

Universität Konstanz  
FB Informatik und Informationswissenschaft  
Master-Studiengang Information Engineering

## **Masterarbeit**

**Orientierung und Navigation in zoombaren  
Benutzerschnittstellen unter besonderer Berücksichtigung  
kognitions-psychologischer Erkenntnisse**

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

**Studienfach:** Information Engineering  
**Schwerpunkt:** Computer Science  
**Themengebiet:** Angewandte Informatik

von

**Jens Gerken**

**Matr.-Nr.:** 01/473804  
**Erstgutachter:** Prof. Dr. Harald Reiterer  
**Zweitgutachter:** Prof. Dr. Ronald Hübner  
**Einreichung:** 07. Dezember 2006

## Zusammenfassung

Zoombare Benutzerschnittstellen (ZUIs) ermöglichen es dem Anwender, auf Informationsobjekte in einer natürlichen, visuell-räumlichen Art und Weise zuzugreifen. Anstelle der Navigation in abstrakten Hierarchien und Strukturen kann der Benutzer visuell-räumlich durch Zooming und Panning in einer unendlichen Informationslandschaft navigieren. Die Position der Informationsobjekte bestimmt sich dabei durch deren Platzierung und Skalierung im Raum. Hierdurch wird eine Analogie zu der Navigation in der realen Umwelt hergestellt, in welcher der Mensch beispielsweise auf Objekte näher zugeht, um mehr Details sehen zu können oder diese im Raum relativ zueinander platziert, um sich später besser erinnern zu können, welches Objekt wo zu finden ist. Durch die Übertragung dieser Konzepte auf die Gestaltung von Benutzerschnittstellen sollen die kognitiven Fähigkeiten des Menschen, welche auf diese natürlichen visuell-räumlichen Formen der Navigation und Orientierung seit Jahrtausenden trainiert wurden, besser unterstützt werden. Dabei werden allerdings auch Probleme übernommen, die es zu meistern gilt. Wie in der realen Welt, besteht die Gefahr, dass der Benutzer die Orientierung verliert und seine eigene Position im Verhältnis zur Informationslandschaft nicht mehr bestimmen kann.

Am Beispiel des zoombaren Punktdiagramms *ZuiScat* werden im ersten Teil dieser Arbeit drei Interaktions- und Navigationskonzepte empirisch in zwei Experimenten mit jeweils 24 Teilnehmern untersucht, um festzustellen, inwieweit sie dazu beitragen können, diese Probleme zu vermeiden. *ZuiScat* wurde dabei speziell für kleine Bildschirme, wie die von *Personal Digital Assistants* (PDAs), entworfen. Die Ergebnisse zeigen, dass von den Benutzern eine Unterstützung bei der Orientierung und Navigation durchaus gewünscht ist und hierbei eine *Fischauge*-Verzerrungstechnik am viel versprechendsten erscheint. Diese vergrößert vom Anwender spezifizierte Bereiche und ermöglicht durch eine Verzerrung des Kontextes jedoch dennoch, diesen weiterhin im Blick zu behalten. Eine Alternative hierzu stellt ein zusätzliches Übersichtsfenster dar, welches im Sinne einer Übersichtskarte stets die eigene Position aufzeigt. Aufgrund der beschränkten Bildschirmgröße und der hiermit zusätzlich noch erschwerten Interaktion konnte sich diese Variante für das Beispiel *ZuiScat* jedoch nicht bewähren. Im Falle von anderen Voraussetzungen bezüglich Bildschirmgröße und Eingabegeräte sollte es jedoch als mögliche Alternative in Erwägung gezogen werden.

Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit der Orientierung und Navigation in der realen Umwelt. Hierbei werden zunächst durch eine Einführung in die Konstrukte *Spatial Ability*, *Wayfinding* und *kognitive Karten* die theoretischen Grundlagen gelegt. Dabei werden die wichtigsten Navigationsstrategien identifiziert, bei welchen insbesondere den *Landmarken* eine entscheidende Bedeutung zukommt. Landmarken sind auffälligen Objekte oder Merkmale der Umgebung, welche diese strukturieren und zur Orientierung dienen können. Weiterhin können mit ihnen auch Bewegungsentscheidungen verknüpft werden

und somit die Basis für weitere Navigationsstrategien wie Routennavigation und kognitive Karten gelegt werden. Des Weiteren werden die neuronalen Erkenntnisse bezüglich dieser Thematik näher beleuchtet und insbesondere vorgestellt, wie so genannte *Place Cells* im menschlichen *Hippocampus* eine Repräsentation der Umwelt bilden. Allerdings existieren hier noch viele offene Fragen, die erst in den kommenden Jahren durch verbesserte technologische Untersuchungsmöglichkeiten möglicherweise beantwortet werden können. Weitere Fragestellungen betreffen die Form der Repräsentation der Umwelt im Gehirn sowie die Struktur der Speicherung. Hierbei zeigt sich, dass das menschliche Gehirn stark mit Hierarchien arbeitet und somit visuelle Hierarchien wie beispielsweise Regionen in einer Landschaft einen starken Einfluss sowohl auf die Navigation als auch auf das Erlernen dieser Landschaft haben. Ebenso wird beleuchtet, wie Orientierung und Navigation gemessen werden und welche Schwierigkeiten sich hierbei ergeben. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung sowie dem Versuch, aus den Erkenntnissen des zweiten Teils Ideen zu generieren, welche das Design von zoombaren Benutzerschnittstellen bezüglich Orientierung und Navigation nachhaltig verbessern könnten.

## Abstract

Zoomable User Interfaces (ZUIs) allow access to information-objects in a natural and visual-spatial way. Instead of navigating in abstract hierarchies and structures, the user can navigate in an infinite information landscape by zooming and panning. Information-objects are therefore organized in space and scale, which allows the user to navigate analogue to the real world. If someone would like to access more information about an object in the real world they simply step closer to it. In a similar way, the knowledge about the location of objects can be compared to remembering where one has placed a certain book on the table. By transferring these concepts to the design of user interfaces it is made better use of the cognitive abilities of people, which have been specialized for these natural visual-spatial ways of navigation and orientation since many centuries. However this also implies some problems, which have to be considered. As in the real world, there is a certain danger of getting lost in such an infinite information landscape.

The first part of this thesis will introduce the zoomable scatterplot ZuiScat and three different types of interaction- and navigation techniques. ZuiScat was especially developed for small screens, e.g. those used for Personal Digital Assistants (PDAs). Two experiments are presented, each including 24 participants, which analyse in which way those interaction techniques help to avoid problems in navigation and orientation. The results show, that users clearly ask for support as far as orientation and navigation are concerned and that the fisheye-distortion interaction technique seems to be the most promising one. This technique enlarges specific, user defined parts of the information space but allows staying orientated by distorting instead of discarding the context. An alternative to this approach would be an additional overview window, which allows for reorientation similar to an overview map. Taking into account the limited screen size which also complicates interaction, the second technique did not prove useful in the case of ZuiScat. Given different preconditions in terms of screen size and input devices it should nevertheless be considered as an alternative.

The second part of this thesis deals with orientation and navigation in the real world. At first the basic theoretical foundations of *Spatial Ability*, *Wayfinding* and *Cognitive Maps* are introduced. The main navigation strategies are identified, which especially emphasize the relevance of *Landmarks*. Landmarks are described as distinctive objects or features of the environment, which can be linked to movement decisions. Furthermore they help in structuring the environment and support people in orientation matters. Therefore it can be said that they form the basis for route navigation and cognitive maps.

Furthermore the neuronal findings regarding cognitive representation of space are presented. Special importance is assigned to the Place Cells in the Hippocampus, which somehow are thought to represent the environment in a cognitive map. However this

field of research still has many questions to answer, which hopefully can be addressed in the next couple of years with the help of improved technological analysis possibilities.

