele der erwähnten Intelligenzen ausgenutzt werden können, um die Bedienung eines

Computerprogramms zu vereinfachen oder Alternativen zur Problemlösung zuzulassen. Von besonderem Interesse im Rahmen der hier vorgestellten Studie ist die Erkenntnis, dass Menschen über eine körperlich-kinästhetische Intelligenz verfügen. Diese könnte insbesondere bei der Verwendung von Touchscreens eine zentrale Rolle spielen (worauf im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird) und somit im Interfacedesign ausgenutzt werden.

### 3.4 Propriozeption und Stereognosie

In der Wissenschaft der menschlichen Kognition wird zwischen *Wahrnehmung* und *Empfindung* unterschieden. Als Konzept der Empfindung ist der primäre Sinneseindruck zu verstehen, der noch nicht von der Person interpretiert wurde. Wahrnehmung entsteht aus einer solchen Empfindung im Anschluss erst in einem zweiten Schritt. Unter Wahrnehmung versteht man hierbei, wie es die gebräuchliche Anwendung des Begriffes in der deutschen Sprache bereits andeutet, dass unterschiedliche empfangene Reize von der Person mit einander abgeglichen und mit bereits existierendem Daten integriert werden. Man spricht hierbei auch von der *sensorischen Integration* [Duu01]. Wahrgenommenes ist also im Gegensatz zu einer reinen Empfindung dem Bewusstsein von Menschen zugänglich und somit dem expliziten Wissen zuzuordnen. Bei beiden Begriffen der menschlichen Kognition, die in diesem Abschnitt näher erläutert werden, kann eine Wahrnehmung entstehen, sie können aber auch lediglich als Empfindung existieren und die Schwelle zum Bewusstsein nicht überschreiten. Sie können also sowohl auf die Bildung expliziten Wissens als auch auf das Entstehen impliziten Wissens einwirken.

Eine weitere bedeutsame Unterscheidung wird zwischen der *Interozeption* und der *Exterozeption* gemacht. Exterozeption beschreibt hierbei die Empfindungen und Wahrnehmungen der Umwelt. Diese werden mit Hilfe der klassischen 5 Sinne Riechen, Sehen, Hören, Schmecken und Fühlen aufgenommen. Unter Interozeption sind in diesem Kontext die Empfindungen und die Wahrnehmung des eigenen Körpers zu verstehen. Sie kann weiter unterteilt werden in *Viszerozeption*, bei der die Tätigkeiten und Zustände der eigenen Organe erfasst werden, und die *Propriozeption* [BSW07].

*Propriozeption* beschreibt diejenigen Informationen, die ein Mensch bezüglich der Lage und der Bewegung seines eigenen Körpers, empfindet. Sie steht in engem Zusammenhang mit der im vorangegangenen Abschnitt angesprochenen körperlich-kinästhetischen Intelligenz. Aus physiologischer Sicht sind für diese Sinneseindrücke vor Allem Sensoren der Muskeln, Sehnen und Gelenke verantwortlich [Bir05]. Bei der Interaktion mit einem Touchscreen werden solche Sensoren wesentlich stärker in Anspruch genommen, als dieses bei der Bedienung einer Computermaus der Fall ist. Dieses ist leicht nachvollziehbar, da in einer für eine Maus kennzeichnenden Benutzungssituation vergleichsweise wenig Muskel- und Gelenkaktivität vom Benutzer erfordert wird. Die Interaktion unter Verwendung lediglich des motorischen Apparates der Hand (unter Umständen auch des Unterarmes), reicht normalerweise aus um eine Computermaus zu bedienen. Die Eingabe mit Hilfe eines Touchscreens verlangt andererseits typischerweise die Bewegung des gesamten Armes, so dass viel mehr Elemente des motorischen Apparates eines Armes in Aktion treten und folglich auch mehr sensorische Informationen bei ihr entstehen und verarbeitet werden können.

*Stereognosie* beschreibt die Fähigkeit, räumliche Vorstellungen und Informa-

tionen zur Gestalt von Objekten alleine durch das Betasten zu entwickeln und ist somit der Exterozeption zuzuordnen. Die menschliche Hand verfügt über eine Vielzahl von Sensoren, die dabei in Aktion treten. Eine vergleichsweise besonders hohe Genauigkeit erreicht dabei die Gesamtheit der Sensoren, welche sich in den Fingerspitzen befinden, da an dieser Stelle die *rezeptiven Felder* besonders klein sind [Bir05]. Auch im Sinne der Stereognosie werden bei der Verwendung eines Touchscreens mehr sensorische Informationen generiert, als bei der Verwendung einer Computermaus. Besonders die Unterschiede der Rollen, die den Fingerspitzen zukommen, ist hier von Bedeutung. Bei der Interaktion mit einer Maus werden die Fingerspitzen nur dazu verwendet, die jeweiligen Maustasten zu bedienen und das Mause rad zu bewegen. Hierbei werden typischerweise immer in der gleichen Art, also etwa durch einen gleichbleibend starken Druck auf die selbe Stelle, verschiedene Operationen innerhalb der Software ausgeführt. Die sensorische Information, die so entsteht ist demnach für die einzelne Person kaum differenzierbar. Ganz anders verhält es sich bei der Verwendung eines Touchscreens, bei der die Fingerspitzen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten über verschiedene Stellen einer Oberfläche geführt werden und so eine Vielzahl unterscheidbarer Informationen entsteht.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass, im Rahmen der Propriozeption und Stereognosie, unter Verwendung eines Touchscreens als Eingabegerät, der menschlichen Kognition mehr Informationen zur Verfügung stehen, als dieses bei der Benutzung einer Computermaus der Fall ist. Sollten diese Informationen vom Menschen also dazu genutzt werden können, eine Erleichterung der Erinnerung an vorher ausgeführte Aktionen zu erlangen, so dürfte das Wiederfinden zuvor schon gesuchter Objekte, das Erinnern an die jeweiligen Positionen der Objekte und im Zusammenhang damit eine erfolgreiche Orientierung und Navigation in einer virtuellen Informationslandschaft, durch die Interaktion mit einem Touchscreen (gegenüber der Eingabe mit Hilfe einer Maus) vereinfacht werden.

### 3.5 Embodiment

Das Konzept des *Embodiment* beschreibt eine Sichtweise der menschlichen Kognition, die in den vergangenen Jahren, bei Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachrichtungen, eine große Resonanz hervorgerufen hat. Die Vertreter des Embodiments gehen davon aus, dass menschliche Empfindung und Wahrnehmung nur dann verstanden werden können, wenn ihren Facetten zwangsläufig immer auch eine körperliche Komponente zugeschrieben wird. Kognition findet in und mit einem Körper statt und sollte folglich als dynamisches System verstanden werden, welches das Zusammenspiel von Körper und Umwelt ermöglicht. Kognitive Prozesse sind hierbei immer zielgerichtet und mit ihrer Hilfe versucht der Mensch die Aufgaben des Alltags zu bewältigen. Im Gegensatz zur traditionellen Sichtweise wird im Rahmen des Embodiments insbesondere den motorischen und perzeptuellen Systemen innerhalb der menschlichen Kognition eine zentrale Rolle zugesprochen [Wil02]. Wahrnehmung und Empfindung werden als eng miteinander verbundene Konzepte verstanden.

In welcher Form sich die Erkenntnisse des Embodiments auf die Touch- und Mausinteraktion unterschiedlich auswirken könnten, kann nur vermutet werden. Aber alleine aufgrund der Tatsache, dass im Zusammenhang mit dem Embodiment Kognition als Resultat der sensorischen und motorischen

Aktivitäten des menschlichen Körpers verstanden wird, ist anzunehmen, dass eine stärkere Betonung der Körperlichkeit bei der Interaktion, die zur Bedienung eines Computerinterfaces benötigt wird, Auswirkungen auf die erbrachte Leistung von Versuchspersonen hat. So wäre es zum Beispiel denkbar, dass die in Abschnitt 3.4 beschriebenen erwarteten Unterschiede zwischen Maus- und Touchinteraktion bezüglich ihrer Empfindung und Wahrnehmung durch den Benutzer, sich im Rahmen des Embodiments so interpretieren ließen, dass der Verwendung eines Touchscreens eine stärkere Betonung körperlicher Aspekte zugesprochen werden kann und sich dieses in Form von Leistungsunterschieden manifestiert.

### 3.6 Reality-Based Interaction

Im Rahmen der SIGCHI 2008 in Florenz veröffentlichten Jacob et al. das Paper *Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces* [JGH<sup>+</sup>08], in dem ein Framework vorgeschlagen wird, welches sowohl zur Betrachtung und Evaluation neuartiger Eingabetechniken, als auch bei der Konzipierung innovativer Benutzerschnittstellen, unterstützenden Charakter einnehmen soll. Die Themen der Reality-Based Interaction (kurz: RBI) werden als grundlegende Bestandteile der Überlegungen im Rahmen von ZUIs, aber auch als Basis für den Erfolg der Touchinteraktion angesehen. Demnach spielt nach Ansicht des Autors das RBI-Framework eine besonders große Rolle im Rahmen der vorgelegten Arbeit, weshalb auf die von Jacob et al. beschriebenen Thesen an dieser Stelle näher eingegangen werden soll, um im Anschluss ihre Bedeutung in den Forschungsgebieten der ZUIs und der neuwertiger Eingabegeräte zu erläutern.

Jacob et al. stellen zu Beginn ihrer Überlegungen entscheidende Merkmale für ein erfolgreiches Umsetzen der RBI-Themen vor. Im Anschluss finden sie, durch die Betrachtung der aktuellen Forschung und einiger Fallstudien, mehrere Belege dafür, dass sich die RBI momentan auf dem Vormarsch befindet. Des Weiteren identifizieren sie Implikationen, welche sich für das Design neuartiger Interfaces ergeben.

In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden in zunehmendem Maße Benutzerschnittstellen konzipiert, welche vom WIMP-Paradigma abweichen [JGH<sup>+</sup>08]. Um Mängel bestehender Interaktionsdesigns charakterisieren zu können und Möglichkeiten für zukünftige Forschung und Entwicklung darzustellen, werden in dem Paper gemeinsame Merkmale dieser neu auftretenden Interfaces identifiziert und im Rahmen der RBI begreifbar gemacht, um eine Evaluation ihrer Stärken zu ermöglichen. Als ein zentrales verbindendes Charakteristikum sehen die Autoren die Tatsache an, dass in zunehmendem Maße Interaktionsdesigns entwickelt werden, die sich auf das Verständnis von Menschen über die reale, nicht-digitale Welt stützen [JGH<sup>+</sup>08]. Dadurch können die Stärken des Wissens und der Fähigkeiten ausgenutzt werden, welche Benutzer unterschiedlicher Computersysteme sich in der realen Welt angeeignet haben, um eine Mensch-Computer-Interaktion diesen anzupassen, in der Hoffnung sie zu vereinfachen. Den von ihnen beschriebenen Vormarsch neuartiger Interfaces, führen Jacob et al. zum einen auf die Weiterentwicklungen im Rahmen der Computertechnologie zurück. Zum anderen ist hierfür nach Meinung der Wissenschaftler, ein wachsendes Verständnis der menschlichen Psychologie und Kognition verantwortlich, sowie die zunehmende Berücksichtigung dieses Verständnisses bei der Konzep-

tion neuartiger Eingabegeräte und Interaktionstechniken. Jacob et al. bieten mehrere Belege dafür an, dass die Einhaltung der Konzepte der RBI in den kommenden Jahren eine äußerst wichtige Rolle spielen wird. Um einen tieferen Einblick in die Thematik zu gewähren, werden im folgenden Abschnitt die 4 zentralen Themen der RBI genauer vorgestellt.

Jacob et al. identifizieren in ihrer Arbeit 4 Aspekte der Interaktion mit der realen Welt, die ihrer Meinung nach eine zentrale Rolle beim Design solcher Benutzerschnittstellen einzunehmen haben, die auf dem Grundsatz basieren, Fähigkeiten des Menschen im Umgang mit ihrer Umgebung, innerhalb einer virtuellen Realität nachzuempfinden. Die Wissenschaftler bezeichnen diese als Themen der RBI und betitelten sie einzeln mit Naïve Physics (NP), Body Awareness and Skills (BAS), Environment Awareness and Skills (EAS) und Social Awareness and Skills (SAS).

Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung spielen insbesondere die Konzepte NP und BAS eine Rolle und werden deshalb im Folgenden kurz vorgestellt. Das Thema Naïve Physics beschäftigt sich mit dem Verständnis, über welches der Mensch im Bezug auf physikalische Grundprinzipien verfügt. Hiermit sind Prinzipien wie Gravitation und Geschwindigkeit gemeint, aber auch zum Beispiel die Größe, Form und Beschaffenheit von Objekten in der Umwelt, die Personen wahrnehmen. Ein kinesthetisches Feedback, wie es sich bei der Touchscreeninteraktion äußert, kann in diesem Sinne Gebrauch von den Vorkenntnissen von Personen machen, um Benutzern somit ein realitätsnahes Gefühl bei der Bedienung eines Computers zu vermitteln. Auch die Kenntnisse, die Menschen bezüglich der Stereognosie haben fallen in den Bereich der NP.

Unter dem Thema BAS ist das Verständnis des Menschen subsumiert, welches er von seinem eigenen Körper hat. Es ist unabhängig von seiner Umgebung. Hierzu gehören Empfindungen des Menschen, bezüglich der Lage und der Bewegungen seiner Gliedmaßen. Es handelt sich also vornehmlich um propriozeptive Eigenschaften. Es wird davon ausgegangen, dass der Mensch sich bezüglich dieser in seiner Entwicklung ein Grundverständnis, sowie Fähigkeiten aneignen konnte, die eine Verarbeitung propriozeptiver Informationen ermöglichen und folglich bei der Konzeption von Interfaces berücksichtigt werden können, um so Gebrauch von den existierenden Fähigkeiten von Personen aus der realen Welt zu machen. Aufgrund des vergleichsweise detaillierten propriozeptiven Feedbacks, welches bei der Touchinteraktion entsteht (siehe Abschnitt 3.4) ist also anzunehmen, dass es sich bei der Bedienung mit Hilfe eines Touchscreens um eine Eingabetechnik handelt, die unter Anderem Gebrauch von dem Thema BAS im Rahmen der RBI macht.

Im sich anschließenden Abschnitt wird das Konzept der ZUIs vorgestellt, sowie der Begriff einer virtuellen Informationslandschaft näher erläutert. Bei einem ZUI handelt es sich um ein Interface, welches regen Gebrauch von Erkenntnissen aus dem Bereich der RBI macht und entsprechend den darin festgehaltenen Grundsätzen entworfen ist. Es wird versucht, die Organisation von Informationen in einem Computersystem der realen Welt nachzuempfinden. Menschen sind daran gewöhnt Informationsträger in räumlicher Weise zu organisieren, um anschließend ein schnelles Wiederfinden der aktuell benötigten Information gewährleisten zu können:

### 3.7 Virtuelle Informationslandschaften und ZUIs

Ein *Zoomable User Interface* ist eine Benutzerschnittstelle, in der dem Anwender ein graphischer Zugang zu einem bestimmten Informationsraum gewährt wird, in welchem es ihm insbesondere erlaubt ist, durch Vergrößern und Verkleinern (*Zooming*) und Verschieben (*Panning*) den Bereich anzupassen, der auf dem Computerbildschirm angezeigt wird. Man kann eine Position innerhalb des Informationsraumes in einem ZUI in einem dreidimensionalen Koordinatensystem beschreiben. X- und Y-Koordinaten geben dabei die genaue Position (z.B. des angezeigten Bildschirmausschnittes) in der zweidimensionalen Draufsicht an, während eine Z-Koordinate den aktuell gewählten Vergrößerungsgrad widerspiegelt, der auch *Zoomlevel* genannt wird. Informationsobjekte erhalten in diesem Raum eine durch X- und Y-Koordinaten angegebene Position und werden auf einer *Informationslandschaft* angezeigt. Eine solche Informationslandschaft ist dadurch charakterisiert, dass in ihr Objekte, die bestimmte Informationen (oder auch Funktionalitäten) anbieten, an bestimmten räumlichen Positionen zu finden sind. Mit Hilfe des Zoomings und Pannings kann der Benutzer dem System mitteilen, welche Bereiche der Landschaft aktuell für ihn von Interesse sind. Das Computersystem kann so, in Abhängigkeit des gewählten Ausschnitts und des Zoomlevels, mehr oder weniger detaillierte Informationen über die angezeigten Objekte anbieten. Um unterschiedliche Ansichten der Objekte realisieren zu können, müssen die verorteten Objekte über mehrere mögliche Repräsentationen verfügen, zwischen deren Anzeige das System umschalten kann, dieses in Abhängigkeit vom aktuell gewählten Zoomlevel (also der Z-Koordinate). Diese Eigenschaft eines ZUIs wird als *semantischer Zoom* bezeichnet und soll an einem kurzen Beispiel für die Funktionsweise eines ZUIs erläutert werden: In der Informationslandschaft eines ZUIs könnte z.B. eine Sammlung von Textdokumenten dargestellt sein, die unterschiedlichen (ggf. durch den Benutzer selbst angelegten) Gruppen zuzuordnen sind. In einer weit herausgezoomten Darstellung der Informationslandschaft wären dann beispielsweise alle Dokumente der Sammlung gleichzeitig auf dem Bildschirm sichtbar, allerdings, aufgrund des mangelnden Bildschirmplatzes, der jedem Objekt zur Verfügung steht, nur als Symbole repräsentiert. Vergrößert der Benutzer nun die Ansicht, so sind ab einem bestimmten Zoomlevel nicht mehr alle Objekte auf einmal auf dem Bildschirm sichtbar. Jedoch wird der Platz der einem einzelnen Objekt auf dem Bildschirm zur Verfügung steht so langsam größer. Das System kann dabei schrittweise zusätzliche oder gar andere Informationen über die Informationsobjekte anzeigen. Z.B. könnte ab einem bestimmten Zoomlevel die Repräsentation der Textdokumente nicht mehr als Symbole präsentiert werden, sondern durch den genauen Dateinamen erweitert oder ersetzt werden. Hat der Benutzer nun das Objekt identifiziert, welches er genauer inspizieren will, so vergrößert er den Bildschirmausschnitt so, dass sich schließlich nur noch das relevante Textdokument auf dem Bildschirm befindet. Sobald das System entscheiden kann, dass der Platz der dem einzelnen Objekt zur Verfügung steht ausreicht, um den Inhalt komplett darzustellen, wird die Repräsentation umgeschaltet und zum Beispiel der genaue Inhalt des Textdokumentes angezeigt. Bei dem hier beschriebenen Umschalten zwischen mehreren Repräsentationen von Informationsobjekten, handelt es sich um das semantische Zooming.

Ein weiteres Charakteristikum von ZUIs ist, dass der Informationsraum hierbei so angelegt ist, dass in der (X- und Y-) Position unterschiedlicher

Objekte Informationen, die mit ihnen verbunden sind, codiert sein können. Im vorangehenden Beispiel könnte so die Zugehörigkeit einzelner Textdokumente zu bestimmten Gruppen angedeutet werden. Der Benutzer (oder auch das System in automatischer Weise) könnte beispielsweise die Textdokumente in der Art in der Informationslandschaft platziert haben, dass sich alle privaten Dokumente in einem bestimmten Bereich, alle Dokumente die der Gruppe *Arbeit* zuzuordnen sind, in einem anderen Bereich befinden. Die Vorteile, die man sich von der Benutzung von ZUIs verspricht, sollen an einem weiteren Beispiel kurz erläutert werden. In herkömmlichen Systemen, welche auf der Desktop-Metapher aufbauen, ist die Anordnung von Dateien auf dem Computer durch eine Baumstruktur realisiert, zu der dem Benutzer lediglich ein abstrakter Zugang gewährt wird. Innerhalb eines ZUIs könnte die Information über den Speicherort einer Datei auf der Festplatte unterstützt werden, durch die zusätzliche räumliche Information, die sich aus der Position ergibt, an der eine Repräsentation der Datei auf der Informationslandschaft angezeigt wird. In der Folge kann eine räumliche Orientierung zusätzlich beim Auffinden bestimmter Dateien helfen.

Mithilfe der Verortung von Informationsobjekten kann also, wie bereits angedeutet, eine Gruppierung von Objekten eines bestimmten Typs realisiert sein. Es kann sich dabei um eine vom Benutzer angelegte räumliche Konfiguration handeln, die er so erstellt hat, dass er sich gut darin zurechtfindet. Man erhofft sich, dass durch die zusätzliche Information in Form des räumlichen Bezugs, die Fähigkeiten, über die Menschen zur Orientierung und Navigation in der realen Umwelt verfügen, auf das Computersystem übertragen und darin ausgenutzt werden können und so für den Benutzer eine leichtere Orientierung innerhalb einer Menge von Informationseinheiten erreicht wird.

In einer für die Bedienung einer virtuellen Informationslandschaft typischen Benutzungssituation steht der Benutzer häufig vor der Aufgabe zu dem nächsten Objekt, welches von Interesse ist, zu navigieren, also den angezeigten Ausschnitt der Informationslandschaft so anzupassen, dass das gesuchte Objekt darin angezeigt wird. Hierbei kann der Benutzer durch explizites Wissen über den Ort, an dem das gesuchte Objekt zu finden ist, unterstützt werden. Es ist zusätzlich jedoch auch denkbar, dass implizites Wissen bei dieser Aufgabe eine Rolle spielt, beispielsweise durch erworbenes implizites Wissen, welches im Zusammenhang mit der Interaktion steht, die der Benutzer zuvor bereits ausgeführt hat und die ihm die erfolgreiche Navigation zu dem gewünschten Objekt ermöglichte.

### **3.8 Navigation und Orientierung in der realen Welt**

Wie bereits die Formulierung der Themen der RBI andeutet, wird beim Design von Benutzerschnittstellen zunehmend der Versuch gemacht, diese der gewohnten Umgebung von Menschen nachzuempfinden, um die Fähigkeiten, die Personen in der realen Welt erworben haben und in ihr anwenden, auch in Computerinterfaces ausnutzen zu können. Daher erscheint eine Betrachtung der Forschung im Bereich der Orientierung und Navigation in der realen Welt von besonderer Bedeutung. Dieses gilt im Allgemeinen für die Forschung im Rahmen des Interfacedesigns und im Besonderen für den Entwurf der hier vorgestellten Studie. Im folgenden Abschnitt werden deshalb, aus dem Bereich der Psychologie und der Kognitionswissenschaften, einige Grundlagen der Forschung zu dem Thema eingeführt. Außerdem soll erläutert werden, welche Rolle sie in

dem vorgestellten Experiment spielen könnten.

Der Mensch ist in der realen Welt häufig mit der Lösung von Problemen beschäftigt, bei denen eine räumliche Orientierung, sowie bestimmte Strategien zur Navigation in der Umwelt eine große Rolle spielen. Es kann davon ausgegangen werden, dass Menschen sich in ihrer Entwicklung vielfältige Fähigkeiten aneignen, die ihnen eine erfolgreiche Bearbeitung solcher Probleme ermöglichen. Im Rahmen dieser Arbeit ist es von besonderem Interesse, welche dieser Fähigkeiten dazu genutzt werden können, bestimmte Objekte in einer räumliche Anordnung wiederzufinden. Eine elementare Rolle spielt in diesem Zusammenhang das Konzept der *Landmarken* [Ger06]. Landmarken stellen Besonderheiten innerhalb einer Umgebung dar und sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sich eindeutig von der Umgebung abheben. Bei der Orientierung und Navigation in der realen Welt, können so beispielsweise bestimmte Monumente als Landmarken interpretiert werden und dazu genutzt werden, eine Information über den aktuellen Standort zu erlangen. Außerdem übernehmen sie eine unterstützende Funktion bei der menschlichen Fähigkeit bestimmte Wege zu identifizieren, die die Person vom aktuellen Aufenthaltsort in der Intention ein bestimmtes Ziel zu erreichen, beschreiten könnte. Diese hier angesprochene Fähigkeit wird im Allgemeinen als *wayfinding* bezeichnet und macht regen Gebrauch von Landmarken.

Neben expliziten Orientierungshilfen in Form von Landmarken wird des Weiteren angenommen, dass propriozeptive Fähigkeiten (siehe Abschnitt 3.4) in der realen Welt häufig verwendet werden, um ein erfolgreiches Lösen von Orientierungs- und Navigationsaufgaben zu gewährleisten [Vin99]. So hilft beispielsweise eine Information über einen bereits beschrittenen Weg Personen dabei, eine Vorstellung von ihrer aktuellen Position in einer Umgebung zu entwickeln, sowie der möglichen Wege, die zu dem aktuellen Standpunkt oder von ihm zu anderen Zielen führen. Hierbei handelt es sich eindeutig um implizites Wissen. In virtuellen Umgebungen erscheint es zunächst eine unlösbare Herausforderung zu sein, diese Befähigung von Menschen zu unterstützen. Ein Ansatz, um zumindest Teilbereiche des propriozeptiven und lokomotorischen Trainings ausnutzen zu können, mit dem Menschen in der realen Welt konfrontiert sind, ist die Verwendung von Touchscreens. Wie bereits erwähnt, entstehen vergleichsweise viele und differenzierbare sensorische Informationen, bei der Interaktion über derartige berührungsempfindliche Bildschirmoberflächen, welche möglicherweise denen nahestehen, die bei der Navigation in der realen Umwelt von Bedeutung sind und in denen Informationen codiert sein könnten, die einige Charakteristika der Informationen über beschrittene Wege aus der realen Welt, teilen. Diese könnten eine entscheidende Rolle bei der erfolgreichen Navigation in einer virtuellen Landschaft spielen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit näher untersucht wird.

Um die Vorteile, welche durch die Touchinteraktion entstehen in den Vordergrund der Untersuchung zu rücken, muss ein besonderer Fokus beim Versuchsdesign also auf der größtmöglichen Berücksichtigung der propriozeptiven, lokomotorischen und stereognostischen Fähigkeiten von Menschen liegen. Um eine Maximierung der Primärvarianz zu erreichen, wurde deshalb beim Entwurf der Aufgaben des hier besprochenen Experimentes versucht, andere Mechanismen, die Personen in der realen Welt zur Navigation verwenden, insbesondere solche, die auf explizitem Wissen aufbauen, so wenig wie möglich zu unterstützen.

## 4 Related Work

### 4.1 Data Mountain

Das 1998 von George Robertson et al. veröffentlichte Paper *Data mountain: using spatial memory for document management* [RCL<sup>+</sup>98] stellt eines der einflussreichsten Werke der Literatur dar, welche im Rahmen der Forschung zum räumlichen Gedächtnis bei der Benutzung virtueller Umgebungen entstand. Robertson et al. konnten zeigen, dass sich die Fähigkeit zur räumlichen Erinnerung, von der Menschen in der realen Welt Gebrauch machen, auf (insbesondere dreidimensional konzipierte) Computersysteme übertragen lassen und dort von großem Nutzen sein können. Sie stellten ein System vor, in dem Benutzer Dokumente auf einer scheinbar geeigneten Fläche anordnen können. Sie gingen davon aus, dass „Effektivität und Benutzungstauglichkeit des Data Mountains zum Teil vom Transfer der *spatial memory skills* von der realen Welt in eine virtuelle Umgebung abhängt“ [RCL<sup>+</sup>98]. Im Rahmen einer Benutzerstudie konnten die Wissenschaftler anschließend zeigen, dass die Erinnerung an und damit auch das Wiederfinden von Objekten in einer solchen Umgebung, tatsächlich von den räumlichen Fähigkeiten (*spatial ability*) der Versuchspersonen profitierte.

### 4.2 Kinesthetic cues aid spatial memory

In dem 2002 erschienenen Paper *Kinesthetic cues aid spatial memory* beschrieben Desney S. Tan et al. [TPSP02] eine Versuchsreihe, in der sie nachweisen konnten, dass kinästhetische Hinweise und insbesondere das Bewusstsein über Lage und Position des eigenen Körpers und der Extremitäten, Personen dabei helfen die Positionen von Objekten innerhalb eines virtuellen Raumes zu erlernen. Sie führten ein Experiment durch, bei dem Versuchspersonen entweder mit einem Touchscreen oder mit einer Computermaus Interaktionen ausführten und konnten feststellen, dass das räumliche Gedächtnis, welches sich die Versuchspersonen während der Bearbeitung der Aufgaben mit dem Touchscreen aneigneten, demjenigen, welches unter Verwendung der Maus angelegt wurde, überlegen war [TPSP02]. Sie führen dieses Ergebnis auf die Tatsache zurück, dass bei der Benutzung eines Touchscreens Hilfestellung in Form von kinesthetischem Feedback gegeben wird, welches bei der Benutzung einer Maus nicht der Fall ist. Im Gegensatz zu der hier vorgestellten Studie waren die Versuchspersonen von Tan et al. nicht mit einer Navigationsaufgabe konfrontiert. Vielmehr waren sie dazu aufgefordert, einzelne Objekte innerhalb des Interfaces zu verschieben und nicht die Ansicht mit Hilfe der Eingabegeräte anzupassen. Die Ergebnisse legen dennoch nahe, dass auch in dem hier beschriebenen Experiment die Leistung von Versuchspersonen durch die Verwendung des Touchscreen positiv beeinflusst wird.

### 4.3 Gesten

Die Benutzerinteraktionen, die bei der Verwendung eines Touchscreens zur Bedienung eines Computerprogramms nötig sind, werden oftmals als *Gesten* bezeichnet. Man muss sich hierbei jedoch die Frage stellen, ob diese Gesten bestimmte Charakteristika mit solchen Gesten gemein haben, die der Mensch in der realen Welt ausführt (zur Abgrenzung werden Letztere im Folgenden als

*natürliche Gesten* bezeichnet) oder ob es sich bei der Verwendung des Begriffes um eine künstliche Metapher handelt. Sollten Multitouchgesten vom Menschen tatsächlich in ähnlicher Weise verarbeitet werden, wie es bei natürlichen Gesten der Fall ist, so könnte eine Betrachtung der Forschung, die sich mit der Rolle befasst, die natürliche Gesten in der menschlichen Kognition spielen, aufschlussreiche Erkenntnisse für die Evaluation der Touchscreeninteraktion liefern.

Traditionell wird Gesten vornehmlich eine interpersonelle kommunikative Funktion zugesprochen. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass Gesten auch eine wichtige Rolle für denjenigen spielen, der sie verwendet. In dem Artikel *Gestures Maintain Spatial Imagery* beschreiben Richard Wesp et al. eine Reihe von Versuchen, in denen sie feststellen konnten, dass Gesten auf das Abrufen räumlicher Informationen aus dem Gedächtnis unterstützend einwirken können [RWW01]. Die Autoren waren dabei vornehmlich mit der Rolle von Gesten bezüglich des Aufrechterhaltens von Informationen beschäftigt. Die Wissenschaftler Robert Krauss und Ezequiel Morsella schlugen bezüglich der Rolle von Gesten eine Erweiterung in Form eines Modells vor, dem *Gestural Feedback Model* (kurz: GFM) [KMK<sup>+</sup>]. Ein entscheidendes Charakteristikum des GFM liegt im Gegensatz zu der Betrachtung von Wesp et al. darin, dass hier der Verwendung von Gesten nicht nur eine Erleichterung des Aufrechterhaltens und des Zugriffs auf Informationen aus dem Gedächtnis zugesprochen wird, sondern diese auch dazu beitragen können Informationen im Gedächtnis überhaupt erst anzulegen. Des Weiteren wird angenommen, dass die Zuhilfenahme von Gesten insbesondere beim Anlegen und Wiederfinden von konkreten Informationen unterstützende Funktionen einnimmt, und dieses in besonders starkem Maße, wenn die Gedächtnisinhalte mit sensorischen und motorischen Informationen verknüpft werden können. Solche Informationen können sowohl in den Eigenschaften des beschriebenen Objektes selbst begründet sein, als auch in denen mit ihm in Zusammenhang gebrachten Körperbewegungen.

Sollte die in dieser Arbeit untersuchte Leistung von Versuchspersonen beim Erlernen von Merkmalen einer Objektordnung durch die Verwendung eines Touchscreens, im Gegensatz zur Bedienung mit einer Maus positiv beeinflusst werden, so läge ein möglicher Erklärungsansatz folglich darin, anzunehmen, dass Multitouchgesten tatsächlich Gemeinsamkeiten mit der Verwendung von Gesten in der realen Welt aufweisen, zumindest in stärkerem Maße als dieses für Interaktionen, die bei Bedienung mit einer Maus ausgeführt werden, der Fall ist und folglich Gebrauch machen können von den Eigenschaften, die natürlichen Gesten im Rahmen der räumlichen Erinnerung zugesprochen wird.

## 5 Vorstellung der Hypothesen

In den nun folgenden Abschnitten wird das gesamte Versuchsdesign näher beleuchtet. Zur Einleitung sind hier zunächst die einzelnen Hypothesen, die innerhalb der Studie überprüft werden, erläutert und die darin enthaltenen Begriffe definiert. Einen wichtigen Teil der Betrachtung macht die Präsentation der beiden Aufgaben aus, die während des Experimentes von den Versuchspersonen durchzuführen waren, weshalb diesen im Anschluss ein eigenständiger Abschnitt gewidmet ist. Dem folgt schließlich eine Vorstellung des experimentellen Designs, welches erarbeitet wurde und mit dessen Hilfe die Hypothesenprüfung umgesetzt wird. Wichtig zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass in der Folge insbesondere

die einzelnen Entscheidungen gerechtfertigt werden, die sich im letztlich angewandten Versuchsdesign manifestiert haben.

Das im Titel der Masterarbeit erwähnte *Erlernen räumlich-visueller Merkmale* kann sich in zweierlei Form äußern. Zum einen kann es bei der Bedienung eines Computerprogrammes selbst offenbart werden, dadurch, dass eine effiziente und erfolgreiche Navigation zu zu findenden Objekten stattfindet. Eine kritische Betrachtung der dabei entstehenden Auf- und Wiederfindeleistung ist in Hypothese H1 berücksichtigt. Die Untersuchung dieser Leistung zeichnet sich durch eine hohe externe Validität aus, da es sich in einer für ein Computerprogramm typischen Benutzungssituation oftmals um das effiziente und effektive Auffinden eines bestimmten Objektes handelt (z.B. eines Objektes mit dessen Hilfe eine aktuell benötigte Funktion der Software aufgerufen wird). Zum anderen kann das angesprochene Erlernen sich aber auch in Form expliziter Erinnerungen an die Orte von Objekten widerspiegeln, wofür eine eigene Hypothese im Rahmen des hier beschriebenen Experimentes überprüft wurde, Hypothese H2. Nach Ansicht des Autors ist hier jedoch im Vergleich eine geringere externe Validität gegeben, da bei der Benutzung einer Software in den seltensten Fällen eine explizite Erinnerung an die Positionen von Objekten vom Benutzer erwartet wird. Dieses gilt zumindest dann, wenn es sich dabei um eine im Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit gut gestaltete Software handelt, also einem Computerprogramm, bei dessen Konzipierung zum Beispiel die in Abschnitt 3.2.1 angesprochenen Heuristiken berücksichtigt wurden.

Im Folgenden werden zunächst die Hypothesen vorgestellt, welche mit Hilfe des Experimentes überprüft werden, bevor auf einige der darin enthaltenen Begrifflichkeiten näher eingegangen wird.

***H1:** Wird eine räumliche Anordnung von Objekten, welche auf einem Computerbildschirm dargestellt ist, mit einer Computermaus als Eingabegerät exploriert, so ist die Leistung von Benutzern, bezüglich des Auf- und Wiederfindens der Objekte, geringer, als wenn die zur Exploration notwendige Interaktion unter Verwendung eines Touchscreens erfolgt.*

***H2:** Die Behaltensleistung, welche ein Benutzer eines Computersystems erbringt, nachdem er eine räumliche Anordnung von Objekten, mit Hilfe einer Computermaus exploriert hat, ist geringer, als wenn zuvor die zur Exploration notwendige Interaktion mit Hilfe eines Touchscreens erfolgt ist.*

***H3:** Es besteht ein Zusammenhang zwischen den in Hypothesen H1 und H2 erwarteten Unterschieden und der Verwendung eines Zoomable User Interfaces zur Exploration der räumlichen Anordnung.*

Bei den Hypothesen H1 und H2 handelt es sich also um gerichtete Hypothesen, die sich somit durch eine hohe Relevanz auszeichnen. In den Untersuchungen zur Zusammenhangshypothese H3 sollen hingegen allgemeine Kenntnisse über den Einfluss von ZUIs auf die erwarteten Leistungsunterschiede zwischen Maus- und Touchscreeninteraktion gewonnen werden. Von besonderem Interesse ist hierbei die Art des erwarteten Einflusses, insbesondere, ob die in H1 und H2 postulierten Unterschiede bei Verwendung eines ZUIs besonders stark ausfallen oder ob sie weniger prägnant sind, als bei der Verwendung eines Interfaces, bei dem eine Skalierung der Darstellung nicht erlaubt ist.

## 5.1 Unabhängige Variablen

Während der Versuchsreihe sollen zwei verschiedene unabhängige Variablen systematisch variiert werden. Die *Wahl des Eingabegeräts* stellt eine dieser Variablen dar, welche über zwei Ausprägungen, Mausinteraktion und Touchinteraktion, verfügt. Um Hypothese H3 genauer untersuchen zu können wurde außerdem eine weitere unabhängige Variable festgelegt: Das Angebot unterschiedlicher *Interaktionsmöglichkeiten*, die zur Exploration der Anordnung zur Verfügung gestellt werden. Auch hier existieren zwei mögliche Variationen. In der *PAN-Bedingung* wird die Versuchsperson mit einem Interface konfrontiert, in dem es lediglich möglich ist, den angezeigten Ausschnitt zu verschieben, das sog. *Panning*. Panning ist ein Begriff, der aus der Film- und Fernsehtechnik entlehnt wurde und dort den Schwenk einer Kamera bezeichnet, oder auch die Panoramierung, also das Erfassen eines Gesamtbildes, durch eine Veränderung des Blickwinkels. Die Skalierung der Landschaft bleibt innerhalb dieser Bedingung immer gleich, Objekte werden also immer in der gleichen Größe auf dem Bildschirm repräsentiert. Die zweite Ausprägung der Variable Interaktionsmöglichkeit wird im Folgenden als *ZUI-Bedingung* bezeichnet. Hierbei werden die Interaktionsmöglichkeiten, die der Versuchsperson zur Verfügung stehen, um die Funktion erweitert, die Anzeige zu vergrößern und zu verkleinern (*Zooming*). Es können also unterschiedlich skalierte Ansichten auf die Objektkonfiguration gewählt werden. Damit wird der Versuch gemacht, ein System zu evaluieren, welches wichtigen Aspekten eines ZUI nachempfunden ist, um den Zusammenhang zwischen den in H1 und H2 definierten Erwartungen und der Verwendung eines ZUIs untersuchen zu können.

Selbstverständlich existieren noch viele weitere unabhängige Variablen, die jedoch im Rahmen des vorgestellten Experimentes nicht explizit kontrolliert, aber sehr wohl erfasst wurden, um den eventuell störenden Einfluss, den sie auf die Ergebnisse des Experimentes haben könnten, untersuchen und insbesondere nachvollziehen zu können. Hierzu zählen beispielsweise die Computervorkenntnisse, sowie das Geschlecht, das Alter und der Bildungsgrad der Versuchspersonen.

## 5.2 Abhängige Variablen

Die in Hypothese H1 erwähnte *Auf- und Wiederfindeleistung* ist im vorliegenden Experiment als die Leistung von Versuchspersonen aufzufassen, die sie bei der ursprünglichen Suche nach einem bestimmten Objekt erbringen, sowie bei der anschließenden erneuten Suche nach dem selben Objekt. Eine wichtige Rolle kann hierbei selbstverständlich die tatsächliche mentale Repräsentation der räumlichen Zusammenhänge spielen, die sich ein Benutzer gebildet hat und die in dieser Studie als *Behaltensleistung* gemessen wird. Jedoch sei angemerkt, dass, insbesondere unter Berücksichtigung des Konzeptes des impliziten Wissens, es nicht ausschließlich diese bewusste, explizite Erinnerung an den Ort eines Objektes sein muss, die eine erfolgreiche Bedienung gewährleistet. Es wäre durchaus denkbar, dass implizite und unbewusste Teile des gesamten aufgabenrelevanten Wissens der Versuchspersonen existieren und die hier angesprochene Leistung positiv beeinflussen. Aus diesem Grund wird die Auf- und Wiederfindeleistung in der vorliegenden Studie gesondert, in Form einer eigenständigen Aufgabe, untersucht. Nichtsdestotrotz ist ein Erfassen des expliziten Wissens über die

Anordnung von Objekten von großem Interesse, sowie eine Betrachtung der etwaigen Zusammenhänge zwischen den beiden unterschiedlichen Leistungen, welche einen explorativen Teil der hier vorgestellten Untersuchung darstellt. Die Auf- und Wiederfindeleistung kann sich in Form von *Suchzeiten* äußern und gemessen werden, aber auch in Form von den Längen einzelner *Suchpfade*, die den genauen Verlauf der Interaktion vom Ausgangspunkt bis zum Auffinden des Objektes widerspiegeln. In Abschnitt 6.2.7 ist eine genaue Gegenüberstellung der hier angesprochenen Maße (Suchzeit und Pfadlänge) zu finden, zusammen mit einer Argumentation für ihre jeweilige Verwendung als Performanzmaß.

Die in Hypothese H2 angesprochene *Behaltensleistung* ist in der hier vorgestellten Studie als das Wissen zu verstehen, welches sich Versuchspersonen über den Ort von Objekten angeeignet haben und direkt wiedergeben können. Im Gegensatz zur Auf- und Wiederfindeleistung handelt es sich hierbei also ausschließlich um Kenntnisse, die den Versuchspersonen bewusst sind. Bei der Messung soll folglich versucht werden, Einblick in die mentale Repräsentation, die sich die Versuchsperson von dem räumlichen Zusammenhang gebildet hat, zu erlangen. Hier sei angemerkt, dass es sich hierbei um eine Form des Wissens handelt, die man klassischerweise dem expliziten Wissen zuordnen würde. Beim Entwurf einer Aufgabe, in der die Behaltensleistung gemessen werden soll, muss deshalb ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, die Einflussnahme impliziten Wissens so gering wie möglich zu halten, um die explizite mentale Repräsentation möglichst unverfälscht zu erfassen.

## 6 Vorstellung der Aufgaben

Im anschließenden Abschnitt sind die beiden Aufgabentypen allgemein vorgestellt, die entworfen wurden, um die unterschiedlichen Hypothesen zu testen und während des Experimentes von den Versuchspersonen zu bearbeiten waren.

Zur Untersuchung der Auf- und Wiederfindeleistung und damit der Überprüfung von Hypothese H1 wurde eine eigenständige Aufgabe im Versuchsdesign realisiert, welche in Abschnitt 6.2 vorgestellt wird, die *Suchaufgabe*. Bei dieser geht es darum Objekte in einer räumlichen Anordnung zu finden.

Eine weitere Aufgabe, die von den Versuchspersonen immer im Anschluss an eine Suchaufgabe absolviert wurde, beschäftigt sich mit Hypothese H2 und somit der tatsächlichen Erinnerung der Probanden, an die Positionen der vorher zu suchenden Objekte. In dieser *Rekonstruktionsaufgabe* wird den Versuchspersonen die Anweisung gegeben, dass sie für jedes vorher gesuchte Objekt angeben sollen, an welcher Position es sich, ihrer Meinung nach, bei der Durchführung der Suchaufgabe befand. Zur anschließenden Analyse ist es lediglich nötig, den vom Probanden angegebenen Ort zu erfassen.

### 6.1 Problematik bei der Trennung von Trainings- und Testphase

In einer frühen Iteration des Versuchsdesigns gab es die Überlegung, gesonderte Trainings- und Testphasen zu benutzen und in der Folge die Leistung von Versuchspersonen lediglich in der Testphase zu messen. Dieses bringt allerdings einige Probleme mit sich. Insbesondere ist es wahrscheinlich, dass in dieser Weise eine Messung des impliziten Wissens nicht möglich ist oder zumindest stark

verfälscht wird. Wie in Abschnitt 3.2 bereits erläutert, wird implizites Wissen am Besten offenbart, wenn es in der Umgebung gemessen wird, in der es auch entstanden ist.