Some other topics that are addressed in this part are for example the structure of spatial memory. Many empirical studies support the hypothesis that our spatial environment is stored in hierarchies and that visual hierarchies embedded in an environment can have a large impact on navigation as well as on learning the environment. Another aspect is the measurement of navigation and orientation performance and the related problems.

The thesis closes with a summary of the topics presented and the effort to generate ideas for the design of zoomable user interfaces based on the psychological findings regarding orientation and navigation in the real world discussed in the second part.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung &amp; Motivation</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Teil 1: Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen</b>	<b>10</b>
2.1	Zoombare Benutzerschnittstellen . . . . .	10
2.1.1	Kurzer Abriss der geschichtlichen Entwicklung von ZUIs . . . . .	12
2.1.2	Die HyperGrid . . . . .	13
2.1.3	ZOIL . . . . .	14
2.1.4	Vorteile von ZUIs . . . . .	15
2.1.5	Einfluss von individuellen Unterschieden . . . . .	16
2.2	ZuiScat – ein zoombares Punktdiagramm . . . . .	17
2.2.1	Punktdiagramme . . . . .	18
2.2.2	Interaktive Punktdiagramme . . . . .	20
2.2.3	ZuiScat – Vorstellung der Interface-Varianten . . . . .	21
2.3	Experimente – eine Übersicht . . . . .	28
2.4	Experiment 1 – Detail-Only vs. Overview+Detail Interface . . . . .	29
2.4.1	Bisherige Untersuchungen zur Usability von O+D Interfaces . . . . .	30
2.4.2	Einfluss der Spatial Ability . . . . .	31
2.4.3	Hypothesen . . . . .	31
2.4.4	Teilnehmer . . . . .	33
2.4.5	Materialien . . . . .	33
2.4.6	Aufgaben . . . . .	33
2.4.7	Experimentelles Design . . . . .	34
2.4.8	Ablauf . . . . .	35
2.4.9	Ergebnisse . . . . .	35
2.5	Experiment 2 – Fischauge-Verzerrung vs. geometrisch-semantisches ZUI . . . . .	42
2.5.1	Änderungen am geometrisch-semantisches ZUI . . . . .	42
2.5.2	Hypothesen . . . . .	43
2.5.3	Teilnehmer . . . . .	44
2.5.4	Materialien . . . . .	45
2.5.5	Aufgaben . . . . .	46
2.5.6	Experimentelles Design . . . . .	47
2.5.7	Ablauf . . . . .	47
2.5.8	Ergebnisse . . . . .	48
<b>3</b>	<b>Teil 2: Orientierung und Navigation in der realen Umwelt</b>	<b>53</b>

---

3.1	Spatial Ability . . . . .	53
3.1.1	Psychometrische Perspektive . . . . .	54
3.2	Wayfinding & Kognitive Karten . . . . .	58
3.2.1	Landmarken . . . . .	62
3.2.2	Kognitive Karten . . . . .	67
3.3	Eine neuronale Perspektive auf menschliche Navigation und Orientierung	73
3.3.1	Defekte am Hippocampus und deren Folgen . . . . .	74
3.3.2	Die Place Cells im Hippocampus . . . . .	75
3.3.3	Was „wissen“ Place Cells? . . . . .	76
3.3.4	Place Cells und Navigation . . . . .	78
3.4	Ist die räumliche Repräsentation egozentrisch oder allozentrisch? . . . . .	80
3.4.1	„Karten“ als Kommunikationsmittel – eine egozentrische Perspektive	80
3.4.2	Egozentrische & allozentrische Repräsentationen existieren gemein- sam . . . . .	81
3.5	Welche Struktur besitzt das räumliche Gedächtnis? Welchen Einfluss ha- ben Regionen? . . . . .	84
3.5.1	Working Memory . . . . .	84
3.5.2	Route-learning . . . . .	86
3.5.3	Object-Location Memory (Objekt-Lokations Gedächtnis) . . . . .	87
3.5.4	Aufbau des Spatial Memory . . . . .	87
3.6	Kann räumliches Wissen automatisch aufgenommen werden? . . . . .	93
3.7	Welche Unterschiede existieren zwischen virtuellen Umgebungen und der realen Umwelt? . . . . .	95
3.8	Wie kann Orientierungs- und Navigationsleistung gemessen werden? . . . . .	99
3.8.1	Landmarkenwissen . . . . .	100
3.8.2	Routenwissen . . . . .	100
3.8.3	Überblickswissen . . . . .	101
3.8.4	Schwierigkeiten des Messens . . . . .	101
3.8.5	Navigationsleistung erfassen durch psychometrische Tests? . . . . .	102
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Fazit</b>	<b>105</b>
4.1	Zusammenfassung . . . . .	105
4.1.1	Teil 1: Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnitt- stellen . . . . .	105
4.1.2	Teil 2: Orientierung und Navigation in der realen Umwelt . . . . .	108
4.2	Fazit . . . . .	116
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>119</b>