Es ist davon auszugehen, dass Versuchspersonen die Frage nach dem Ort eines bestimmten Objektes mit Hilfe von sowohl explizitem, als auch implizitem Wissen zu beantworten versuchen. Hierbei ist die Situation denkbar, in der der Benutzer die aktuell durchzuführende Suche erfolgreich absolviert, auch wenn er/sie lediglich über implizites Wissen verfügt, welches aufgabenrelevant ist. Durch Wiederholung der Suche nach dem selben Objekt, könnte es sein, dass dieses Wissen im Laufe der Wiederholungen durch explizites Wissen ergänzt wird, indem sich die Versuchsperson den genauen Ort eines Objektes merkt. Selbst wenn eine von der Lernphase getrennte Testphase so gestaltet wäre, dass in ihr implizites Wissen erfasst werden könnte, wäre es möglich, dass die Versuchsperson inzwischen über ausreichend explizites Wissen verfügt und dieses zur Beantwortung nutzt. Eine derartige Erfassung impliziten Wissens könnte hierbei nur in der Art gestaltet sein, dass durch sie zusätzliche korrekte Antworten gemessen werden könnten, nämlich solche, bei denen die Versuchsperson ausschließlich über implizites Wissen über den aktuell erfragten Sachverhalt verfügt. Eine Unterscheidung expliziten und impliziten Wissens ist in einer eigenständigen Phase des Experimentes nicht realisierbar, da eine Information darüber aus welchem Wissen eine korrekte Antwort entstand, nicht gemessen werden kann. Das implizite Wissen wäre somit vom expliziten *überlagert* und könnte nicht mehr erfasst werden. In anderen Worten: durch die Trennung von Lernen und Beantworten wird der Versuchsperson lediglich zusätzliche Zeit und Möglichkeit gegeben, implizites Wissen durch explizites zu ergänzen und somit im Sinne der Messung der Leistung der Versuchsperson zu überlagern. Um dieser Problematik entgegenzuwirken ist es ratsam, implizites Wissen in dem Moment zu erfassen, in dem es entsteht. Diese Feststellung spielt in dem vorliegenden Experiment eine besonders große Rolle, da in diesem Fall das implizite Wissen, welches in der Suchaufgabe aufgebaut werden kann, formalisierbar ist. Dieses ist der Fall, da eine exakte (explizite) Information über die Zelle des Rasters in der sich ein Objekt befindet, bereits die nötigen Informationen beinhaltet, die zur effizienten und effektiven Bearbeitung der Aufgabe von Bedeutung sind. Somit kann das implizite Wissen welches eine erfolgreiche Navigation zu einem Objekt ermöglichte, ohne eine Einschränkung für die Bearbeitung der Aufgabe zu erfahren, durch explizites Wissen ersetzt werden.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen entstand für die Messung der Auf- und Wiederfindeleistung eine eigenständige Aufgabe, bei deren Bearbeitung bereits die Leistung von Versuchspersonen gemessen wurde. Eine allgemeine Beschreibung dieser Suchaufgabe wird im folgenden Abschnitt vorgenommen.

## 6.2 Suchaufgabe

Die Suchaufgabe dient vornehmlich dazu Hypothese H1 zu überprüfen. Bei der Durchführung der Suchaufgabe geht es für die Versuchspersonen darum, innerhalb einer auf einem Computerbildschirm dargestellten Informationslandschaft, in der eine räumlichen Anordnung von Objekten betrachtet werden kann, wiederholt mehrere bestimmte Objekte zu finden. Letztere sind wiederum in einzelnen Zellen eines sichtbaren Rasters verortet. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 4 eine solche Konfiguration von Objekten beispielhaft dargestellt.

Die Objekte sind dabei fix verortet und bleiben während des gesamten Ver-

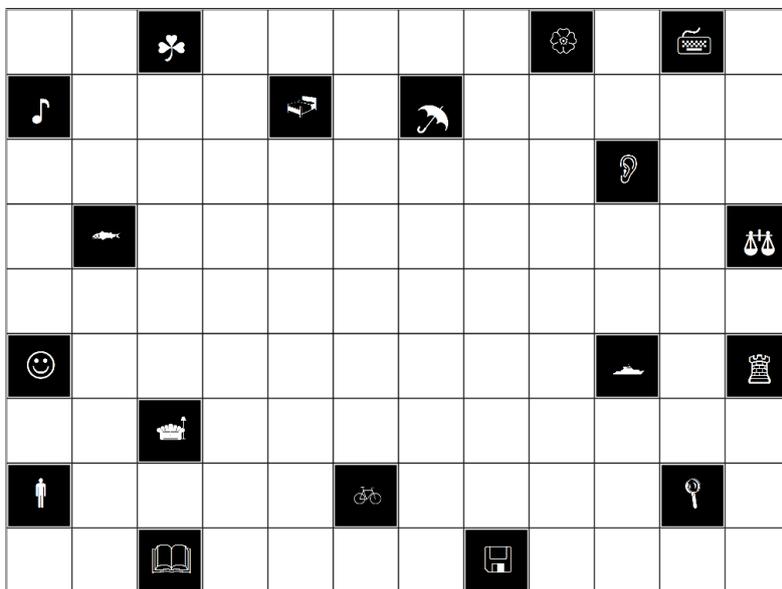


Abbildung 4: Beispiel einer Objktanordnung

suches in der selben Zelle innerhalb des Rasters. Mit Hilfe der angebotenen Interaktionsmöglichkeiten, kann die Versuchsperson jedoch das gesamte Gitter verschieben (bzw. seine Ansicht vergrößern und verkleinern) und so alle Bereiche explorieren, in denen sich Objekte befinden. In einer solchen Konfiguration von Objekten kann die genaue Position jedes Objektes durch die Zeilen- und Spalteninformation der Zelle, in der es sich befindet, spezifiziert werden. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Anordnungen folgt im Abschnitt 6.4, zusammen mit einer Erläuterung der bei ihrer Erstellung berücksichtigten Überlegungen.

Zu Beginn einer Suchaufgabe wird eine Darstellung des zuerst zu suchenden Objekts für die Dauer von 1 Sekunde eingeblendet. Anschließend wird die entsprechende Startansicht der Informationslandschaft angezeigt. Der Proband kann nun mit Hilfe des aktuell zu verwendenden Eingabegeräts die darin repräsentierte räumliche Anordnung der Objekte genauer untersuchen bzw. explorieren und sich so auf die Suche nach dem entsprechenden Objekt machen. Die Aufgabe besteht darin, die Navigation in der Software so durchzuführen, dass sich das gesuchte Objekt in der Bildschirmmitte des angezeigten Ausschnitts aus der Informationslandschaft befindet. Hat der Proband den Ort des gesuchten Objekts gefunden und das Objekt in die Bildschirmmitte gebracht, so wird es von der Versuchssoftware als gefunden registriert. Um diese Aufgabe nicht allzu schwierig zu gestalten, wird ein Objekt schon als gefunden erkannt, wenn es sich innerhalb eines bestimmten Toleranzbereiches um den Bildschirmmittelpunkt befindet und außerdem seine Identität sichtbar ist, unter Berücksichtigung des semantischen Zooms (siehe hierzu 6.2.2). Anschließend kehrt das Interface wieder zum Startpunkt zurück und das nächste zu suchende Objekt wird angezeigt. In Abschnitt 6.2.3 sind die genauen Interaktionsmöglichkeiten näher

beschrieben, die den Versuchspersonen mit den beiden Eingabegeräten und unter Berücksichtigung der weiteren experimentellen Bedingungen PAN und ZUI, zur Verfügung standen.

Um im Folgenden über Begrifflichkeiten für die einzelnen Vorgänge innerhalb der Suchaufgabe zu verfügen und Ambiguitäten zu vermeiden, werden an dieser Stelle zunächst zwei Begriffe festgelegt. Die einmalige Suche nach einem bestimmten Objekt wird in der Folge als *Trial* bezeichnet. Ein *Block* ergibt sich dann daraus, dass in dieser Weise für jedes der zu suchenden Objekte ein Trial durchgeführt wird.

Innerhalb eines Blocks wird also jedes der Suchobjekte jeweils einmal gefunden, ehe ein neuer Block gestartet wird. Die Suche nach den einzelnen Objekten wird folglich durch die Durchführung mehrerer Blocks wiederholt, so dass die Versuchspersonen im Laufe der Bearbeitung eine möglichst effiziente Navigation zu den gesuchten Objekten erlernen können. Das Aktivitätsdiagramm aus Abbildung 5 veranschaulicht den so beschriebenen Ablauf der Suchaufgabe. Um

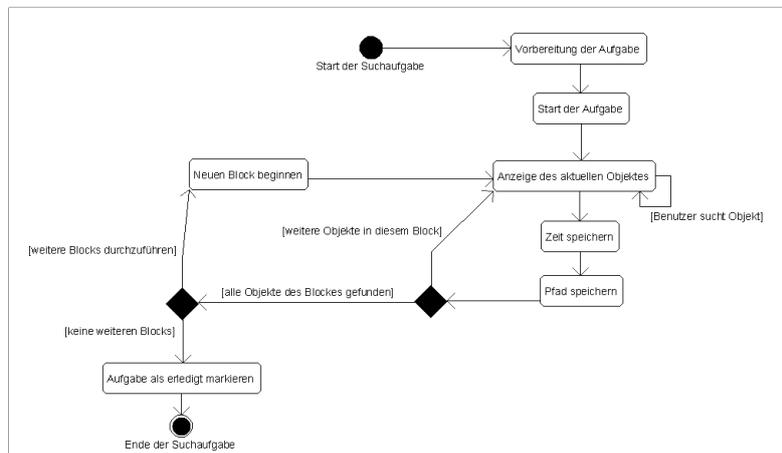


Abbildung 5: Aktivitätsdiagramm der Suchaufgabe

die Auf- und Wiederfindeleistung der Versuchspersonen anschließend auswerten zu können, werden bei der Bearbeitung der Aufgabe sowohl die Zeiten einzelner Suchvorgänge erfasst, als auch detaillierte Informationen zu den genauen Wegen bzw. Pfaden, über die die Versuchspersonen bei der Navigation zu den zu suchenden Objekten gelangen.

### 6.2.1 Overlay zur Anzeige des zu suchenden Objektes

In Pretests zeigte sich, dass eine einmalige Präsentation des zu suchenden Objektes nicht immer ausreicht, da mitunter zu beobachten war, dass die Probanden während des Suchvorganges vergaßen, welches der unterschiedlichen Objekte aktuell gesucht ist. Um dieses ausschließen zu können werden die Versuchsperson bei der Suchaufgabe dadurch unterstützt, dass während des gesamten Suchvorgangs eine halbtransparente Darstellung angezeigt ist, in der in einem grauen Rahmen das zu suchende Objekt eingblendet wird. Bei diesem *Overlay* handelt es sich um eine fest verankerte Anzeige, die unabhängig von der ausgeführten Navigation immer im Vordergrund mittig auf dem Bildschirm

zu finden ist. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für ein derartiges Overlay, bei dem der Buchstabe A das aktuell zu suchende Objekt ist. Neben der Funktion,

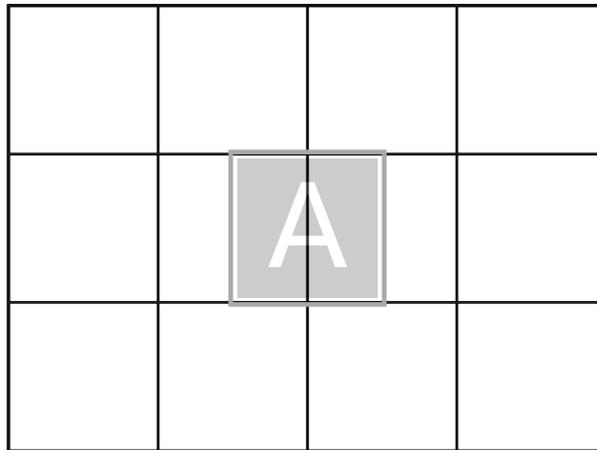


Abbildung 6: Beispiel eines Overlays, in dem das aktuell zu suchende Objekt dargestellt wird. Im Hintergrund ist ein Teil des Rasters zu sehen.

eine dauerhafte Anzeige des zu suchenden Objektes anzubieten, erhofft man sich, dass so zusätzlich das Verständnis für die Aufgabe erleichtert wird, da nun versucht werden muss, das im Overlay angezeigte Objekt mit dem Objekt in der Landschaft zur Deckung zu bringen, damit der Suchvorgang erfolgreich abgeschlossen wird. Um den Versuchspersonen ein Feedback zu geben, anhand dessen sie die erfolgreiche Bearbeitung der aktuellen Suche nachvollziehen können, wird in dem Moment, in dem die Software ein Objekt als gefunden registriert, der Rahmen des Overlays für eine kurze Zeit grün eingefärbt und zusätzlich ein Klang zur Bestätigung abgespielt.

### 6.2.2 Startpositionen

Die in der allgemeinen Beschreibung der Suchaufgabe bereits erwähnte Startposition, zu der nach jedem erfolgreichen Suchvorgang zurückgekehrt wird, hat innerhalb der ZUI-Bedingung einen anderen Charakter, als dieses für die PAN-Bedingung der Fall ist. Die Beschreibung der Unterschiede und die Gründe, die diese uneinheitliche Behandlung rechtfertigen, sind Teil des folgenden Abschnittes. Eine der Herausforderungen während der Versuchsplanung war es, die Suchaufgabe so zu gestalten, dass bei der ZUI-Bedingung eine rege Verwendung der Zoomoperation auch tatsächlich gewährleistet werden kann. Um dieses zu ermöglichen fiel die Entscheidung, dass in der Startansicht für die ZUI-Bedingung eine Ansicht des kompletten Rasters dargestellt ist, in dem die zu suchenden Objekte verortet sind. Jedoch sind in dieser Ansicht die Identitäten der einzelnen Objekte verschleiert, indem diese durch schwarze Quadrate dargestellt sind. Ein Beispiel einer solchen Startansicht für die ZUI-Bedingung ist in Abbildung 7 zu finden (Das Symbol eines Schlüssels ist hier im Overlay eingeblendet um anzudeuten, dass es sich dabei um das nächste zu suchende Objekt handelt. Siehe hierzu 6.2.1). Das Prinzip des semantischen Zooms wurde dazu genutzt, dass erst durch das Hereinzoomen ab einem bestimmten Zoomlevel die Objekte

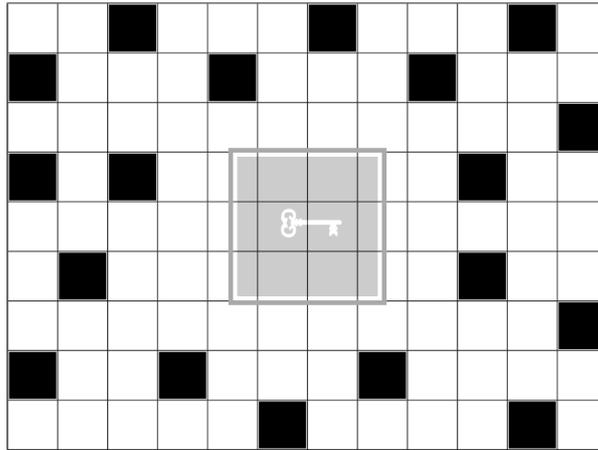


Abbildung 7: Beispiel einer Startansicht in der ZUI-Bedingung

sichtbar werden. Zooming ist also bei jedem einzelnen Suchvorgang nötig, da sonst die Objekte nicht erkannt werden können. Ohne die Rückkehr zu einer solchen Startansicht bestünde die Gefahr, dass die Suchaufgabe bei der ZUI-Bedingung so bearbeitet wird, dass lediglich Panningoperationen ausgeführt werden, denen nur ein einzelner initialer Zoomvorgang vorausgeht und somit im Grunde genommen kaum ein Unterschied zwischen den Bedingungen ZUI und PAN besteht. Für die Umsetzung der ZUI-Bedingung in der Suchaufgabe war so während der Versuchsplanung die Frage zu klären, ab welcher Anzeigegröße die einzelnen Objekte sichtbar werden. Es wurde entschieden diese Größe so zu wählen, dass immer eine Richtung benötigt wird um mit dem Zooming die Identitäten von Objekten sehen zu können. Dieses bedeutet insbesondere, dass ein Hereinzoomen mit der Mitte des Rasters als Bezugspunkt nicht ausreichen sollte, um schon erste Objekte erkennen zu können.

Um die Unterschiede zwischen der ZUI- und PAN-Bedingung nicht allzu groß werden zu lassen, erscheint es logisch, dass in Letzterer eine automatische Rückkehr zu einer Startansicht nach jedem Suchvorgang unumgänglich ist. Diese Startansicht muss jedoch anders gestaltet sein, da schließlich ein Zooming hier nicht vorgesehen ist. Innerhalb der PAN-Bedingung existiert nur ein einziger Skalierungsgrad der Informationslandschaft, dem also auch die Startansicht entsprechen muss. Als Startposition für die PAN-Bedingung wurde die Mitte des Rasters festgelegt. Dieses ist in Abbildung 8 verdeutlicht, in der auf der linken Seite die Position der Startansicht innerhalb des kompletten Rasters (hier mit den verorteten Objekten A-L) durch eine blaue Markierung angedeutet ist. Rechts ist die für die Versuchsperson tatsächlich sichtbare Ansicht dargestellt. Gestrichelte Linien deuten in der Abbildung zusätzlich den Zusammenhang an.

Selbstverständlich wird durch diese Ungleichbehandlung der Startpositionen innerhalb der ZUI-Bedingung ein besserer Überblick über die gesamte räumliche Konfiguration gewährt. Auch wenn die Identitäten einzelner Objekte im herausgezoomten Zustand nicht sichtbar sind, so erhält die Versuchsperson dennoch zusätzliche Informationen, die bei der PAN-Bedingung nicht verfügbar sind. Insbesondere bei der Auswertung der Behaltensleistung sind dadurch

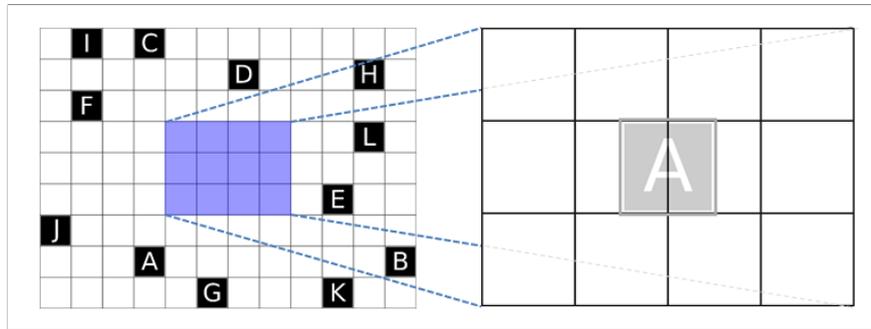


Abbildung 8: Beschreibung der Startansicht für die PAN-Bedingung

Unterschiede zu erwarten. Dieser Tatsache wird im experimentellen Design dadurch Rechnung getragen, dass die Bedingungen ZUI und PAN als *between-subjects* Faktor umgesetzt ist, während die Betrachtung der Unterschiede bei der Bedienung mit Hilfe der Maus und des Touchscreens als *within-subjects* Faktor realisiert ist. Nähere Informationen hierzu finden sich in Abschnitt 7.2

Neben der hier beschriebenen wichtigen Rolle, die die Rückkehr zu einer immer gleichen Position nach jedem Suchvorgang für die ZUI-Bedingung spielt, gewährleistet sie außerdem eine größtmögliche Vergleichbarkeit einzelner Suchvorgänge, wodurch eine anschließende Analyse erheblich vereinfacht wird.

### 6.2.3 Interaktion in der Suchaufgabe

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Bedienung der Versuchsssoftware im Rahmen der Suchaufgabe mit den beiden verschiedenen Eingabegeräten auszuführen ist. Zunächst wird hierbei die PAN-Bedingung betrachtet. Bei der PAN-Bedingung haben die Versuchspersonen lediglich die Möglichkeit den angezeigten Ausschnitt aus der Informationslandschaft zu verschieben. Unter Verwendung der Maus geschieht das Panning dadurch, dass die linke Maustaste gedrückt und gehalten wird und der Benutzer im Anschluss die Maus bewegt. Das Interface verhält sich dabei so, dass die Position, an der sich der Mauszeiger im Moment des Tastendrucks auf der Informationslandschaft befand, beibehalten wird. Anders gesagt, wird der Mauszeiger bei gedrückter Taste bewegt, so bewegt sich die Informationslandschaft in gleicher Weise mit. Wird der Touchscreen als Eingabegerät verwendet, verhält sich die Interaktion analog. Die Versuchsperson legt zunächst einen oder mehrere Finger auf die Bildschirmoberfläche auf und führt dann eine Bewegung aus, bei der die Finger über den Bildschirm fahren. Die Informationslandschaft bewegt sich hierbei in der gleichen Weise mit, wie es bei der Mausinteraktion der Fall ist. Der Unterschied zwischen der Verwendung der Maus und der des Touchscreens ist vor Allem daran festzumachen, dass es sich bei der Touchinteraktion um eine direkte Manipulation handelt, während die Maus nur einen indirekten Zugang zur Navigation zulässt. Außerdem ist Mausinteraktion im Allgemeinen dadurch gekennzeichnet, dass sie *relativ* ist. Dies bedeutet, dass eine Bewegung der Maus, insbesondere was die zurückgelegte Entfernung betrifft, nicht exakt der Bewegung des Mauszeigers auf dem Computerbildschirm entspricht. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei Bedienung mit Hilfe eines Touchscreens

um eine *absolute* Interaktion, bei der sich die ausgeführte Geste genau in der Reaktion des Interfaces widerspiegelt. Zur Wahrung der externen Validität orientiert sich die hier angesprochene Umsetzung der Panningoperationen in der Studie an der Art, in der sie in herkömmlichen Computerprogrammen umgesetzt ist und daher einigen der Versuchspersonen bekannt sein dürfte. Das Verschieben von Dokumenten im Adobe Reader<sup>7</sup>, welcher oftmals zum Lesen von pdf-Dokumenten verwendet wird, sowie das Bewegen der Landkarten auf der Internetseite Google Maps<sup>8</sup> oder in der Software Google Earth<sup>9</sup> seien hier nur als Beispiele für Panningoperationen genannt. Als populärer Vertreter der Touchinteraktion seien außerdem die beiden Produkte der Firma Apple Inc. iPhone<sup>10</sup> und iPad<sup>11</sup> erwähnt, bei deren Bedienung das Panning in der gleichen Weise ausgeführt wird, wie in der hier vorgestellten Studie.

Im Allgemeinen ist festzuhalten, dass das Panning der Interaktion mit der realen Welt nachempfunden ist. Die verwendete Metapher kann man im Rahmen der Touchinteraktion so verstehen, als hätte der Benutzer den Finger auf eine verschiebbare Oberfläche aufgelegt und würde diese nun bewegen, um so andere Bereiche der Oberfläche in sein Blickfeld zu rücken. Hierbei handelt es sich also um eine Interaktionsgeste, der ein genaues Pendant in der realen Welt zugeordnet werden kann. Im Falle der Mausinteraktion ist diese Metapher zwar auch zu erkennen, allerdings wird vom Benutzer eine Abstraktion verlangt, die am Touchscreen aufgrund des absoluten Charakters der Interaktion wegfällt. Diese Feststellung stellt einen möglichen Erklärungsansatz dar, für die in der vorgestellten Studie erwarteten Unterschiede.

In der ZUI-Bedingung wird das Panning zwar weiterhin erlaubt und spielt auch hier eine wichtige Rolle, jedoch werden die Interaktionsmöglichkeiten um die Funktionalität erweitert, die Bildschirmanzeige zu vergrößern und zu verkleinern. Wird die Maus als Eingabegerät verwendet, so wird das Mausrad verwendet um dem System mitzuteilen, dass eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung des angezeigten Ausschnittes gewünscht ist. Wird das Mousrad nach oben gedreht, so wird hereingezoomt, während eine Bewegung des Mousrades nach unten ein Herauszoomen zur Folge hat. Die aktuelle Position des Mauszeigers wird dabei von der Software als Mittelpunkt der Zoomoperation angesehen, so dass jedes Zooming eine bestimmte Richtung hat. Möchte der Benutzer also eine ganz bestimmten Region der Informationslandschaft vergrößern, so sollte er den Mauszeiger in den Mittelpunkt des gewünschten Bereiches bewegen, bevor oder zumindest während ein Zooming ausgeführt wird. Die Möglichkeit mit Hilfe des Touchscreens eine Zoomoperation auszuführen unterscheidet sich stark von der entsprechenden Mausinteraktion. Hierbei ist es nötig, dass mindestens zwei Finger auf die Bildschirmoberfläche aufgelegt werden. Bewegt der Benutzer diese anschließend aufeinander zu, so wird herausgezoomt, bewegt er sie von einander weg, ist ein Hereinzoomen die Folge. Auch unter Verwendung des Touchscreens hat das Zooming eine bestimmte Richtung. Es wird so ausgeführt, dass die Positionen, die die beiden aufgelegten Finger zu Beginn der Zoomgeste innerhalb der Informationslandschaft eingenommen haben, beibehalten werden. Anders formuliert wird die Informationslandschaft in der Weise skaliert,

---

<sup>7</sup>[http://de.wikipedia.org/wiki/Adobe\\_Reader](http://de.wikipedia.org/wiki/Adobe_Reader)

<sup>8</sup>[http://de.wikipedia.org/wiki/Google\\_Maps](http://de.wikipedia.org/wiki/Google_Maps)

<sup>9</sup>[http://de.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](http://de.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

<sup>10</sup><http://de.wikipedia.org/wiki/Iphone>

<sup>11</sup><http://de.wikipedia.org/wiki/IPad>

dass den Positionsänderungen der Finger zwar Rechnung getragen wird, die Position innerhalb der Landschaft, die sich unter dem Finger befindet aber gleich bleibt. Man kann sich dieses so vorstellen, dass durch Verwendung dieser Implementation des Zoomings dem Benutzer suggeriert wird, dass es sich bei der Informationslandschaft um eine elastische Oberfläche handelt, die er auseinander ziehen oder zusammen schieben kann.

Für das Zooming findet sich nach Ansicht des Autors kein direkt übersetzbares Äquivalent in der realen Welt. Wir vergrößern und verkleinern Objekte die wir betrachten, in der realen Welt im Allgemeinen dadurch, dass wir den Abstand zwischen unseren Augen und dem Objekt vergrößern oder verkleinern. Die Darstellung des Objektes jedoch an Ort und Stelle zu verändern, ohne den erwähnten Abstand zu verändern ist für uns in der realen Welt nur schwer vorstellbar und folglich auch bei der Verwendung eines ZUIs ungewohnt. Auch die Metapher einer elastischen Oberfläche, die überhaupt erst von dem Benutzer auch in dieser Weise verstanden werden müsste, ist künstlich. Wir kennen keine in dieser Art elastischen Oberflächen, bei denen unterschiedliche Repräsentationen existieren, die sich offenbaren, in Abhängigkeit davon wie nah wir dem Objekt sind, wie es andererseits in einem ZUI durch eine Spezifizierung des Zoomlevels der Fall sein kann.

An dieser Stelle sei des Weiteren erwähnt, dass die gesamte Informationslandschaft in der Versuchssoftware wesentlich größer ist, als das Gitter, um die Möglichkeit zuzulassen, dass bei der Navigation die Grenzen des Rasters überschritten werden können und dieses nicht selbst bereits als Begrenzung fungiert. Eine solche Einschränkung könnte von den Versuchspersonen als unnatürlich empfunden werden und so den Navigationsfluss störend beeinträchtigen. Dieses sollte jedoch nicht dazu führen, dass die angezeigte Objektkonfiguration vollständig aus dem Bildschirminhalt verschwinden kann, weshalb zur Sicherheit eine absolute Begrenzung der Informationslandschaft eingeführt wurde, indem das Raster in der Landschaft so verortet ist, dass es nur einen (zentrierten) Anteil der gesamten verfügbaren Fläche einnimmt.

#### **6.2.4 Reihenfolge der Suchobjekte**

In der Versuchsvorbereitung war unter anderem die Frage zu klären, in welcher Reihenfolge die einzelnen Objekte von den Versuchspersonen gefunden werden sollten. Hierfür bestehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Möglichkeiten. Die Reihenfolge könnte nach jedem Durchgang, in dem jedes Objekt einmal zu suchen war, randomisiert werden. Hieraus ergäbe sich der Vorteil, dass ein Erlernen der Reihenfolge der zu suchenden Objekte verhindert würde. Jedoch können so Wiederholungen der Suche nach einem bestimmten Objekt zeitlich näher zusammenfallen, als die Wiederholungen anderer Suchvorgänge. Um immer einen maximal möglichen, zeitlichen Abstand zu gewährleisten, fiel deshalb die Entscheidung eine fixe Reihenfolge der zu suchenden Objekte vorzugeben und diese bei allen Versuchspersonen einzuhalten. Außerdem können mögliche Störfaktoren, welche sich aus unterschiedlichen Abfolgen der zu suchenden Objekte hätten ergeben können, so von vornherein ausgeschlossen und diesbezüglich eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse der verschiedenen Versuchspersonen garantiert werden.

Ein weiterer Vorteil, der sich durch die Festlegung einer bestimmten Reihenfolge der zu suchenden Objekte ergibt, ist die Tatsache, dass so explizit

dafür Sorge getragen werden kann, die Wahrscheinlichkeit zu minimieren, dass das aktuell zu suchende Objekt während der direkt vorangegangenen Navigation zu einem anderen Objekt zu sehen war. Die sich so ergebende zeitliche Nähe zwischen dem Sehen eines Objektes und der Suche danach, könnte die Navigationsleistung positiv beeinflussen, zum Beispiel da in einem solchen Fall die Wahrscheinlichkeit erhöht würde, dass im visuell-räumlichen Zeichenblock (siehe Abschnitt 3.1) noch Inhalte existieren, die genaue Informationen über den Ort des zu suchenden Objekts beinhalten. Die genaue Beschaffenheit der Navigationsvorgänge ist jedoch selbstverständlich nicht vorhersehbar, weshalb eine derartige Situation jederzeit entstehen kann. Es scheint aber dennoch ratsam, die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens soweit wie möglich gering zu halten. Es wird versucht dieser Anforderung im vorgestellten Experiment dadurch gerecht zu werden, dass die zu suchenden Objekte gleichmäßig auf die Quadranten der gesamten Anordnung verteilt sind und ihre Reihenfolge innerhalb der Suchaufgabe so gestaltet ist, dass zwei aufeinanderfolgende Suchvorgänge sich immer auf Objekte aus unterschiedlichen Quadranten beziehen.

### 6.2.5 Charakteristika der Suchvorgänge

Bei der Navigation, die Versuchspersonen in der Suchaufgabe offenbaren, sind grundsätzlich zwei Situationen zu unterscheiden. Zunächst ist es denkbar, dass der Proband bereits eine Vorstellung davon entwickelt hat, an welcher Stelle sich das zu aktuell zu suchende Objekt befindet. Diese kann sowohl in Form von explizitem, als auch implizitem Wissen repräsentiert sein. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass sich die Versuchsperson bislang keine Information über den Ort des Objektes angeeignet hat (sei es, da das gesuchte Objekt bisher in der Suchaufgabe noch nicht auf dem Bildschirm zu sehen war oder da der Proband, nachdem er das Objekt schon einmal gesehen hat, vergessen hat, an welcher Stelle es sich befindet) und folglich erst eine explorative Suche nach dem Objekt zum Erfolg führt.

Insgesamt kann erwartet werden, dass eine Navigation, bei der Wissen über die Position des zu suchenden Objektes existiert, sich dadurch auszeichnet, dass sich in dem erfassten Suchpfad des Trials ein relativ direkter Weg vom Startpunkt zu dem gesuchten Objekt widerspiegelt. Ebenso wird eine derartige Navigation im Vergleich zu Suchvorgängen, in denen das Objekt erst gesucht werden muss, sich durch eine verhältnismäßig betrachtet geringe Suchzeit auszeichnen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass in der vorgestellten Studie davon ausgegangen wird, dass solche Suchvorgänge, bei denen erst eine Exploration zum Erfolg führt, sich bezüglich der darin gemessenen Suchzeiten und Suchpfade in besonders starkem Maße von den übrigen Trials (in denen die Objekte also direkt gefunden wurden) unterscheiden können. Die entsprechenden Messungen könnten bei der Betrachtung der Suchvorgänge folglich bedeutsame *Ausreißer* darstellen, deren Existenz in der statistischen Auswertung berücksichtigt werden muss, sowie auch bei der Operationalisierung der abhängigen Variable Auf- und Wiederfindeleistung.

Hierbei hängen die genauen Suchzeiten und Suchpfade die entstehen, unter Anderem auch vom Zufall ab. Hat die Versuchsperson tatsächlich kein explizites Wissen, welches ihr bei der Suche helfen könnte, so wird sie beginnen die Informationslandschaft zu explorieren. Dabei kann sie einfach Glück haben und eine Navigation ausführen, die trotz des mangelnden Wissens relativ schnell zum

Erfolg führt. Andererseits kann aber genauso die gegenteilige Situation bestehen und folglich ein sehr langer Suchpfad und eine hohe Suchzeit entstehen. Besteht jedoch bereits implizites Wissen über die aktuell benötigte Navigation, so könnte sich dieses dadurch äußern, dass zwar eine Exploration stattfindet, diese jedoch effizienter ist (also schneller und nicht so große Umwege enthaltend), als wenn die Versuchsperson tatsächlich keinerlei Wissen hat, welches sie beim aktuellen Suchvorgang unterstützt. Derartiges implizites Wissen könnte zum Beispiel in Form einer unbewussten „Erinnerung“ an die zuvor ausgeführten motorischen Aktionen existieren, die in vorangegangenen Trials die erfolgreiche Suche nach dem aktuell zu suchenden Objekt ermöglichten. Ein relativer Vergleich einzelner Suchvorgänge ist also im Sinne der hier vorgestellten Studie durchaus sinnvoll, auch wenn die einzelnen Messungen eine Zufallskomponente beinhalten.

### 6.2.6 Datenerfassung

Um die Interaktion die die Versuchspersonen bei einzelnen Suchvorgängen in einer anschließenden Analyse so exakt wie möglich nachvollziehen zu können, sollen hierbei sowohl die einzelnen Zeiten der Suchvorgänge erfasst werden, als auch detaillierte Informationen über die Navigation, die die Versuchspersonen dabei ausführen, im Folgenden *Suchpfad* genannt. Die Erfassung der Suchzeiten ist dabei trivial und ist in der Versuchssoftware so implementiert, dass die Zeit von Beginn der Interaktion, die die Versuchsperson während der Suche nach einem Objekt ausführt, bis zu dem Zeitpunkt gemessen wird, an dem das Objekt als gefunden erkannt wird. Bei der Messung der Suchpfade geht es darum, die Veränderungen, die sich bezüglich der X-, Y- und in der ZUI-Bedingung auch Z-Koordinaten während der Suche ergeben, exakt zu erfassen. Die Versuchssoftware wurde dabei so angelegt, dass die Suchpfade mit einer Auflösung von 100 Hz gemessen und im Anschluss an jeden Suchvorgang gespeichert werden. Sie sind in Form von Listen repräsentiert, in denen das Zeitintervall zwischen zwei Messungen 10 ms entspricht. Die einzelnen Einträge bestehen dabei aus einem Tripel aus X- und Y-Position des Bildschirmmittelpunktes, sowie der aktuellen Zoomtiefe, dargestellt als Z-Koordinate. Als Bezugssystem für die Erfassung der Koordinaten wurde das Koordinatensystem der Informationslandschaft<sup>12</sup> gewählt. Dieses ist nötig, da bei einer Verwendung des Bildschirmkoordinatensystems als Bezugsgröße, Entfernungen zwischen zwei Punkten in dem Raster eine Abhängigkeit von der aktuellen Zoomstufe hätten und so nicht der tatsächlich zurückgelegte Navigationspfad innerhalb der Objektkonfiguration erfasst werden könnte. Des Weiteren sei an dieser Stelle angemerkt, dass es grundsätzlich ausgereicht hätte, lediglich die Suchpfade zu erfassen, da in ihnen, aufgrund ihrer Auflösung von 100 Hz, die Suchzeit ja ebenfalls repräsentiert ist. Um jedoch nachträglich überprüfen zu können, ob diese Erfassung auch in allen Fällen wie gewünscht erfolgt ist, wurde die Suchzeit unter Verwendung spezialisierter Klassen, mit denen insbesondere eine exakte, extrem hochauflösende Zeitmessung möglich ist, gesondert gemessen. An dieser Stelle sei vorweggenommen, dass während der Experimente die Messung der Suchpfade wie erwartet ablief und folglich die Speicherung der Suchpfade, gefolgt von einer anschließenden Auswertung, alleine ausgereicht hätte um auch die

<sup>12</sup>Eine eingehende Betrachtung, welche Bedeutung die Verwendung unterschiedlicher Koordinatensysteme in einem ZUI hat, ist in der Bachelorarbeit *A Framework for an Infinitely Zoomable Information Landscape* von Andreas Engl zu finden [Eng08].

Suchzeiten zu erhalten.

### 6.2.7 Operationalisierung der Auf- und Wiederfindeleistung

Verfügt eine Versuchsperson über implizites oder explizites Wissen über den Ort an dem sich das aktuell zu suchende Objekt befindet, so ist davon auszugehen, dass sie versuchen wird, den angezeigten Bildschirmausschnitt auf direktem Wege so anzupassen, dass sich das Objekt in der Bildschirmmitte befindet. Entscheidend für die Beantwortung der Frage, ob die Versuchsperson ein Objekt aufgrund von erlangtem Wissen findet, ist also die Länge des Weges, den der Proband mit Hilfe des Pannings bzw. Zoomings vom Startpunkt bis zum Erreichen des Zieles wählt, sowie die Zeit, die er dafür benötigt. Es entstehen in dem vorgestellten Versuch bei jedem Trial also grundsätzlich zwei unterschiedliche Messungen, mit Hilfe derer die Auf- und Wiederfindeleistung, die Versuchspersonen in der Suchaufgabe vollbringen, evaluiert werden kann: die Suchzeit und die gesamte Länge des Suchpfads, die sich aus der detaillierten Messung der Navigation berechnen lässt. Zu Beginn ist also zunächst die Frage zu klären, welches der beiden Maße für die Operationalisierung verwendet werden soll. Die Entscheidung fiel hierbei darauf die Pfadlänge als Leistungsmaß zu verwenden. Dieses ist dadurch begründet, dass die Pfadlänge gegenüber möglichen Strategiewechseln der Versuchspersonen wesentlich robuster ist und sich Lerneffekte, die nur aus der Gewöhnung an die Eingabegeräte resultieren, in ihr nicht so stark niederschlagen, wie in der Suchzeit. Man könnte sich beispielsweise vorstellen, dass Probanden zu Beginn der Bearbeitung der Suchaufgabe mit dem Touchscreen nur eine Hand benutzen, später jedoch auch einen Zwei-Hand-Modus wechseln und dadurch eine wesentlich schneller Navigation ermöglicht wird. Dies würde vor Allem die gemessenen Suchzeiten beeinträchtigen. Ein weiterer Grund für die Verwendung der Pfadlänge liegt darin, dass zu erwarten ist, dass die entsprechenden Messungen (und insbesondere die Minima) sich zwischen den einzelnen Bedingungen weniger stark unterscheiden, als dieses bei der Suchzeit der Fall wäre. Dieses ist für die Verwendung des Performanzmaßes, welches im Folgenden definiert wird, von Vorteil. Außerdem fiel schon während der Pretests auf, dass die Interaktion über den Touchscreen nicht immer reibungslos funktionierte und der verwendete Multitouchtisch Microsoft Surface die Gesten der Benutzer aufgrund mangelnden Drucks der Fingerspitzen nicht immer sofort erkannte. Dadurch verlängert sich die automatisch die Suchzeit während jedoch die Pfadlänge unbeeinträchtigt bleibt, welches einen zusätzlichen Grund darstellt, warum die Verwendung Letzterer sich als robuster erweisen dürfte.

Um die Leistungen, die die Versuchspersonen innerhalb der Suchaufgabe erbringen, vergleichen zu können, wird an dieser Stelle allgemein ein Performanzmaß eingeführt, mit Hilfe dessen sich die Leistung jedes einzelnen Trials bewerten lässt. Besonderes Augenmerk liegt bei den hier vorgestellten Überlegungen darauf, dass kein direkter Vergleich zwischen den einzelnen Messungen unterschiedlicher Versuchspersonen vorgenommen werden soll. Dieses ist notwendig, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Versuchspersonen die Aufgabe in gleicher Weise bearbeiten und somit interindividuelle Unterschiede existieren könnten, die keinen Einfluss auf die Bewertung der Leistungen einzelner Versuchspersonen haben sollten. Deshalb wurden relative Vergleiche der Messungen einzelner Probanden als Kriterien für das Performanzmaß verwendet. Des Weiteren existieren intraindividuelle Unterschiede, die ebenfalls bei der

Operationalisierung berücksichtigt werden müssen. Diese rühren daher, dass die Navigation zu den verschiedenen während einer Suchaufgabe zu findenden Objekten sich in starkem Maße unterscheiden kann, schon alleine aufgrund der unterschiedlichen Entfernungen der Objekte vom Startpunkt. Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass ein Performanzmaß nur dann valide ist, wenn sich darin ausschließlich relative Vergleiche der Leistungen einzelner Versuchspersonen im Bezug auf die in den verschiedenen Blocks gemessenen Suchvorgänge nach einzelnen Objekten widerspiegeln.

Unter Einhaltung der erwähnten Rahmenbedingungen, sind mehrere Definitionen eines Performanzmaßes denkbar. Vergleiche zwischen der Leistung eines einzelnen Trials und dem arithmetischen Mittel der von der selben Versuchsperson in den einzelnen Blocks der Versuchsdurchführung erbrachten Leistungen im Bezug auf das zu gleiche zu suchende Objekt, stellen eine solche Operationalisierung dar. Vergleiche mit einem solche Durchschnitt zeichnen sich unter Anderem dadurch aus, dass sie gegenüber Ausreißern sehr anfällig sind, da ein besonders extremer Wert sich stark auf das errechnete arithmetische Mittel auswirken kann. Wie in Abschnitt 6.2.5 beschrieben wurde, sind in der Suchaufgabe aber gerade solche Besonderheiten in den einzelnen Messungen zu erwarten, weshalb von einer Verwendung des Vergleiches zwischen der Messung eines Trials mit dem durchschnittlichen Wert der dem entsprechenden Trials abgesehen wurde. Eine andere Möglichkeit bestünde darin, einen Vergleich mit dem Median der entsprechenden Messwerte vorzunehmen, was eine Operationalisierung darstellt, die gegenüber Ausreißern sehr robust ist. Es könnte sich jedoch bei der Leistung, die sich im Median der Messreihe einer Versuchsperson bezüglich eines einzelnen Objektes widerspiegelt, sowohl um eine Messung aus einem Block handeln, in dem der Proband das Objekt ohne große Umwege und schnell gefunden hat, als auch um das Ergebnis einer explorativen Suche, was bei Verwendung des Medians schließlich davon abhängen würde wie oft eine solche Exploration für den jeweiligen Probanden nötig gewesen ist. Somit verfügt der Median in der vorgestellten Aufgabe über keine besondere Aussagekraft, weshalb auch ein Vergleich mit ihm als Performanzmaß nicht angemessen ist und somit verworfen wurde. Des Weiteren ist es denkbar, einen Vergleich einzelner Trials, mit dem Maximum oder Minimum der Trials der gleichen Versuchsperson für das selbe Objekt vorzunehmen. Das Maximum würde hierbei die schlechteste Leistung darstellen, die eine Versuchsperson bei der Suche nach einem bestimmten Objekt erbracht hat. Wesentlich sinnvoller erscheint also ein Minimumvergleich. Das Minimum ist dadurch charakterisiert, dass sich darin die beste Leistung widerspiegelt, die ein Proband bezüglich der Suche nach einem bestimmten Objektes während des Experimentes offenbart hat. Betrachtet man nun das Verhältnis zwischen dem Ergebnis eines einzelnen Suchvorgangs und dem Minimum der Werte, die bei der Navigation der Versuchsperson bezüglich des gleichen Objektes erfasst wurden, so erhält man ein Maß dafür, in welchem Verhältnis ein einzelner Trial zu dem für den Probanden besten Resultat steht. Somit können Aussagen über die Leistung von Versuchspersonen in einzelnen Trials gemacht werden, in der Form „Das Ergebnis, welches von der Versuchsperson im betrachteten Trial erbracht wurde, ist um den Faktor X so schlecht wie das im Rahmen des Versuches bestmögliche Resultat des Probanden für das gleiche zu suchende Objekt“. Je kleiner der Wert des Maßes ist, desto besser also die entsprechende Leistung. Bei dem hier beschriebenen Performanzmaß für einen einzelnen Trial, handelt es sich um eine variablenvalide Operationalisierung der

in Hypothese H1 angesprochenen Auf- und Wiederfindeleistung.