# 1 Einleitung & Motivation

Gängige graphische Benutzerschnittstellen wie MS Windows<sup>1</sup> bieten dem Anwender einen graphischen und somit visuellen Zugang zu Informationsräumen. Dieser visuelle Zugang zieht sich allerdings nur bedingt durch das gesamte System. Vielmehr sind an vielen Stellen die Erben der abstrakten, rein textuellen Benutzerschnittstellen wie DOS<sup>2</sup> oder UNIX<sup>3</sup> noch deutlich zu erkennen. Hierzu gehört beispielsweise die Darstellung des Dateisystems, welches dem Benutzer zwar visuell in Form von Baumstrukturen präsentiert wird, die Interaktion jedoch auf einer abstrakten Ebene erfolgt. Ein Ordner hat beispielsweise keine fixe Position im Raum sondern lediglich innerhalb der Baumstruktur. Zudem kann der Zugriff beispielsweise auf Dokumente auch innerhalb der Anwendung direkt geschehen – dies erschwert es dem Benutzer, eine mentale Repräsentation des Informationsraumes aufzubauen und somit auch das Finden eines Objekts. Manche Benutzer versuchen daher erst gar nicht, die komplexen Strukturen zu verstehen sondern vertrauen bei der Navigation auf „Kochrezepte“, also sequentielle Anweisungen, die Schritt für Schritt darlegen, wie zum Beispiel ein Textdokument erstellt, ausgedruckt und abgespeichert werden kann.

Zoombare Benutzerschnittstellen (ZUIs) versuchen an dieser Stelle anzusetzen, indem sie den Anwendern einen nahezu vollständig visuell-räumlichen Zugang zu Informationsräumen bieten. Die Grundidee dabei ist, die Orientierung und Navigation in diesen der realen Umwelt näher anzugleichen, um so die hierfür spezialisierten kognitiven Fähigkeiten des menschlichen Gehirns nutzen zu können. Dieses ist seit Jahrtausenden auf die Navigation und Orientierung in der realen Welt trainiert und dementsprechend weit entwickelt sind die hierzu benötigten Fähigkeiten. Die Navigation in rein abstrakten Informationsräumen ist hingegen weitgehend ungewohnt und muss oft erst mühevoll erlernt werden. Der Benutzer navigiert in einem ZUI daher nicht mehr abstrakt in Baumstrukturen, sondern visuell-räumlich in einer flachen, unendlichen großen Informationslandschaft, in welcher die Position der Informationsobjekte durch ihre unterschiedliche Platzierung und Skalierung im Raum festgelegt wird. Hierzu ermöglichen Interaktionstechniken wie Zooming und Panning, also das optische (oder auch semantische, wie in Kapitel 2.1 gezeigt werden wird) Vergrößern von interessanten Bereichen sowie das Verschieben des Bildausschnitts, weitere Analogien zu der Navigation in der realen Welt. Völlig problemlos erfolgt die Navigation und Orientierung allerdings auch