Es ist an dieser Stelle jedoch anzumerken, dass es sich bei dem betrachteten Minimum lediglich um die beste Leistung bezüglich eines Objektes handelt, die von der Versuchsperson innerhalb der Anzahl der Blocks, die im Experiment durchgeführt wurden, erbracht werden konnte und nicht um eine globale, absolut bestmögliche Leistung des Probanden. Eine entscheidende Herausforderung beim Versuchsentwurf lag deshalb darin in Pretests eine geeignete Anzahl durchzuführender Blocks zu ermitteln, so dass innerhalb dieser auch tatsächlich mindestens eine erfolgreiche Navigation zu jedem der Objekte stattfindet. Außerdem könnte es ein Problem darstellen, wenn sich die hierbei verwendeten Minima in Abhängigkeit von den unabhängigen Variablen signifikant unterscheiden würden, was ein Argument dafür darstellt, die Pfadlänge anstatt der Suchzeit zur Berechnung des Performanzmaßes zu verwenden. Um der hier angesprochenen Problematik des so definierten Maßes Rechnung zu tragen, werden in der Analyse des Experimentes die entstandenen Messungen im Hinblick auf die möglichen Probleme betrachtet.

Um im Anschluss über gemeinsame Begriffe für das Performanzmaß zu verfügen, erfolgt an dieser Stelle eine genaue Definition seiner einzelnen Ausprägungen. Wie vorangehend beschrieben, kann mit Hilfe des hier beschriebenen Performanzmaßes die **Auf-** und **Wiederfindeleistung** bezüglich jedes einzelnen Trials bestimmt werden. Es hängt also vom Block  $(b)$ , sowie von dem jeweiligen Objekt  $(o)$  und wird in der Folge als  **$AWL(o, b)$**  bezeichnet. Neben dieser sehr detaillierten, hochauflösenden Betrachtung der Auf- und Wiederfindeleistung existieren noch zwei weitere Repräsentationen. Um die relativ hohen Varianzen abzumildern, die unter Verwendung des Performanzmaßes bei der Betrachtung einzelner Trials auftreten könnten, fiel des Weiteren die Entscheidung in der Auswertung des Versuches insbesondere auch die durchschnittlichen Werte eines einzelnen Blocks  $(b)$  zur statistischen Analyse hinzuzuziehen, definiert als  **$BlockAWL(b)$** . Um zusätzlich für die statistische Auswertung des Versuches über ein einzelnes Maß für die gesamte Leistung einer Versuchsperson innerhalb der Durchführung einer Suchaufgabe zu verfügen, ist außerdem der Durchschnitt der Auf- und Wiederfindeleistungen aller Blocks, die eine Versuchsperson absolviert hat, als  **$GesamtAWL$**  definiert. Zur Verdeutlichung sind an dieser Stelle die einzelnen Ausprägungen des Performanzmaßes im Einzelnen definiert:

$PL(o, b) \hat{=}$  Pfadlänge der Navigation zu Objekt  $o$  in Block  $b$

$MinPL(o) \hat{=}$  Minimale Pfadlänge der Versuchsperson für Objekt  $o$

$$AWL(o, b) = \frac{PL(o, b)}{MinPL(o)}$$

$$BlockAWL(b) = \frac{\sum_1^n AWL(n, b)}{n},$$

wobei  $n \hat{=}$  Anzahl der zu suchenden Objekte

$$GesamtAWL = \frac{\sum_1^m BlockAWL(m)}{m},$$

wobei  $m \hat{=}$  Anzahl der durchgeführten Blocks

Um Fehlinterpretationen auszuschließen sei an dieser Stelle noch einmal gesondert darauf hingewiesen, dass in dem hier beschriebenen Performanzmaß ein kleiner Wert für eine hohe Auf- und Wiederfindeleistung steht. Ein Wert von 1 stellt hierbei die untere Schranke und somit die bestmögliche Leistung dar. Nach oben ist keine Beschränkung gegeben.

### 6.3 Rekonstruktionsaufgabe

Zur Untersuchung der in Hypothese H2 verwendeten Behaltensleistung wurde eine eigenständige Aufgabe entworfen, die Rekonstruktionsaufgabe. In dieser wird von der Versuchsperson verlangt, die Stellen innerhalb des Rasters anzugeben, an denen sich *ihrer Meinung nach* die in der zuvor bearbeiteten Suchaufgabe zu suchenden Objekte befanden. Die Aufgabe bezieht sich also immer auf die selbe Objektanordnung wie die vorangegangene Suchaufgabe. Den Probanden wird

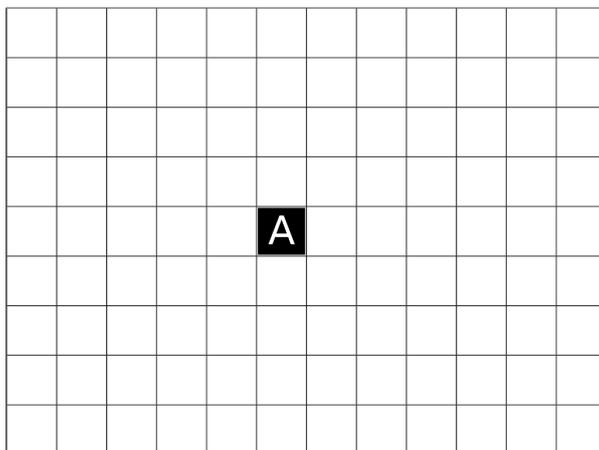


Abbildung 9: Beispielhafte Startansicht einer Rekonstruktionsaufgabe

zu Beginn eine komplette Ansicht eines Rasters auf dem Bildschirm angezeigt, in dem in der Mitte lediglich eines der in der vorangegangenen Suchaufgabe zu suchenden Objekte dargestellt ist. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel für eine solche Ansicht, bei der das A das Objekt ist, für welches die Versuchsperson die Position in der zuvor explorierten Anordnung angeben soll. Der Proband kann nun das angezeigte Objekt innerhalb des Rasters zellenweise verschieben. Ist er der Ansicht, dass er das Objekt so in die Zelle des Gitters gebracht hat, an der es sich während der Suchaufgabe befand, kann er dieses dem System mitteilen. Daraufhin wird ein Dialog eingeblendet, der vom Benutzer die Bestätigung verlangt, dass er die aktuelle Position auch tatsächlich beibehalten möchte, um eine versehentliche Fehlbedienung ausschließen zu können. Hat die Versuchsperson die Entscheidung bestätigt, wird das Objekt ausgeblendet und ein nächstes der zuvor zu suchenden Objekte wird in der Mitte angezeigt. Dieses geschieht so lange, bis für jedes der Suchobjekte ein Zuordnung zu einer Zelle des Rasters angegeben wurde. Die Versuchspersonen erhalten keinerlei Feedback über die Korrektheit ihrer Entscheidung, da dieses nachfolgende Entscheidungen beeinflussen oder gar vereinfachen könnte. Das Aktivitätsdiagramm aus Abbildung 10 beschreibt allgemein den so entstehenden

Ablauf einer Rekonstruktionsaufgabe. Die Tatsache, dass die Objekte nach der

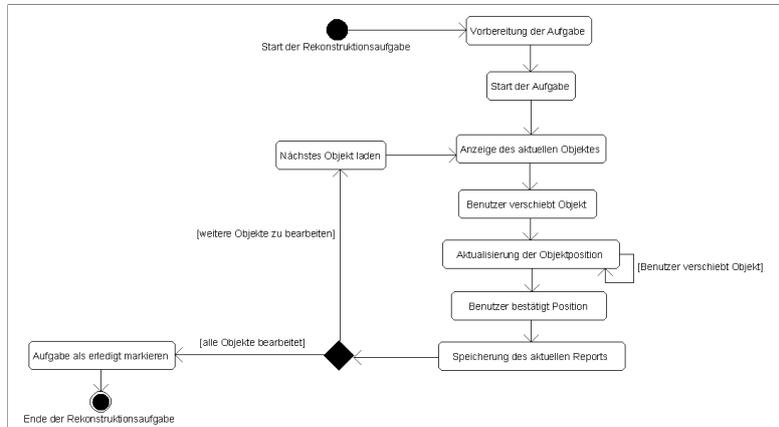


Abbildung 10: Aktivitätsdiagramm der Rekonstruktionsaufgabe

Bestätigung der aktuellen Position durch den Probanden anschließend wieder ausgeblendet werden, ist deshalb notwendig, da so verhindert wird, dass den Versuchspersonen anhand der zuvor getroffenen Entscheidungen (auch wenn diese selbstverständlich falsch sein könnten) eine Hilfestellung ermöglicht wird, die bei der Bestimmung der Positionen der nachfolgenden Objekte von Nutzen sein könnte. So wird gewährleistet, dass für jedes einzelne Objekt eine explizite eigenständige Entscheidung über seine Verortung im Raster gefällt wird.

### 6.3.1 Interaktion in der Rekonstruktionsaufgabe

Wie in Abschnitt 5.2 bereits angesprochen, lag beim Entwurf dieser Aufgabe ein besonderes Augenmerk darauf, dass implizites Wissen, welches die Versuchsperson sich eventuell vorher angeeignet haben könnte, die hier gemessene Behaltensleistung nach Möglichkeit nicht beeinflussen sollte. Insbesondere derartiges implizites Wissen, welches in der Suchaufgabe durch die Verwendung des Eingabegerätes entstanden sein könnte, kann im Rahmen dieser Studie kontrolliert bzw. ausgeschlossen werden, um in einer anschließenden Analyse sichergehen zu können, dass bei Bearbeitung der Rekonstruktionsaufgabe tatsächlich rein explizites Wissen gemessen wird. Aufgrund dieser Überlegungen fiel die Entscheidung, die Rekonstruktionsaufgabe mit einem dritten Eingabegerät von den Versuchspersonen bearbeiten zu lassen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Frage, ob tatsächlich implizites Wissen bei der Suchaufgabe entsteht und genutzt wird, nicht Untersuchungsgegenstand des vorliegenden Experimentes ist. Diese Möglichkeit ist allerdings nicht auszuschließen und sollte folglich in der Rekonstruktionsaufgabe berücksichtigt werden. Um also zu verhindern, dass das Wissen, welches sich die Versuchsperson alleine aufgrund der Interaktion bei der Durchführung der Suchaufgabe angeeignet hat, die Leistung innerhalb der Rekonstruktionsaufgabe beeinflusst, wurde die Aufgabe so konzipiert, dass Versuchspersonen sie mit Hilfe der Tastatur zu bearbeiten haben. Mit Hilfe der Pfeiltasten der Tastatur kann das angezeigte Objekt innerhalb des Rasters zellenweise verschoben werden. Das einmalige Betätigen einer der Pfeiltasten verschiebt dabei das angezeigte Objekt um genau eine Zelle in der entsprechen-

den Richtung. Die Bestätigung, dass es sich bei der Zelle, in die das Objekt so vom Probanden verschoben wurde, um die Position handelt, an der das Objekt sich seiner Meinung nach innerhalb der Suchaufgabe befand, erfolgt anschließend durch Drücken der Enter-Taste. In dem darauf folgenden Dialog hat der Benutzer die Möglichkeit durch Drücken der Taste N seine Entscheidung noch einmal zu überdenken. Der Bestätigungsdialog wird in diesem Fall wieder ausgeblendet und der Benutzer erhält erneut freie Sicht auf das Raster mit dem momentan zu verortenden Objekt. Wird in dem Dialog die Taste J betätigt, so wird die Entscheidung der Versuchsperson gespeichert und das nächste Objekt angezeigt (wie in Abschnitt 6.3 beschrieben).

### 6.3.2 Datenerfassung

Bei der Durchführung der Rekonstruktionsaufgabe wird, wie zuvor beschrieben, von der Versuchsperson für jedes Suchobjekt eine Entscheidung darüber erwartet, an welcher Stelle sich das Objekt bei der Durchführung der Suchaufgabe ihrer Ansicht nach befand. Durch das Verschieben an die entsprechende Stelle innerhalb des Rasters wird dieses vom Probanden spezifiziert. Um im Anschluss die in dieser Weise offenbarte Behaltensleistung des Probanden untersuchen zu können, reicht es aus, für jedes Objekt die Entscheidung der Versuchsperson abzuspeichern, in Form der Spalten- und Zeileninformation der jeweils gewählten Zelle.

### 6.3.3 Operationalisierung der Behaltensleistung

Jedes der Objekte, deren erinnerte Position während der Rekonstruktionsaufgabe zu spezifizieren ist, verfügt über eine exakte Verortung innerhalb der in der Suchaufgabe zu explorierenden Objektanordnung. Die von der Versuchsperson gefällte Entscheidung über den Ort des Objektes, kann also mit der Information über die tatsächliche Position des Objekts in der Konfiguration verglichen werden, um so eine Evaluation der Behaltensleistung zu ermöglichen. Für jedes betrachtete Objekt kann so die Abweichung zwischen der gewählten und der ursprünglichen Position errechnet werden. Als Maßgröße für die Differenz wird die Abweichung in Zellen des Rasters betrachtet. Es wird also zur Operationalisierung der Behaltensleistung bestimmt, um wie viele Zellen die gewählte Position von der ursprünglichen Position des Objektes im Gitter abweicht. Je kleiner die Differenz ist, desto besser die Behaltensleistung. Diese Differenz kann als euklidischer Abstand betrachtet werden. Zusätzlich ist aber auch eine gesonderte Betrachtung der absoluten Abweichungen in X- und in Y-Richtung möglich. Es ergibt sich so ein Performanzmaß dafür, wie gut sich die Versuchspersonen an die Positionen von Objekten erinnern. In diesem Performanzmaß spiegelt sich also die in Hypothese H2 angesprochenen Behaltensleistung wieder. Im Folgenden wird das hier besprochene Performanzmaß mit Begrifflichkeiten versehen, um im Anschluss eine Betrachtung zu vereinfachen. Bei dieser Betrachtung wird nur die euklidische Distanz berücksichtigt, Abweichungen in X- und Y-Richtung verhalten sich analog. Die Behaltensleistung bezüglich eines einzelnen Objektes ( $o$ ) wird als  $BL(o)$  bezeichnet. Um eine abschließende Evaluation der Ergebnisse der Versuchspersonen zu vereinfachen, wird bei der Bewertung der Behaltensleistung ebenfalls eine Durchschnittsbildung aller ermittelten Distanzen vorgenommen, die sich bei der Durchführung einer Rekonstruktionsaufgabe

ergeben haben. Diese wird im Folgenden **GesamtBL** genannt. Es ergeben sich so die folgenden Definitionen:

$BL(o) \hat{=}$  Distanz zwischen gewählter und tatsächlicher Position des Objektes  $o$

$$GesamtBL = \frac{\sum_1^n BL(n)}{n},$$

wobei  $n \hat{=}$  Anzahl der Objekte

Auch an dieser Stelle sei noch einmal explizit erwähnt, dass ein kleiner Wert für  $BL(o)$  bzw. GesamtBL eine hohe Behaltensleistung repräsentiert. Die untere Schranke liegt hier bei einem Wert von 0, welcher sich dann ergibt, wenn die Versuchsperson genau die Position für ein Objekt (bzw. im Sinne der GesamtBL: für alle Objekte) gewählt hat, an der sich das Objekt in der tatsächlichen Anordnung befindet.

## 6.4 Objektanordnungen

Beide Aufgabentypen beziehen sich auf bestimmte räumliche Anordnungen von Objekten. Eine wichtige Entscheidung, die im Versuchsentwurf zu treffen war, ist, ob es sich hierbei um fixe, für alle Versuchspersonen gleiche Konfigurationen handeln soll, oder ob diese während des Versuchsablaufes zufällig erstellt werden. Um eine möglichst große Vergleichbarkeit der Leistungen der Versuchspersonen zu erhalten, fiel hier die Wahl auf vordefinierte Anordnungen. Die gesamten Auswirkungen, die sich alleine aufgrund bestimmter räumlicher Zusammenhänge ergeben, sind nur schwer vorhersehbar, weshalb eine zufällige Erstellung der Konfigurationen, die Messergebnisse nur in störender Weise hätte beeinflussen können. Die Versuchssoftware ist für die Anzeige von Objektkonfigurationen so variabel gestaltet, dass viele verschiedene Anordnungen definiert und in ihr angezeigt werden können. Diese können sich zum Beispiel durch die Anzahl der Objekte, ihre räumliche Verteilung und die Verwendung von Distraktoren unterscheiden und in Pretests auf ihre Tauglichkeit für das Experiment überprüft werden. Im folgenden Abschnitt sind zunächst die Rahmenbedingungen vorgestellt, unter deren Einhaltung die letztendlich verwendeten Anordnungen erstellt wurden.

### 6.4.1 Rahmenbedingungen

Im Allgemeinen sollten die räumlichen Anordnungen, in denen die Versuchspersonen die Objekte suchen, möglichst wenig direkte Unterstützung zur Orientierung anbieten, um eine explizite Codierung der Objektpositionen zu erschweren. Dieses ist nötig, um zu gewährleisten, dass implizites Wissen auch tatsächlich eine Chance hat, sich in Form der Leistung der Versuchspersonen zu äußern. Zusätzliche Hilfestellungen, wie zum Beispiel Landmarken (siehe Abschnitt 3.8) könnten die explizite Speicherung von Objektpositionen vereinfachen und somit das implizite Wissen in den Hintergrund drängen, es folglich nur schwer erfassbar machen. Die nachstehend beschriebenen Rahmenbedingungen ermöglichen insbesondere eine möglichst weitgehende Einhaltung dieser Anforderung.

In mehreren Pretests zeigte sich, dass Objekte, welche sich in den Eckpositionen des Rasters befinden, wesentlich leichter wiedergefunden werden

als andere Objekte. Dieses fiel außerdem in noch stärkerem Maße bei der Rekonstruktionsaufgabe ins Gewicht, in der die Erinnerung an die Positionen von Objekten in den Eckpunkten des Gitters fast ausschließlich perfekt gelang.

Des Weiteren mussten die Anordnungen so gestaltet sein, dass sich in der Mitte keine Objekte befinden. In der PAN-Bedingung hätten Versuchspersonen ansonsten schon innerhalb der Startposition Objekte sehen können, was insbesondere für tatsächlich zu suchende Objekte nicht sinnvoll wäre. Aber auch Distraktoren sollten nicht schon beim Start eines Suchvorganges sichtbar sein, da sie ansonsten von den Versuchspersonen als Landmarken interpretiert und so zur Orientierung genutzt werden könnten.

Eine weitere Bedingung, die die Objektanordnungen erfüllen sollten, ist die, dass keine Objekte direkt an andere Objekte angrenzen. So platzierte Objekte wurden im Pretest von den Versuchspersonen oftmals als zusammengehörende Gruppen angesehen, was das Erlernen der entsprechenden Positionen vereinfachte. Nahe beieinander liegende Objekte stellen signifikante Bereiche innerhalb der Informationslandschaft dar und könnten von den Versuchspersonen als Landmarken verstanden werden. Versuchspersonen können sich, sobald sie eine bestimmte Auffälligkeit identifiziert haben, leichter an diese erinnern, als an weniger markante Bereiche und so zu einer einfacheren Orientierung in dem Interface gelangen. Insgesamt sollte sich in der Informationslandschaft ein möglichst homogenes Bild ergeben, in welchem die Möglichkeit zur Orientierung mit Hilfe solcher Landmarken minimiert wird. Die Möglichkeit zu einer derartigen Erleichterung ist deshalb nicht wünschenswert, da somit den Versuchspersonen die Bildung expliziten Wissens vereinfacht würde. Implizite Fähigkeiten sollten aber in dem vorgestellten Versuch eine größtmögliche Relevanz besitzen, um die Primärvarianz zu maximieren.

Des Weiteren wurde bei der Erstellung der Objektkonfigurationen darauf geachtet, dass sich die darin enthaltenen Objekte möglichst gleichmäßig auf die Quadranten verteilen, um die Schaffung eines homogenen Gesamtbildes weiter zu unterstützen. Dieses gilt sowohl für die Distraktoren, als auch insbesondere für die zu suchenden Objekte, die so platziert wurden, dass sich in jedem der Quadranten eine gleiche Anzahl befindet. Dadurch wird unter Anderem ermöglicht eine Reihenfolge der Suchobjekte zu definieren, bei der (wie in Abschnitt 6.2.4 beschrieben) zwei aufeinanderfolgende Objekte nie dem selben Quadranten entspringen.

Um einen Rahmen vorzugeben in dem sich die zu suchenden Objekte befinden und den Versuchspersonen somit eine Möglichkeit anzubieten, einen globalen Bezug herzustellen, fiel des Weiteren die Entscheidung die Objektkonfigurationen in einem Raster zu präsentieren. Dieses ist besonders bei Berücksichtigung der PAN-Bedingung nötig, bei der den Versuchspersonen während der Suchaufgabe nie eine komplette Ansicht der gesamten Konfiguration gewährt wird. Die anschließende Rekonstruktionsaufgabe würde sich ohne einen globalen Kontext in Form des Rasters ansonsten nur schwer bearbeiten lassen.

## 7 Experiment

Um folgenden Teil dieser Arbeit wird das Experiment beschrieben, welches zur Überprüfung der Hypothesen an der Universität Konstanz durchgeführt wurde. Es wird dabei auch im Einzelnen auf die Entscheidungen eingegangen, die

bezüglich des Ablaufes und der Beschaffenheit der darin verwendeten Aufgaben getroffen werden mussten.

## 7.1 Pretests

An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass die Versuchsplanung in iterativer Weise, unter Verwendung der Erkenntnisse mehrerer bereits einige Male angesprochener Pretests, durchgeführt wurde, weshalb im Anschluss auch auf die einzelnen Schritte eingegangen werden soll, die schließlich im verwendeten Design mündeten und deren Erkenntnisse dieses rechtfertigen. So wurden in den einzelnen Iterationen der Versuchsplanung immer wieder Pretests durchgeführt, in denen unterschiedliche Bedingungen des Versuchsdesigns variiert und evaluiert wurden. Eine umfassende Beschreibung aller so stattgefundenen Versuche würde hier zu weit führen, weshalb im Folgenden an den entsprechenden Stellen, auf diejenigen Erkenntnisse aus den Pretests eingegangen wird, die entscheidend zum letztendlich angewendeten experimentellen Design beigetragen haben.

## 7.2 Versuchsplan

Zentraler Gegenstand der Untersuchung ist es die erwarteten Unterschiede in der Leistung (vgl. Abschnitt 5) von Versuchspersonen, in Abhängigkeit der verwendeten Eingabegeräte, zu erfassen. Hierbei ist zunächst zu erwähnen, dass davon ausgegangen werden muss, dass sich die Bearbeitung einzelner Aufgaben von Versuchsperson zu Versuchsperson durchaus stark unterscheiden könnten. Insbesondere ist zu erwarten, dass das Verständnis der Aufgaben, sowie der Umgang mit den beiden Eingabegeräten, hier sehr unterschiedliche Ausprägungen haben könnten. Um diese Tatsache im Versuchsdesign widerzuspiegeln, fiel die Entscheidung die unabhängige Variable Wahl des Eingabegerätes als *within-subjects* Faktor zu realisieren. Die Aufgaben werden von allen Versuchspersonen unter aufeinander folgender Verwendung beider Eingabegeräte (Maus und Touchscreen) durchgeführt, wobei die Reihenfolge, in der die Versuchspersonen mit den Eingabegeräten zu arbeiten haben, hierbei balanciert wird. Die Hälfte der Probanden beginnt die Bearbeitung der Aufgaben also mit dem Touchscreen, während die andere Hälfte zu Beginn die Maus verwendet. Die Resultate einer Versuchsperson bezüglich der Unterschiede zwischen Maus- und Touchinteraktion werden somit in hohem Maße vergleichbar, dieses wäre bei dem Vergleich unterschiedlicher Versuchspersonen nicht der Fall. Durch die Verwendung eines within-subjects Designs wird außerdem eine maximale Kontrolle der Störfaktoren ermöglicht, die in dieser Studie vielfältig sein könnten.

Ein weiterer Aspekt, über den die Studie Aufschluss geben soll ist, inwiefern die Leistung von Versuchspersonen davon abhängt, ob sie ein Interface verwenden, in dem lediglich ein Panning die Exploration ermöglicht oder ob sie außerdem die Funktionalität des Zoomings mitbenutzen dürfen. Da die Aufgaben zwischen den so entstehenden Bedingungen nicht eins zu eins übertragbar sind (als Beispiel sei hier die Verwendung unterschiedlicher Startpositionen genannt, siehe 6.2.2) und aufgrund des zusätzlichen Freiheitsgrades, der durch das Erlauben des Zoomings in der ZUI-Bedingung existiert, ist nicht auszuschließen, dass sich Sequenzeffekte zwischen den Aufgaben in der PAN- und ZUI-Bedingung ergäben, die unterschiedlicher Art sind, in Abhängigkeit davon

in welcher Reihenfolge die Bedingungen durchlaufen werden. In einem within-subjects Design könnten die Ergebnisse bezüglich dieser unabhängigen Variablen also verzerrt sein. Um dieser Problematik gerecht zu werden, wurden die angesprochenen Bedingungen PAN und ZUI als *between-subjects* Faktor variiert. Es ergeben sich so folglich zwei Versuchspersonen-Gruppen: die *PAN-Gruppe*, deren Versuchspersonen die Suchaufgabe nur unter Einhaltung der PAN-Bedingung ausführen und die *ZUI-Gruppe*, welche die Gesamtheit der Versuchspersonen darstellt, denen ein Zooming bei der Bearbeitung der Suchaufgabe erlaubt ist. Die Verwendung von sowohl within-subjects- als auch und between-subjects-Anteilen führt zu einem *Mixed Design*, dessen resultierender Versuchsplan zur Verdeutlichung in Abbildung 11 dargestellt ist.

Versuchsplan		UV B Wahl des Eingabegerätes		
		Stufe B <sub>1</sub> Maus	Stufe B <sub>2</sub> Touch	
UV A angebotene Interaktionsmöglichkeiten	Stufe A <sub>1</sub> Panning	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	Pan-Gruppe
	Stufe A <sub>2</sub> ZUI-Interaktion	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	ZUI-Gruppe

Abbildung 11: Versuchsplan

### 7.3 Versuchsablauf

Im Folgenden werden die Entscheidungen vorgestellt, die während der Versuchsplanung bezüglich des genauen Ablaufes und der Beschaffenheit der einzelnen Aufgaben getroffen wurden. Hierzu gehören zum einen Überlegungen zum allgemeinen Versuchsablauf, sowie zur genauen Reihenfolge der einzelnen Aufgaben. Zum anderen wird im anschließenden Abschnitt 7.4 auch näher auf die Planung der während des Experimentes durchzuführenden Suchaufgaben eingegangen, deren Festlegung eine besondere Herausforderung darstellte.

Um zu gewährleisten, dass die Probanden eine Vorstellung des gesamten Ablaufes, sowie ein grundlegendes Verständnis für die Aufgaben und die darin zu verwendenden Interaktionen mit den beiden Eingabegeräten entwickeln können, ehe die jeweilige Durchführung der relevanten Aufgaben stattfindet, führten die Versuchspersonen zu Beginn des Experimentes und nach dem Wechsel des Eingabegerätes die Aufgaben zunächst in einem Kennenlerndurchgang aus. Die hier entstandenen Daten bezüglich der Leistung, die die Probanden erbrachten, sind selbstverständlich nicht von Bedeutung für die Auswertung der Versuchsergebnisse und wurden somit verworfen. Neben der Bildung eines grundsätzlichen Verständnisses ermöglichen diese Kennenlernphasen, dass eventuelle Unklarheiten bezüglich der Interaktion oder des Verständnisses der Aufgaben geklärt werden können, bevor die Messung der für die Versuchsauswertung relevanten Leistungen beginnt. In diesen Testdurchläufen wurde von den Versuchspersonen zunächst eine Suchaufgabe mit einer stark vereinfachten Objktanordnung durchgeführt. Zuvor wurde erläutert, wie in dieser die Interaktionen mit

dem jeweiligen Eingabegerät auszuführen sind. Die verwendete Konfiguration beinhaltete nur wenige Objekte in Form von Buchstaben, während in den relevanten Durchgängen verschiedene Symbole in der räumlichen Anordnung zu suchen waren. Eine an dieser Stelle verwendete Anordnung ist in Abbildung 12 beispielhaft dargestellt. Es wurden in dieser Weise zwei Blocks durchgeführt,

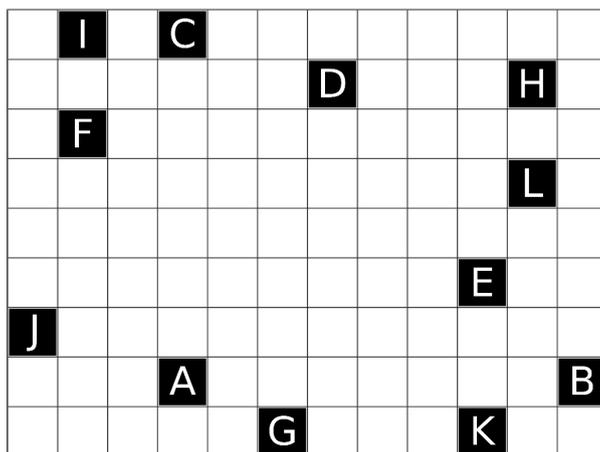


Abbildung 12: Beispiel einer Konfiguration, wie sie während eines Kennenlern-durchganges verwendet wurde

bestehend aus der Suche nach jeweils zwei Objekten. Im Anschluss wurde die Rekonstruktionsaufgabe erklärt und ebenso von den Probanden durchgeführt. Somit wird des Weiteren sichergestellt, dass sich jede Versuchsperson schon zu Beginn darüber im Klaren ist, dass im Anschluss an eine Suchaufgabe immer von ihnen verlangt wird, eine Angabe über die Position der zuvor gesuchten Objekte zu machen. Somit wird verhindert, dass sich Bearbeitungsstrategien der Probanden, die sich alleine aufgrund dieses Wissens ergeben könnten, erst innerhalb der auswertungsrelevanten Teile des Versuchsablaufes ändern.

Haben die Versuchspersonen in den Kennenlern-durchgängen die Aufgaben bearbeitet, wurde ihnen noch einmal die Möglichkeit gegeben, allgemeine Rückfragen zu stellen. Bestanden keine Unklarheiten, so wurde der Test unter Verwendung des jeweiligen Eingabegerätes begonnen.

Hierbei fiel die Entscheidung, ein *AABB-Design* zu verwenden. Ein solches Design zeichnet sich dadurch aus, dass die Aufgaben von den Versuchspersonen unter den experimentellen Bedingungen (hier Maus- und Touchinteraktion) jeweils zweimal durchzuführen sind, jedoch nur die Ergebnisse der zweiten Wiederholung in die Analyse eingehen. Somit können insbesondere Lerneffekte abgefangen werden, die sich störend auf eine Analyse auswirken würden. An dieser Stelle wird zunächst auf die Gründe für die Verwendung des *AABB-Designs* näher eingegangen, bevor im Anschluss der letztendlich verwendete Ablauf eines Experimentes dargestellt ist:

Bei der Computermouse handelt es sich um ein Eingabegerät, mit dem ein Großteil der Computernutzer bestens vertraut ist. Eine Interaktion mit Hilfe der Maus ist folglich weitgehend automatisiert und zeichnet sich deshalb durch eine hohe Geschwindigkeit sowie eine geringe kognitive Belastung bei ihrer Verwendung aus [Rie09]. Es ist anzunehmen, dass dieses nicht in vergleichbarer Weise

für die Touchinteraktion gilt. Dieses wäre insbesondere dann der Fall, wenn nicht alle der Versuchspersonen bereits über Vorerfahrungen bezüglich der Computerbedienung mit Hilfe eines Touchscreens verfügen. Diese Vorkenntnisse werden in einem Fragebogen, der von jedem Probanden vor der Durchführung des Experimentes auszufüllen ist, erfasst. In der Versuchsplanung wurde zunächst davon ausgegangen, dass ein gewisser Teil der Versuchspersonen innerhalb des Experimentes zum ersten Mal einen Touchscreen benutzen. Um dennoch eine weitgehende Gleichbehandlung der beiden Eingabegeräte zu ermöglichen, muss also im Versuchsdesign versucht werden, diese Unterschiede zumindest teilweise auszugleichen. Martin Rieger schlägt in seiner Arbeit *Neuartige Eingabegeräte: Technophobie, Lerneffekte und Akzeptanz* vor, den folgenden Grundsatz einzuhalten, wenn innerhalb eines psychologischen Experimentes die Verwendung neuartiger, den Versuchspersonen nicht vertrauter Eingabegeräte vorgesehen ist: „bei der Ermittlung der Leistungsfähigkeit mit einem neuartigen Eingabegerät muss den VTh zuvor Gelegenheit zur Übung gegeben werden“ [Rie09]. In den Pretests zeigte sich, dass diese Feststellung auch für den Touchscreen als Eingabegerät gilt: Es war zu beobachten, dass sich die Versuchspersonen zunächst an die Interaktion über die berührungsempfindliche Bildschirmoberfläche gewöhnen mussten und die direkte Leistung bezüglich der Ausführung einzelner Pannings und Zoomings sich besonders zu Beginn noch stark verbesserte. Alleine aufgrund der Tatsache, dass ein bestimmter Druck mit den Fingerspitzen ausgeübt werden muss, ehe der Microsoft Surface das Auflegen des Fingers tatsächlich als Interaktion interpretiert, ist somit eine Eingewöhnungsphase unumgänglich. Die Messresultate, die innerhalb einer solchen Eingewöhnungszeit entstehen, sollten jedoch nicht in die Datenanalyse eingehen, um eine Verzerrung der Analyse durch diejenigen Lerneffekte von Versuchspersonen ausschließen zu können, die sich ausschließlich auf die Leistung bei der Ausführung der Navigationsoperationen mit dem jeweiligen Eingabegerät beziehen.

Um der so entstehenden Anforderung zu genügen wurde beschlossen in dem Experiment ein AABB-Design zu verwenden.

Im Anschluss ist der Ablauf vorgestellt, der sich somit ergibt: Zu Beginn wurde den Versuchspersonen ein Begrüßungsschreiben gegeben, in dem sie auf den allgemeinen Ablauf des Experimentes informiert wurden. Nach der Begrüßung, wurden sie im Anschluss darum gebeten, ein Dokument zu lesen, durch dessen Unterzeichnung sie sich mit der Videoaufzeichnung des Versuches und der Verwendung der entstandenen Daten einverstanden erklärten. In diesem Schreiben wurden sie des Weiteren darum gebeten, bis zum Ende der Testreihe Stillschweigen über den genauen Ablauf der Untersuchung zu bewahren, um mögliche weitere Teilnehmer nicht zu beeinflussen. Im Gegenzug verpflichtete sich der Versuchsleiter, die Videoaufzeichnung sowie sämtliche sonstige gewonnene Daten lediglich zu Auswertungszwecken im Rahmen der Untersuchung zu verwenden. Erklärte sich der Proband mit diesen Voraussetzungen einverstanden, so füllte er anschließend einen Fragebogen aus, in dem unterschiedliche Daten erfasst wurden. Eine genaue Beschreibung des verwendeten Fragenkatalogs ist in Abschnitt 7.5.1 vorgenommen. Nun konnte der tatsächliche Versuch beginnen. Die Versuchspersonen wurden dabei von einer Sammlung schriftlicher Anweisungen und Erklärungen auf mehreren DIN A5 Zetteln begleitet. Innerhalb dieser Schriftstücke, von denen die Versuchspersonen immer eines zur Zeit lesen und soweit nötig im Anschluss bearbeiten sollten, wird zunächst der allgemeine Ablauf des Experimentes beschrieben. Die Probanden werden darüber in

Kenntnis gesetzt, dass sie einen Teil der Suchaufgaben unter Verwendung der Maus, einen anderen Teil mit Hilfe des Touchscreens zu bearbeiten haben und für die Rekonstruktionsaufgaben immer die Tastatur zu verwenden ist. So entstanden pro Versuchsgruppe zwei verschiedene Sammlungen von Anweisungen und Erklärungen, die sich zunächst durch die Erläuterungen unterscheiden, die zum Verständnis der Suchaufgabe in den PAN- und ZUI-Bedingungen benötigt werden, sowie dadurch, dass in ihnen die beiden möglichen Reihenfolgen der Eingabegeräte berücksichtigt sind. Zu Beginn ist die Suchaufgabe beschrieben und es wird erklärt, wie darin die Interaktion mit dem zuerst verwendeten Eingabegerät funktioniert. Diese Aufgabe wird als Kennenlerndurchgang einmal von der Versuchsperson bearbeitet, bevor sich eine Beschreibung der Rekonstruktionsaufgabe anschließt. Auch diese wird nun einmal testweise durchgeführt. In der Folge beginnt die Bearbeitung der alternierenden Such- und Rekonstruktionsaufgaben unter Verwendung der Objektkonfigurationen, die in Abschnitt 7.4 näher beschrieben sind. Im Sinne des AABB-Designs werden die Aufgaben also zunächst unter Verwendung des ersten Eingabegerätes zweimal bearbeitet. Danach werden die Probanden darüber in Kenntnis gesetzt, dass sie von nun an zur Bearbeitung der Suchaufgaben das verbleibende Eingabegerät zu verwenden haben. Um auch hier die entsprechende Interaktion kennenlernen zu können und eventuelle Unklarheiten zu beseitigen, wird mit diesem zunächst wieder eine testweise Bearbeitung der Suchaufgabe vorgenommen, dem sich erneut eine Rekonstruktionsaufgabe anschließt, ehe der Proband im Anschluss wiederum zweimalig unter Verwendung des zweiten Eingabegerätes die Suchaufgaben ausführt, gefolgt von den entsprechenden Rekonstruktionsaufgaben. Im Folgenden ist ein Überblick über den so entstehenden Versuchsablauf dargestellt. Zur Verdeutlichung des AABB-Designs ist die jeweilige Zugehörigkeit der einzelnen Schritte mit angegeben. Aus Gründen der Übersicht sind die Aufgaben, deren Ergebnisse relevant sind für die Versuchsauswertung, hierbei mit **A** bzw. **B** gekennzeichnet, diejenigen deren Ergebnisse nicht in die Analyse eingehen mit A bzw. B:

1. Begrüßung der Versuchsperson.
2. Unterzeichnung der Einverständniserklärung.
3. Ausfüllen des Fragebogens.
4. Kennenlerndurchgang: Eine Suchaufgabe wird unter Verwendung des ersten Eingabegerätes A ausführt.
5. Kennenlerndurchgang: Die dazugehörige Rekonstruktionsaufgabe wird mit Hilfe der Tastatur bearbeitet.
6. A: Die Versuchsperson führt die Suchaufgabe mit einer ersten Objektanordnung durch. Hierzu verwendet sie Eingabegerät A. Es werden 4 Blocks absolviert, die Ergebnisse gehen jedoch nicht in die Analyse mit ein.
7. A: Die Rekonstruktionsaufgabe für die erste Konfiguration wird absolviert. Die entstandenen Ergebnisse gehen ebenfalls nicht in die Analyse ein.
8. A: Die Versuchsperson führt die Suchaufgabe mit einer zweiten Objektanordnung durch, unter Verwendung von Eingabegerät A. Es werden

an dieser Stelle 8 Blocks absolviert, deren Ergebnisse Grundlage für die anschließende Analyse sind.

9. **A:** Die Rekonstruktionsaufgabe für die zweite Konfiguration wird absolviert. Die entstandenen Ergebnisse gehen ebenfalls in die Analyse ein.
10. **Kennenlernddurchgang:** Eine Suchaufgabe wird unter Verwendung des ersten Eingabegerätes B ausgeführt.
11. **Kennenlernddurchgang:** Die dazugehörige Rekonstruktionsaufgabe wird mit Hilfe der Tastatur bearbeitet.
12. **B:** Die Versuchsperson führt die Suchaufgabe mit einer dritten Objektanordnung durch. Hierzu verwendet sie Eingabegerät B. Es werden 4 Blocks absolviert, die Ergebnisse gehen jedoch nicht in die Analyse mit ein.
13. **B:** Die Rekonstruktionsaufgabe für die dritte Konfiguration wird absolviert. Die entstandenen Ergebnisse gehen ebenfalls nicht in die Analyse ein.
14. **B:** Die Versuchsperson führt die Suchaufgabe mit einer vierten Objektanordnung durch, unter Verwendung von Eingabegerät B. Es werden an dieser Stelle 8 Blocks absolviert, deren Ergebnisse Grundlage für die anschließende Analyse sind.
15. **B:** Die Rekonstruktionsaufgabe für die vierte Konfiguration wird absolviert. Die entstandenen Ergebnisse gehen ebenfalls in die Analyse ein.
16. **Bezahlung und Verabschiedung der Versuchsperson.**

Die Reihenfolge der Konfigurationen und Eingabegeräte wird hierbei selbstverständlich interindividuell balanciert, allerdings in einer solchen Weise, dass immer die gleichen zwei der insgesamt vier Objektanordnungen für die zu verwendenden Aufgaben verwendet werden und ebenso jedes Mal die gleichen zwei bei den Aufgaben, deren Werte in die Analyse einfließen, um einen eventuellen Einfluss zu minimieren, den die unterschiedliche Beschaffenheit der Objektkonfigurationen auf die Leistung der Versuchspersonen haben könnte.

Bei der Durchführung der Suchaufgaben, deren Ergebnisse im Anschluss verworfen werden, sind jeweils nur 4 Blocks zu absolvieren, im Gegensatz zu 8 Blöcken innerhalb der relevanten Suchaufgaben. In Pretests wurde ermittelt, dass davon auszugehen ist, dass 8 Blöcke im Allgemeinen ausreichen dürften, um den Versuchspersonen genügend Zeit zu geben, für jedes Objekt zumindest eine erfolgreiche Navigation durchzuführen. Dieses spiegelt sich auch in den Versuchsergebnissen wider (siehe Abschnitt 7.7). Diese Entscheidung bei den zu verwendenden Durchgängen nur 4 Blocks zu verwenden wurde getroffen, da sich sonst der gesamte Versuch unnötig in die Länge ziehen würde und außerdem davon ausgegangen wird, dass diejenigen Lernvorgänge, die im Rahmen des AABB-Designs eliminiert werden sollen, nach 4 Blocks bereits in ausreichendem Maße stattgefunden haben.

An dieser Stelle sei außerdem angemerkt, dass innerhalb des Versuchsablaufes das Aufeinanderfolgen von Such- und Rekonstruktionsaufgabe in allen Phasen strikt eingehalten wurde, damit für die Versuchspersonen keine Unklarheit darüber entstehen kann, dass sie im Anschluss an die Suche nach Objekten immer eine Einschätzung der Positionen der Objekte abzugeben haben.