---

<sup>1</sup><http://www.windows.com>

<sup>2</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/DOS>

<sup>3</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/UNIX>



in diesen zoombaren Benutzerschnittstellen nicht, was nachvollziehbar ist, denn ohne Hilfen kann sich der Mensch auch in seiner realen Umwelt schnell verirren, wenn die Umgebung neu und unbekannt ist. Bei ZUIs tritt dieser Fall zumeist ein, wenn Objekte durch Zooming aus dem Sichtfeld treten und zu wenig visuelle Hinweise gegeben sind, die dem Benutzer die eigene Position relativ zu der Umgebung vermitteln können. Der Benutzer verliert sich somit im *Zoom-Space*. Es existieren allerdings Möglichkeiten, diese Problematik zu umgehen. Zum einen kann ein animierter Zoom es dem Anwender erleichtern, die Skalierungsänderung nachzuvollziehen und somit auch weiterhin die eigene Position einschätzen zu können. Eine weitere Möglichkeit stellt ein zusätzliches Übersichtsfenster dar, welches ständig den gesamten Informationsraum darstellt sowie die Position des momentan gerade gezoomten Ausschnitts. Einen ähnlichen Ansatz verwenden Focus+Context Techniken. In diesen wird ein gewählter Bereich vergrößert – anders als bei einem gewöhnlichen Zoom verschwindet die Umgebung des Bereichs jedoch nicht komplett aus dem Sichtfeld, sondern wird verzerrt an den Rand der Darstellung gedrückt. Hierdurch ist es dem Benutzer weiterhin möglich zu erkennen, wo in der Informationslandschaft eventuell weitere interessante Objekte sind und wie, sprich in welche Richtung, er dorthin navigieren muss.

Der erste Teil dieser Arbeit (Kapitel 2) hat zum Ziel, diese drei unterschiedlichen Interaktionstechniken auf ihren Nutzen in einem zoombaren Punktdiagramm hin empirisch zu prüfen, wobei der Fokus auf dem Aspekt der Erleichterung von Navigation und Orientierung liegt. Hierzu wurden zwei Experimente durchgeführt, welche in den Kapiteln 2.4 sowie 2.5 ausführlich erläutert und diskutiert werden.

Der zweite Teil der Arbeit (Kapitel 3) befasst sich mit der Orientierung und Navigation in der realen Umwelt. Hierbei sollen die grundlegenden Navigationsstrategien und Modelle vorgestellt, sowie einzelne Fragestellungen herausgegriffen werden – beispielsweise inwieweit mentale Repräsentationen im Gedächtnis hierarchisch abgespeichert werden und was dies für die Orientierung und Navigation in der Umwelt bedeutet.

In Kapitel 4 erfolgen eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus diesen beiden Teilen sowie der Versuch, die Erkenntnisse des zweiten Teils in Bezug zu der Gestaltung von zoombaren Benutzerschnittstellen zu setzen.

## 2 Teil 1: Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen

Der erste Teil dieser Arbeit befasst sich mit dem Problem der Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen. Hierzu werden zunächst die grundlegenden Konzepte sowie einige Beispiele für ZUIs vorgestellt. Anschließend werden zwei Experimente präsentiert, welche für das zoombare Punktdiagramm ZuiScat den Einfluss von unterschiedlichen Interaktionstechniken auf Orientierung und Navigation feststellen sollten.