## 7.4 Aufgaben

In Pretests wurden für die beiden Aufgaben verschiedene Objektanordnungen auf ihre Tauglichkeit für das Experiment überprüft. Außerdem wurde hier auch die Größe des Rasters in Bezug auf Zeilen- und Spaltenanzahl festgelegt. Hierbei fiel die Entscheidung darauf ein Raster der Größe 12x9 zu verwenden, da größere Gitter die Aufgabe unnötig erschwert hätten. In kleineren Rastern wäre die Suchaufgabe zu leicht zu bearbeiten gewesen, da darin zu wenig Platz existiert hätte, um unter Berücksichtigung der in Abschnitt 6.4.1 definierten Rahmenbedingungen, eine ausreichende Anzahl von Objekten unterzubringen. Zunächst wurden Tests mit räumlichen Konfigurationen durchgeführt, in denen 10 zu suchende Objekte und keine Distraktoren verortet waren. Es zeigte sich jedoch, dass die Suchaufgabe in diesem Fall sehr einfach zu bearbeiten war und Versuchspersonen oftmals schon während des ersten Blocks den Anschein erweckten, die Anordnung auswendig gelernt zu haben. Werden keine Distraktoren in den Objektanordnungen benutzt, so hat jedes einzelne Objekt hohe Relevanz für die Bearbeitung der Aufgaben. Dieses führt dazu, dass Versuchspersonen bei der explorativen Navigation versuchen sich die Orte aller Objekte einzuprägen. Um dem entgegenzuwirken, fiel also zunächst die Entscheidung eine bestimmte Anzahl von Distraktoren in die zu verwendenden Anordnungen einzufügen. Da des Weiteren, wie in Abschnitt 6.2.7 beschrieben, eine Durchschnittsbildung der einzelnen Ergebnisse von Trials aus einem Block vorgenommen werden sollte, wurde entschieden, dass weniger als 10 Objekte innerhalb eines Blocks gesucht werden sollten, um eine höhere Auflösung der verwendeten Messdaten zu erreichen. Für die Verwendung im Experiment wurden letztlich, unter Einhaltung der definierten Rahmenbedingungen, vier verschiedene Anordnungen von 18 Objekten erstellt, in denen je 10 Objekte Distraktoren darstellen und die übrigen 8 während jedes Blockes der Suchaufgabe zu finden sind. In der Rekonstruktionsaufgabe sind dementsprechend jedesmal diese 8 Objekte zu verorten. Wie in Abschnitt 7.3 beschrieben dienten zwei dieser Konfigurationen ausschließlich der Durchführung der ersten Durchläufe im Sinne des AABB-Designs, während die anderen zwei Anordnungen in den für die Versuchsauswertung relevanten Durchgängen verwendet wurden. Diese Aufteilung wurde vorgenommen, um eine größtmögliche Vergleichbarkeit der einzelnen relevanten Durchläufe zu erreichen und die Einflüsse zu minimieren, die sich auf die Leistung der Versuchspersonen alleine aufgrund unterschiedlicher Anordnungen ergeben könnten. Im Anhang sind Abbildungen der 4 verschiedenen Konfigurationen zu finden. Konfiguration 1 und 2 stellen dabei diejenigen Objektanordnungen dar, die in den auswertungsrelevanten Phasen des Experimentes genutzt wurden.

## 7.5 Materialien

Alle Aufgaben, die während des Experimentes zu bearbeiten waren, wurden auf dem Microsoft Surface ausgeführt. Hierbei handelt es sich um einen in einen Tisch eingearbeiteten Computer, dessen Bildschirm horizontal orientiert ist und der die Interpretation der Interaktion mit den Fingern direkt über eine berührungsempfindliche Bildschirmoberfläche ermöglicht. Damit sich der Leser eine Vorstellung des Versuchssettings machen kann, ist in Abbildung 13 ein Microsoft Surface dargestellt, der der gleichen Baureihe entstammt wie das Gerät, welches in dem vorgestellten Experiment zum Einsatz kam. Wichtig



Abbildung 13: Der Microsoft Surface (Quelle: microsoft.com)

zu erwähnen ist, dass der Multitouchtisch auch für die Aufgaben verwendet wurde, die mit der Maus zu bearbeiten waren. Somit sollte verhindert werden, dass sich unterschiedliche Leistungen der Versuchspersonen aufgrund verschiedener Anzeigegeräte ergeben. Die Versuche fanden unter gleichbleibenden Beleuchtungsverhältnissen statt. Bei der Variation der unabhängigen Variable Eingabegerät wurden eine Funkmaus und für die Touchscreen-Bedingung die Bildschirmoberfläche des Microsoft Surface verwendet. Die Bearbeitung der Rekonstruktionsaufgabe erfolgte mit Hilfe einer Funktastatur. Eine kabellose Tastatur zu verwenden war alleine deshalb ratsam, da diese auch vom Versuchsleiter genutzt wurde, unter anderem zur Steuerung des Versuchsablaufes. Um für die Benutzung der Computermouse eine Unterlage anzubieten, befand sich im Versuchsraum außerdem ein verschiebbarer Container, der, in Absprache mit den Versuchspersonen, vor Beginn der Behandlung der Aufgaben mit der Maus in eine für die Probanden angenehme Position gebracht wurde.

### 7.5.1 Fragebogen

In einem Fragebogen, der von jedem Probanden vor Beginn des Experimentes auszufüllen war, wurden verschiedene Daten erfasst, um deren (eventuell störenden) Einfluss auf die Ergebnisse der Studie nachvollziehen zu können. Im Folgenden sind die so eruierten Daten aufgeführt. Zunächst waren im Fragebogen Alter und Geschlecht anzugeben. Anschließend sollte eine Auskunft über die Muttersprache gegeben werden. Diejenigen Versuchspersonen, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, waren außerdem dazu aufgefordert, eine Einschätzung ihrer Deutschkenntnisse vorzunehmen. Des Weiteren wurde der Beruf der Probanden erfasst, sowie in dem Fall dass es sich bei ihm um einen Studenten / eine Studentin handelt, der Studiengang. Die übrigen Fragen des Fragebogens beschäftigten sich vor Allem mit der Computernutzung der Versuchspersonen. Hierbei wurde von ihnen unter anderem angegeben, mit welcher Hand sie üblicherweise eine Computermouse bedienen und ob sie für die Arbeit am PC eine Sehhilfe benötigen. Auch eine Einschätzung der Computervorkenntnisse wurde vorgenommen. Schließlich wurde versucht, in Form mehrerer Fragen zu erfassen, welcher Art die Vorkenntnisse der Versuchspersonen bezüglich der Nutzung von Touchscreens und der Verwendung von ZUIs sind. Hierzu zählt eine subjektive Einschätzung der Vorkenntnisse im Umgang mit Touchscreens, sowie mehrere

Fragen dazu, ob sie bestimmte Geräte oder Computerprogramme kennen und schon einmal benutzt haben.

### 7.5.2 Versuchssoftware

Im Zusammenhang mit der hier beschriebenen Studie war eine der Herausforderungen, die Software zu entwickeln, die zur Durchführung und auch Nachbearbeitung des Versuches genutzt werden sollte. Diese wurde in der Programmiersprache C# unter Verwendung des ZOIL-Frameworks [Eng08] implementiert. Sie ist in Form einer Werkzeugkette aus mehreren Implementationen realisiert. Zunächst handelt es sich hierbei um die Versuchssoftware selbst, also das Computerprogramm, welches während der Durchführung einzelner Versuchsdurchläufe genutzt wird. Des Weiteren entstanden einige Werkzeuge, die bei der Nachbereitung der Daten eine wichtige Rolle einnehmen. In diesen wurden beispielsweise Methoden implementiert, mit denen, auf Basis der Rohdaten, die im Versuch entstanden, Berechnungen zusätzlicher Informationen (wie zum Beispiel der angesprochenen Pfadlänge) ermöglicht werden. Außerdem entstand ein eigenständiges Werkzeug mit Hilfe dessen sich Daten zusammenfassen und exportieren lassen. Erwähnenswert ist weiterhin ein Programm, mit dem sich die Suchpfade aller Versuchspersonen, unter Verwendung vielfältiger Filteroptionen, anzeigen lassen. Diese Visualisierungssoftware wurde unter anderem dazu genutzt, einige der Abbildungen in der vorliegenden Arbeit zu erstellen.

Bei der Implementation der benötigten Software wurde ein besonderes Augenmerk darauf gelegt, eine hohe Wiederverwertbarkeit der Programmteile zu gewährleisten, welche bei der Durchführung anderer psychologischer Experimente genutzt werden können. So entstanden einige Klassen und Methoden, die verwendet werden können, um die Implementation einer neuen Versuchssoftware zu vereinfachen. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Umsetzung der Ablaufkontrolle erwähnt, die bei allen Experimenten, bei denen während eines Versuchsdurchlauf verschiedene Aufgaben oder unterschiedliche experimentelle Bedingungen durchlaufen werden, von Bedeutung ist. Für diese wurden verschiedene Klassen und Methoden so implementiert, dass sie mit nur leichten Anpassungen, für andere Experimente weiterverwendet werden kann.

## 7.6 Teilnehmer

Das Experiment wurde mit 39 Teilnehmern durchgeführt, die jeweils eine Vergütung von 7 EUR nach Beendigung des Versuches erhielten. 13 Teilnehmer waren weiblich und 26 männlich. Von den Probanden wurden 20 der PAN-Gruppe (davon 7 weiblich und 13 männlich) und 19 (6 weiblich und 13 männlich) der ZUI-Gruppe zugeteilt. Die Reihenfolge der zu verwendenden Eingabegeräte wurde ebenso balanciert, wie die Abfolge der dabei verwendeten Objektkonfigurationen.

## 7.7 Auswertung der Ergebnisse

Im Anschluss werden die Versuchsergebnisse vorgestellt und auf statistische Signifikanz überprüft. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die unabhängige Variable Eingabegerät als within-subjects Faktor umgesetzt wurde, werden also insbesondere die Differenzen der jeweiligen Leistungen der einzelnen

Versuchspersonen bezüglich der Bearbeitung der Suchaufgaben mit der Maus und der unter Verwendung des Touchscreens betrachtet. Die berichteten Werte sind hierbei ab der vierten Nachkommastelle gerundet. Für die Beurteilung der einzelnen Hypothesen wurde ein Konfidenzlevel von 95% verwendet. Korrelationen sind mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten nach Pearson beschrieben.

Bezüglich der unterschiedlichen Daten, die im Fragebogen erfasst wurden, sowie in Bezug auf die unterschiedlichen Reihenfolgen von Objektkonfigurationen und Eingabegeräten ergaben sich keine signifikanten Korrelationen, weshalb in der Folge die Ergebnisse ohne Berücksichtigung der erwähnten Charakteristika einzelner Versuchsdurchläufe berichtet werden.

Es ist jedoch festzuhalten, dass ein Großteil der Versuchsteilnehmer Studenten waren. Der Anteil lag bei 92,31%. Außerdem lag das Durchschnittsalter bei 22,282 Jahren (mit einer Standardabweichung von 2,6598). Es handelt sich also um eine Versuchspersonenauswahl, die nicht einen repräsentativen Ausschnitt aus der gesamten Gesellschaft darstellt. Die ermittelten Resultate zeichnen sich folglich dadurch aus, dass ihnen keine Allgemeingültigkeit zugesprochen werden kann und sie nur für vergleichbare Populationen gültig sind.

### 7.7.1 Auswertung der Auf- und Wiederfindeleistung

An dieser Stelle folgt eine Auswertung der Ergebnisse der auswertungsrelevanten Suchaufgaben, die von den Probanden während des Versuchablaufes zu absolvieren waren. Wie in Abschnitt 6.2.7 beschrieben, wurde die Leistung bezüglich der Auf- und Wiederfindeleistung der einzelnen Versuchspersonen bei der Bearbeitung der Suchaufgabe mit Hilfe des Performanzmaßes GesamtAWL beurteilt. An dieser Stelle seien noch einmal einige Charakteristika des Maßes erwähnt. Es handelt sich um ein relatives Maß, in dem sich das Verhältnis einzelner Durchgänge zu den besten Durchgängen bezüglich einzelner Objekte niederschlägt. Die untere Schranke beträgt hierbei 1 und stellt das bestmögliche Ergebnis dar. Je höher der Wert für die GesamtAWL ist, desto schlechter waren im Schnitt die einzelnen Leistungen während der Suchaufgabe. Hierzu ein kurzes Beispiel: eine GesamtAWL von 2,5 ließe sich so interpretieren, dass die Versuchsperson im Schnitt für jeden Suchvorgang bei der Navigation eine Pfadlänge benötigte, die 2,5 mal so lang war, wie die jeweilige kürzeste Pfadlänge die er für die entsprechenden Objekte benötigte. Aufgrund der Verwendung eines within-subjects Designs für die Variation der Bedingung Eingabegerät, ist hier die Differenz zwischen der in dem Performanzmaß widerspiegelten Leistung, die ein Proband unter Verwendung der Maus offenbarte und jener, die er bei Verwendung des Touchscreens erbrachte, von besonderem Interesse. Diese lässt sich mit einem gepaarten T-Test untersuchen. Bei einer gemeinsamen Betrachtung beider Versuchsgruppen ergab sich, dass die Auf- und Wiederfindeleistung bezüglich der gemessenen GesamtAWL im Schnitt um 0,1729 besser war, wenn zur Navigation der Touchscreen verwendet wurde, als wenn zur Interaktion die Maus benutzt wurde. Dieses entspricht einer Verbesserung der Leistung unter Verwendung des Touchscreens um 10,2204%. Die Standardabweichung betrug 0,3724. Der ermittelte Unterschied ist mit einem p-Wert von 0,003 in hohem Maße signifikant. Außerdem handelt es sich um einen starken Effekt, welches durch die Berechnung einer Korrelation für diesen Zusammenhang von Eingabegerät und Auf- und Wiederfindeleistung ermittelt wurde. Diese beträgt 0,674 und ist ebenfalls signifikant (p-Wert 0,0). Von besonderem Interesse ist

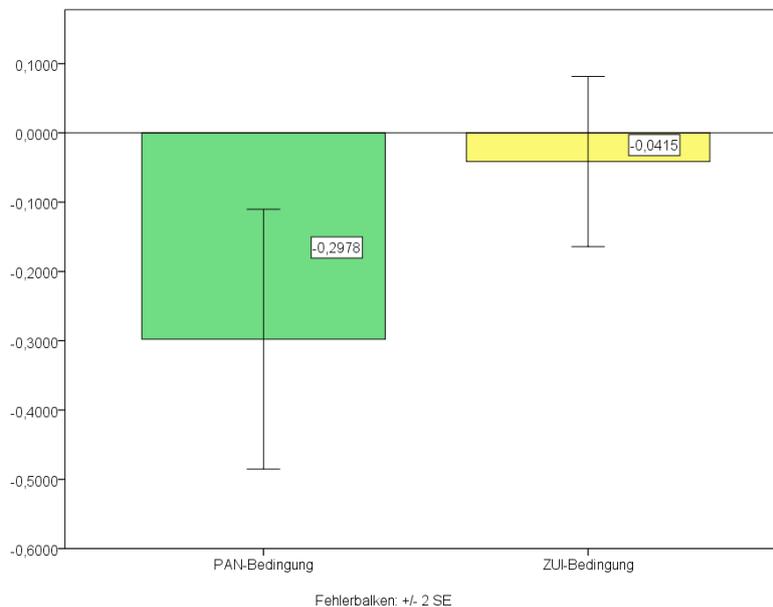


Abbildung 14: Vergleich der within-subject-Differenzen der GesamtAWL

jedoch des Weiteren der Einfluss der Variation der als between-subjects Faktor umgesetzten Variablen des Angebotes an Interaktionsmöglichkeiten (PAN und ZUI), weshalb im Anschluss eine aufgeschlüsselte Betrachtung der beobachteten Ergebnisse folgt. Zunächst wird hierbei die PAN-Gruppe betrachtet. In dieser ergab sich, dass die GesamtAWL im Schnitt um 0,2978 besser war, wenn als Eingabegerät der Touchscreen verwendet wurde. Dieses entspricht einer um 16,2985% besseren Leistung. Die Standardabweichung lag hier bei 0,4193. Das Ergebnis ist mit einem p-Wert von 0,0025 ebenfalls in hohem Maße signifikant. Die Effektgröße in Form der errechneten Korrelation liegt hierbei bei 0,718 und ist ebenfalls signifikant (p-Wert 0,0).

Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist die Tatsache, dass die Versuchspersonen für die Bearbeitung der Suchaufgabe mit dem Touchscreen innerhalb der PAN-Gruppe in signifikanter Weise (p-Wert des T-Tests: 0,000) länger benötigten, als bei Verwendung der Maus. Hierfür ergab sich eine Korrelation von 0,91. Um abschätzen zu können, ob diese Zeitunterschiede alleine schon das berichtete Ergebnis verursachten, wurde eine Korrelation zwischen dem Verhältnis der jeweiligen Zeiten, die Versuchspersonen für die Bearbeitung der Suchaufgabe mit den beiden Eingabegeräten benötigt hatten und den Leistungsunterschieden bezüglich der GesamtAWL ermittelt. Hierbei ergab sich eine schwache Korrelation von 0,15. Diese war zudem mit einem p-Wert von 0,362 eindeutig nicht signifikant. Die besseren Leistungen der Versuchspersonen mit dem Touchscreen lassen sich also nicht alleine aufgrund des beschriebenen Zeitunterschiedes erklären.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann folglich Hypothese H1 im Rahmen der PAN-Bedingung innerhalb des Experimentes angenommen werden. Es deutet sich jedoch bereits an, dass die Ergebnisse der ZUI-Gruppe einen geringeren

Effekt aufweisen, welches sich in der statistischen Analyse bestätigte. Bei Betrachtung der ZUI-Gruppe ergaben sich keine signifikanten Zeitunterschiede für die gesamte Bearbeitung der Aufgabe in Bezug auf das verwendete Eingabegerät. Innerhalb der ZUI-Gruppe war die GesamtAWL unter Verwendung des Touchscreens im Schnitt lediglich um 0,0415 besser als bei der Interaktion mit Hilfe der Maus. Dies entspricht einer Verbesserung der Leistung mit dem Touchscreen gegenüber der Maus um 3,8225%. Hier betrug die Standardabweichung 0,2677. Das Ergebnis ist insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass es mit einem p-Wert von 0,254 nicht signifikant ist. Die berechnete Korrelation zwischen Eingabegerät und Leistung war ebenfalls nicht signifikant und wird daher hier nicht berichtet. Im Rahmen der ZUI-Bedingung muss die Hypothese H1 also verworfen werden, auch wenn ein Effekt gemessen wurde, der im Schnitt die darin definierte Richtung des Unterschiedes aufweist.

Ein Zusammenhang zwischen den hier beobachteten Leistungsunterschieden und den unabhängigen Variablen PAN und ZUI war mit einem p-Wert von 0,03 signifikant. Hypothese H3 kann also in diesem Zusammenhang angenommen werden. Die Richtung des Zusammenhangs ist dadurch charakterisiert, dass die Leistungsunterschiede zwischen Touch- und Mausinteraktion innerhalb der PAN-Bedingung größer waren, als unter Betrachtung der ZUI-Bedingung.

Abbildung 14 zeigt ein Diagramm der hier beschriebenen Resultate. Eine Interpretation der Ergebnisse ist in Abschnitt 7.8 zu finden. An dieser Stelle sei außerdem angemerkt, dass sich im Anhang zwei weitere Diagramme befinden, in denen die einzelnen BlockAWLs dargestellt sind (eine Erklärung des Begriffes ist in Abschnitt 6.2.7 zu finden), unterteilt nach Maus- und Touchinteraktion. Jeweils eines für die PAN- und die ZUI-Gruppe. In diesen werden die Unterschiede, die sich zwischen der PAN- und der ZUI-Gruppe ergaben, ebenfalls detailliert erkennbar. Eine blockweise Analyse der gemessenen Werte brachte jedoch keine Erkenntnisse, die sich nicht bereits aus der Betrachtung der GesamtAWL ergaben und wird deshalb an dieser Stelle nicht näher erläutert.

### 7.7.2 Auswertung der Behaltensleistung

Im folgenden Abschnitt schließt sich nun eine Beurteilung der Resultate an, die sich bei der Bearbeitung der Rekonstruktionsaufgabe ergaben. Wie eingangs bereits erwähnt, wird in dieser Aufgabe insbesondere die Hypothese H2 überprüft. Dabei gilt es die explizite Behaltensleistung von Versuchspersonen zu überprüfen, die sie im Anschluss an die Ausführung einer Suchaufgabe offenbarten, bei der eines der beiden Eingabegeräte verwendet wurde. Es muss also unterschieden werden zwischen Rekonstruktionsaufgaben, denen eine Suchaufgabe voranging, die mit Hilfe des Touchscreens zu absolvieren war und solchen, bei denen vorher eine Bearbeitung der Suchaufgabe mit der Maus stattfand. Um das within-subjects Design zu berücksichtigen, in Form dessen die Variablen Maus und Touchscreen variiert wurden, ist auch hier eine Differenzbildung der Ergebnisse einzelner Versuchspersonen angebracht. Wie in Abschnitt 6.3.3 beschrieben wurde, wird die Behaltensleistung mit Hilfe der GesamtBL beschrieben. Die Differenzen zwischen den jeweiligen Ergebnissen von Versuchspersonen bezüglich dieses Maßes stellt hier die Grundlage für die Überprüfung der Hypothese dar. Bei einer Betrachtung beider Versuchsgruppen ergab sich, dass in den Rekonstruktionsaufgaben, denen eine Suchaufgabe unter Verwendung der Maus voranging, Leistung bezüglich der GesamtBL im Schnitt um 0,1283 schlechter

war, als wenn zuvor eine Suchaufgabe mit dem Touchscreen bearbeitet wurde. Hierfür ergab sich eine Standardabweichung von 0,4482 und eine Korrelation von 0,731. Dieses Resultat war mit einem p-Wert von 0,041 signifikant. Die Einschätzungen der Versuchspersonen lagen also durchschnittlich 0,1283 Zellen näher an den tatsächlichen Positionen. Bei einer aufgeschlüsselten Betrachtung ergibt sich jedoch die Erkenntnis, dass die Versuchspersonen der ZUI-Gruppe im Schnitt nach der Benutzung des Touchscreens sogar um 0,0488 Zellen schlechtere Schätzungen abgaben. 0,1866 betrug hierbei die Standardabweichung. Das Ergebnis zeichnete sich allerdings durch einen relativ hohen p-Wert von 0,135 aus und ist somit nicht signifikant. Im Gegensatz dazu erzielten die Teilnehmer der PAN-Gruppe wesentlich bessere Ergebnisse, wenn sie in der Suchaufgaben zuvor den Touchscreen verwendet hatten. Die durchschnittliche Differenz zwischen den Einschätzungen lag hier bei 0,2967 (mit einer Standardabweichung von 0,5546 und einem p-Wert von 0,0135). Um einen Einfluss der in Abschnitt 7.7.1 erwähnten Zeitunterschiede innerhalb der PAN-Gruppe auch in Bezug auf die Behaltensleistung zu überprüfen, wurde auch hier eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Hier ergab sich, wie schon für die Auf- und Wiederfindeleistung, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,173 (der p-Wert für die Korrelation lag bei 0,293) kein signifikanter Einfluss.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Hypothese H2 auch bezüglich der Behaltensleistung nur durch die Ergebnisse der PAN-Gruppe unterstützt wird. Für die ZUI-Gruppe muss sie hingegen verworfen werden.

Der in Hypothese H3 erwartete Zusammenhang zwischen der Leistung und den unabhängigen Variablen PAN und ZUI konnte auch im Hinblick auf die Behaltensleistung festgestellt werden. Er war mit einem p-Wert von 0,015 signifikant. Bezüglich der Richtung des Zusammenhanges lässt sich festhalten, dass hier die Leistungsvorteile, die sich aufgrund der Touchinteraktion ergaben, innerhalb der PAN-Gruppe größer waren als dieses in der ZUI-Gruppe der Fall war, in der sogar ein (jedoch nicht signifikanter) Nachteil der Verwendung des Touchscreens gemessen wurde.

## 7.8 Interpretation der Ergebnisse

Die in den Abschnitten 7.7.1 und 7.7.2 präsentierten Ergebnisse legen nahe, dass tatsächlich Vorteile existieren, die sich durch die Verwendung eines Touchscreens, für das Erlernen räumlich-visueller Merkmale einer virtuellen Informationslandschaft, ergeben. Im Rahmen der hier verwendeten PAN-Bedingung erreichten sie ein signifikantes Niveau. Die Tatsache, dass die Unterschiede dann geringer sind, wenn zur Interaktion zusätzlich eine weitere Navigationsoperation, das Zooming, zugelassen wird könnte mehrere Ursachen haben. Nach Ansicht des Autors liegt ein möglicher Erklärungsansatz darin, dass es sich bei dem Zooming, wie in Abschnitt 6.2.3 beschrieben, um eine vergleichsweise künstliche Interaktion handelt, die nicht auf einer Metapher aufbaut, die aus der realen Welt bekannt ist und folglich eine Abstraktion vom Benutzer verlangt, sowohl bei der Verwendung des Touchscreens, als auch bei Benutzung der Maus. Betrachtet man andererseits die Panningoperation isoliert, so kann man feststellen, dass bei ihr eine vergleichbare Abstraktion nur unter Verwendung der Maus, nicht jedoch bei der Touchinteraktion von Nöten ist. Bei der Interaktion mit Hilfe eines Touchscreens ist die dazu nötige Interaktion quasi eins zu eins aus der realen Welt übernommen, während bei der Verwendung der Maus

auch hier abstrahiert werden muss. Eine weitere mögliche Erklärung findet sich darin, dass es sich insbesondere bei der Panning-Geste unter Verwendung des Touchscreens um eine Interaktion handelt, die weitgehende Gemeinsamkeiten mit solchen (z.B. kommunikativen) Gesten aufweisen könnte, die in der realen Welt zum Einsatz kommen, die entsprechende Mausinteraktion andererseits nicht über diese Eigenschaft verfügt. Bei der Verwendung der Touchgeste könnten somit Gesetzmäßigkeiten gelten, die im Allgemeinen für die Verwendung von natürlichen Gesten angenommen werden.

Der in Hypothese H3 postulierte Zusammenhang zwischen den Vorteilen der Touchinteraktion und der Verwendung eines ZUIs, gegenüber einem System, in dem lediglich ein Panning möglich ist, konnte sowohl im Hinblick auf die Behaltensleistung, als auch bezüglich der Auf- und Wiederfindeleistung festgestellt werden. In beiden Fällen war die Richtung des Zusammenhanges derart, dass die Leistungsvorteile, die sich aufgrund der Touchinteraktion ergeben, in der PAN-Gruppe größer waren, als in der ZUI-Gruppe.

## 8 Fazit

In der hier vorgestellten Arbeit wurde ein Versuch beschrieben mit dem gezeigt werden sollte, dass die Touchinteraktion, in Bezug auf das Erlernen räumlich-visueller Merkmale einer virtuellen Informationslandschaft, der Eingabe mit Hilfe einer Computermaus überlegen ist. Das Experiment, welches zur Überprüfung dieser Hypothese durchgeführt wurde, konnte diese Frage nicht vollständig klären, allerdings legen die Ergebnisse nahe, dass ein solcher Zusammenhang tatsächlich besteht. Die Ausübung von Panningoperationen scheint besonders von der Touchinteraktion zu profitieren, während für die Bedingung, in der zusätzlich ein Zooming erlaubt wurde, nur geringe nicht signifikante Unterschiede festgestellt werden konnten.

Möchte man im Rahmen des Designs von Interaktionstechniken den beschriebenen Unterschied gezielt herbeiführen, um ihn im Anschluss soweit möglich ausnutzen zu können, so scheint eine elementare Anforderung das Abbilden von Interaktionen zu sein, die sich so nahe wie möglich an Vorbildern aus der Umwelt orientieren und dem Menschen aus der realen Welt bekannt sind, wie es für die für ein Panning auszuübende Geste bei Verwendung eines Touchscreens zu gelten scheint.

### 8.1 Ausblick

Zum Abschluss werden hier noch einige Ideen vorgestellt, die beschreiben, in welcher Art weitere Versuche gestaltet sein könnten, die sich an die hier gewonnenen Erkenntnisse anschließen und diese verfeinern.

Es wäre denkbar, dass ein Experiment, bei dem explizit die Rolle der Stereognosie bei der Touchinteraktion untersucht wird, aufschlussreiche Erkenntnisse liefern würde. Ein solcher Versuch könnte so aussehen, dass als unabhängige Variable die Bildung stereognostischen Feedbacks kontrolliert wird. Um dieses Feedback zu unterdrücken müsste man verhindern, dass sensorische Informationen in den Fingerspitzen gebildet werden oder diese zumindest verringern, was zum Beispiel durch das Tragen eines (dicken) Handschuhs erreicht werden könnte.

Eine weitere Idee wäre es, die Rolle des impliziten Wissens genauer erfassbar zu machen. In Anlehnung an Experimente, die zum Ziel hatten, genau dieses zu untersuchen, wäre es so denkbar, dass von den Versuchspersonen in einer ähnlichen Aufgabe, wie der hier beschriebenen Suchaufgabe, bei jedem Suchvorgang eine subjektive Einschätzung erfragt wird, in der sich widerspiegelt, wie sicher sie sich sind, den Ort des gesuchten Objektes zu kennen. Bei einem solchen Design könnten in der anschließenden Analyse Aussagen über die Wirkung des impliziten Wissens getroffen werden, zum Beispiel indem untersucht wird, ob die Navigation, die Versuchspersonen in den Trials ausgeführt haben, in denen sie der Ansicht waren, dass sie keine Erinnerung an den Ort des Objektes hatten, sich dennoch durch eine hohe Leistung auszeichnete.

Außerdem konnte in der Forschung zum impliziten Wissen festgestellt werden, dass Ablenkungen explizite Gedächtnisvorgänge stärker beeinflussen, als dieses für implizite der Fall ist. Ein auf dieser Feststellung basierender Test zur genauen Untersuchung des impliziten Wissens könnte folglich so aussehen, dass die Ausprägung einer ständigen Ablenkung als eine unabhängige Variable variiert wird. Ein derartiges Experiment wäre nicht zuletzt deshalb interessant, da sich in einem hohen Grad der Ablenkung eine für viele Computerprogramme typische Benutzungssituation widerspiegelt. Dieses gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Rolle, die mobile Geräte in unserem Leben spielen, in den vergangenen Jahren (sowohl in der Forschung als auch der Industrie) in großem Maße an Bedeutung gewonnen hat. Solche Geräte kommen in den unterschiedlichsten Situationen zum Einsatz, bei denen oftmals eine Ablenkung durch äußere Umstände nicht vermeidbar ist.

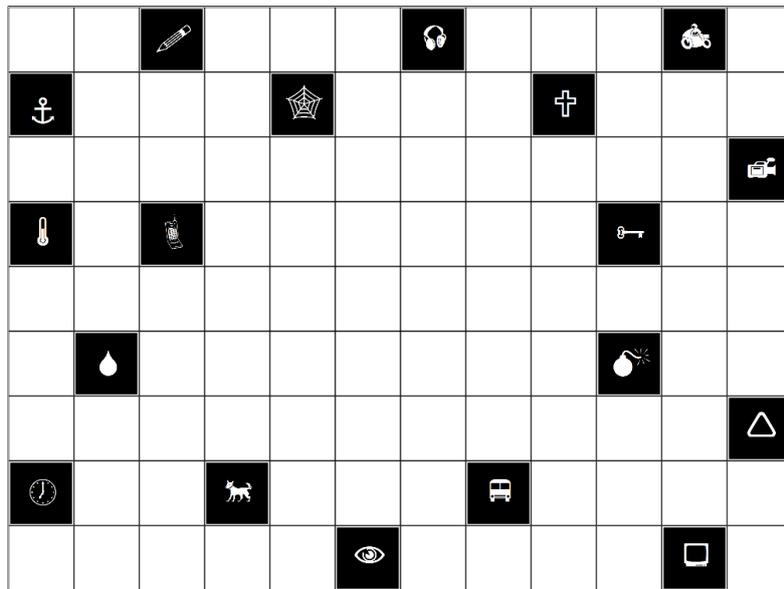
## Literatur

- [Bad00] Alan David Baddeley. The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11):417–423, 2000.
- [BH74] Alan David Baddeley and Graham J. Hitch. Working memory. In G. H. Bower, editor, *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, volume VIII, pages 47–90. Academic Press, New York, 1974.
- [Bir05] Niels Birbaumer. *Neuro- Und Sinnesphysiologie*. Springer, Berlin, 2005.
- [BSW07] K. Buser, T. Schneller, and K. Wildgrube. *Kurzlehrbuch medizinische Psychologie- medizinische Soziologie: Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog*. Urban & Fischer bei Elsev, 2007.
- [Des49] René Descartes. *Les passions de l'âme*. Henry Le Gras, Paris, 1649. Volltextversion verfügbar unter: <http://saobiennhatrang.com/thuvien/trietDescartes-passions.pdf> [Letzter Zugriff: 2.1.2011].
- [Dos93] Giovanni Dosi. Technological paradigms and technological trajectories : A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 22(2):102–103, April 1993.
- [Duu01] Peter Duus. *Neurologisch-topische Diagnostik*. Thieme Georg Verlag, 7. auflage edition, 2001.
- [Eng08] Andreas Engl. A framework for an infinitely zoomable information landscape, Oct 2008.
- [Gar83] Howard E. Gardner. *Frames Of Mind: The Theory Of Multiple Intelligences*. Basic Books, 1983.
- [Ger06] Jens Gerken. *Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen unter besonderer Berücksichtigung kognitionspsychologischer Erkenntnisse*. mastersthesis, University of Konstanz, Dec 2006.
- [Gou02] Stephen Gourlay. Tacit knowledge, tacit knowing or behaving? In *3rd European Organizational Knowledge, Learning, and Capabilities conference, Athens, Greece, 5-6 April, 2002*.
- [JGH<sup>+</sup>08] Robert J. K. Jacob, Audrey Girouard, Leanne M. Hirshfield, Michael S. Horn, Orit Shaer, Erin Treacy Solovey, and Jamie Zigelbaum. Reality-based interaction: a framework for post-wimp interfaces. In *Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems, Florence, Italy*, pages 201–210. ACM, April 2008.
- [Kap07] Victor Kaptelinin. *Beyond the Desktop Metaphor*. MIT Press, Cambridge, 2007.

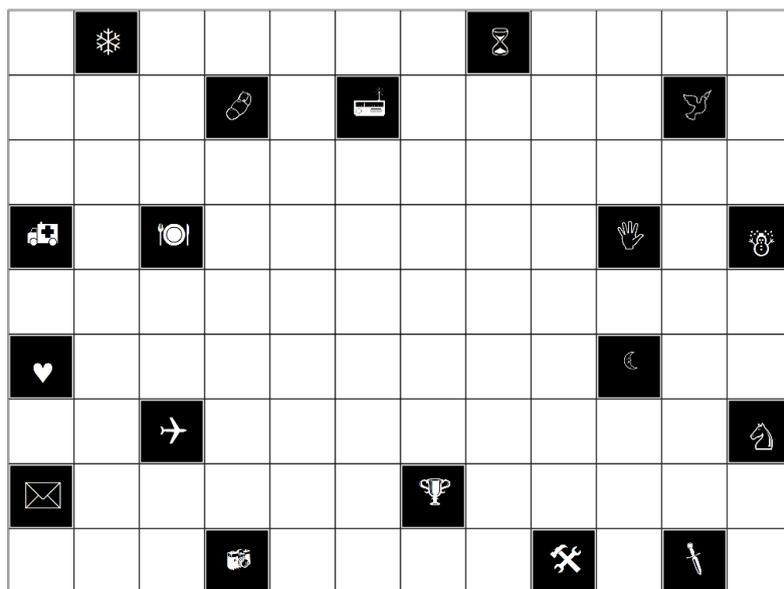
- [Kat06] Dinesh S. Katre. Recognition is recall: Paraphrasing the heuristic. *HCI Vistas*, 2, 2006.
- [KMK<sup>+</sup>] Robert M. Krauss, Ezequiel Morsella, Robert M. Krauss, Ezequiel Morsella, and Robert M. Krauss. Movement facilitates speech movement facilitates speech production: A gestural feedback model.
- [Kuh96] Thomas Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 1996.
- [Nie94] Jakob Nielsen. *Usability Inspection Methods*. Wiley, New York, 1994.
- [Pol62] Michael Polányi. *Personal Knowledge*. University of Chicago Press, Chicago, 1962.
- [Pol66] Michael Polányi. *The Tacit Dimension*. Routledge, London, 1966.
- [RCL<sup>+</sup>98] George Robertson, Mary Czerwinski, Kevin Larson, Daniel C. Robbins, David Thiel, and Maarten van Dantzich. Data mountain: using spatial memory for document management. In *Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '98, pages 153–162, New York, NY, USA, 1998. ACM.
- [Rie09] Martin Rieger. Neuartige eingabegeräte: Technophobie, lerneffekte und akzeptanz. mastersthesis, University of Konstanz, Jan 2009. Master-Thesis.
- [RWW01] Donna Keutmann Richard Wesp, Jennifer Hesse and Karen Wheaton. The role of gestures in spatial working memory and speech. *The American journal of psychology*, (4):591–600, 2001.
- [Sch87] Daniel L Schacter. Implicit memory: History and current status. *Journal Of Experimental Psychology. Learning Memory And Cognition*, 13(3):501–518, 1987.
- [Sla05] Robert E. Slavin. *Educational Psychology: Theory and Practice (8th Edition)*. Allyn & Bacon, 2005.
- [Tip02] Rudolf Tippelt, editor. *Handbuch Bildungsforschung*. Leske + Budrich, Opladen, 2002.
- [TPSP02] Desney S. Tan, Randy Pausch, Jeanine K. Stefanucci, and Dennis R. Proffitt. Kinesthetic cues aid spatial memory. In *CHI '02 extended abstracts on Human factors in computing systems*, CHI '02, pages 806–807, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [Vin99] Norman G. Vinson. Design guidelines for landmarks to support navigation in virtual environments. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit*, CHI '99, pages 278–285, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [Wil02] Margaret Wilson. Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9:625–636, 2002.

# Anhang

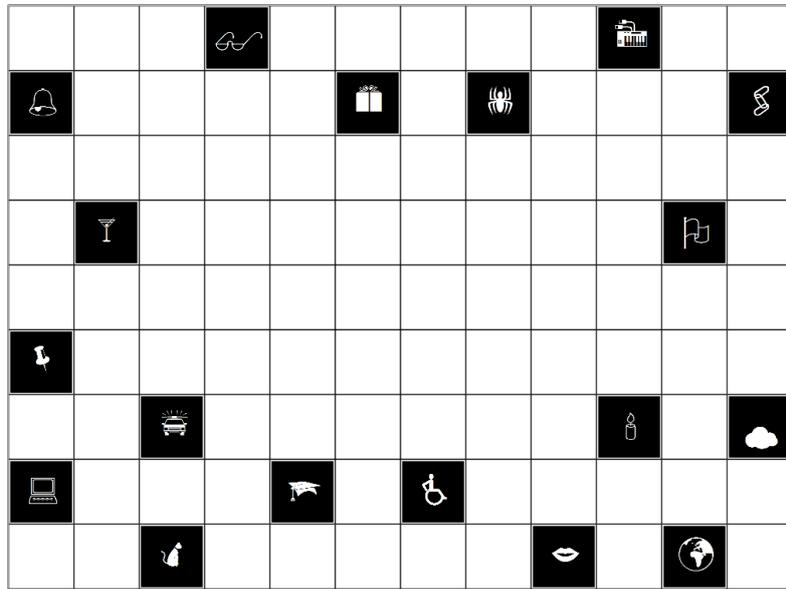
## Objektkonfigurationen



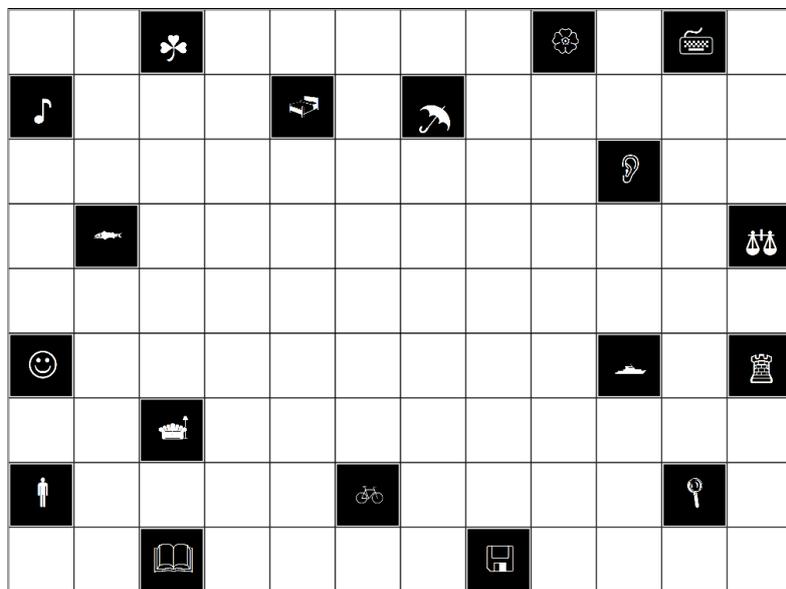
Konfiguration 1



Konfiguration 2

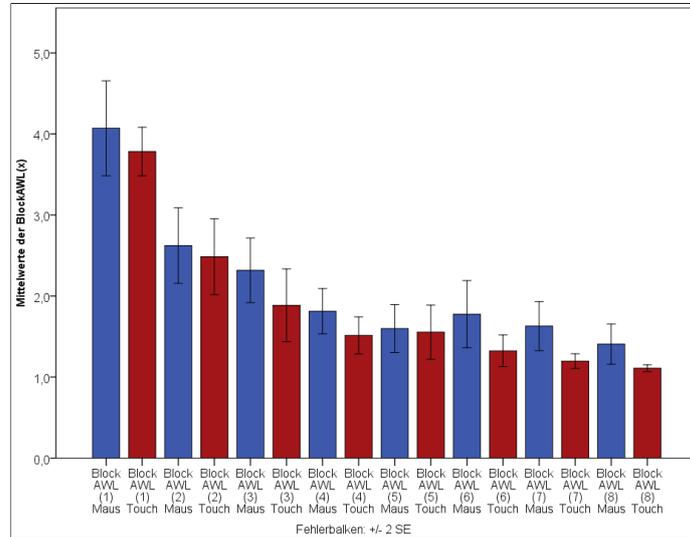


Konfiguration 3



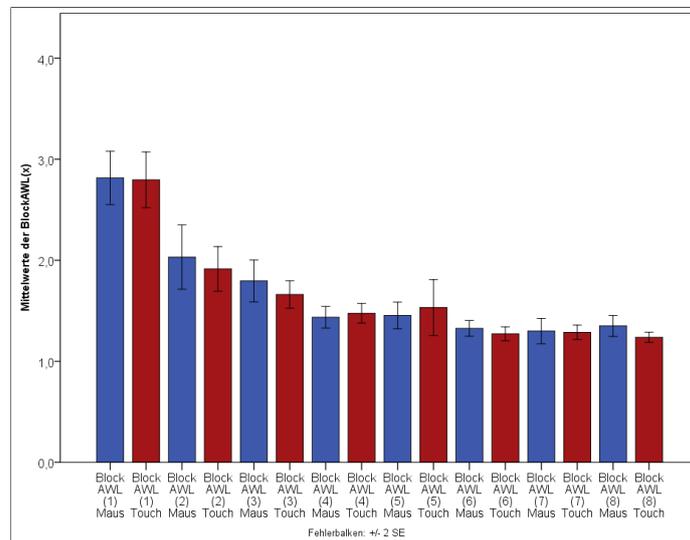
Konfiguration 4

## Durchschnittliche BlockAWLs der PAN-Gruppe



Hier sind die einzelnen Durchschnitte der BlockAWLs der PAN-Gruppe dargestellt. Blau markiert sind hierbei die Durchschnitte der gemessenen Werte in den Suchaufgaben, die mit der Maus bearbeitet wurden. An der roten Einfärbung sind Resultate der Suchaufgaben, die mit Hilfe des Touchscreens absolviert wurden, zu erkennen.

## Durchschnittliche BlockAWLs der ZUI-Gruppe



Hier sind die einzelnen Durchschnitte der BlockAWLs der ZUI-Gruppe dargestellt. Blau markiert sind hierbei die Durchschnitte der gemessenen Werte in den Suchaufgaben, die mit der Maus bearbeitet wurden. An der roten Einfärbung sind Resultate der Suchaufgaben, die mit Hilfe des Touchscreens absolviert wurden, zu erkennen.