### 2.1 Zoombare Benutzerschnittstellen

Eine Grundsatzfrage die die Gestaltung von Benutzerschnittstellen von Anfang an begleitet hat, ist jene wie die Navigation in Informationsräumen erleichtert werden kann. Grafische Benutzeroberflächen wie sie in heutigen Systemen wie Microsoft Windows immer noch verwendet werden, waren hierzu ein erster Schritt, um von der rein abstrakten, textuellen Repräsentation von Informationsobjekten, wie sie bei Systemen wie Unix oder Dos vorherrschen Abstand zu nehmen und dem Benutzer etwas „Greifbares“ zu präsentieren. Zoombare Benutzerschnittstellen (englisch: Zoomable User Interfaces – ZUIs) gehen hier noch einen Schritt weiter, indem sie versuchen die Navigation in Informationsräumen an jener in realen Umgebungen noch stärker anzunähern. Der Vorteil, der sich davon versprechen lässt ist, dass das Gehirn seit Tausenden von Jahren geschult wurde, in der realen Welt zu navigieren, es sich somit auf diese Aufgabe spezialisiert hat. Wenn es gelingt diese Konzepte auf Benutzerschnittstellen zu übertragen, könnte das Gehirn auf bewährte Konzepte zurückgreifen und müsste sich nicht völlig unbekanntem Herausforderungen stellen. [Perlin & Fox, 1993] formulieren diese generelle Annahme wie folgt: „...navigation in information spaces is best supported by tapping into our natural spatial and geographic way of thinking“. Objekte sollen im Informationsraum also nicht mehr abstrakt in Baumstrukturen oder virtuellen Hierarchien angeordnet werden, sondern visuell und räumlich durch ihre Platzierung und Skalierung im Raum. Dabei ist allerdings keine dreidimensionale Umgebung gemeint, welche einige der Probleme der Navigation in der realen Welt mit sich bringen würden, wie beispielsweise mehrfache Perspektiven von Objekten oder die Notwendigkeit mentale Rotationen und Transformationen durchzuführen. Die Grundidee eines ZUIs schlägt vielmehr eine unendliche

Informationslandschaft vor, welche zwar flach ist, aber in der Informationsobjekte in unterschiedlicher Skalierung platziert werden können. Die Navigation in dieser Informationslandschaft erfolgt dabei vornehmlich über Zooming und Panning. Durch Zoom-In, also einem Hereinzoomen nähert sich der Betrachter den Objekten an, die Darstellung vergrößert sich also – bildlich gesprochen taucht der Benutzer in die Informationslandschaft ein. Technisch gesehen bewegt er sich hierbei auf der z-Achse vorwärts. Mittels einem Zoom-Out kann diese Bewegung wieder umgekehrt werden und die Informationsobjekte entfernen sich wieder vom Betrachter. Panning ermöglicht die Navigation auf der x- und y-Achse. Der Betrachter verschiebt hierbei den aktuell sichtbaren Ausschnitt in die gewünschte Richtung um so Objekte außerhalb des Sichtfeldes erreichen zu können. Ein wichtiger Aspekt bei der Navigation durch Zooming wird in der visuellen Darstellung gesehen. Man geht hierbei davon aus, dass durch eine kontinuierliche Animation es dem Benutzer deutlich erleichtert wird, die Bewegung nachzuvollziehen und somit mental auch den Informationsraum erfassen zu können, oder wie [Bederson & Boltman, 1999] es ausdrücken: „...animation improves users’ ability to reconstruct the information space...“. Zudem existieren verschiedene Zooming Techniken, wovon zwei insbesondere hervorzuheben sind, geometrisches Zooming sowie semantisches Zooming. Ersteres entspricht dabei dem intuitiven Verständnis des Begriffs Zooming. Es erfolgt eine optische Vergrößerung der aktuellen Ansicht, also eine Änderung der Skalierung, wie beispielsweise durch das Auslösen des Zooms bei einer Kamera (siehe Abbildung 2.1).



Abbildung 2.1: Geometrischer Zoom (anhand von ZOIL illustriert) – links Überblicksdarstellung, rechts Zoom auf Bereich „Projects“ [König, 2006].

[Perlin & Fox, 1993] entwarfen darüber hinaus das Konzept eines semantischen Zooms. Bei diesem ändert sich durch das Zooming nicht die Größe sondern der Inhalt eines Informationsobjekts. Das Zooming erfolgt somit auf einer abstrakten, rein inhaltlichen Ebene. Zumeist wird jedoch semantisches Zooming mit geometrischem kombiniert. Dies hat den Hintergrund, dass hierdurch der zur Verfügung stehende Platz, welcher durch einen geometrischen Zoom-In einem Informationsobjekt zukommt, besser genutzt werden kann. Je nach geometrischer Distanz werden somit unterschiedliche Repräsentationen für ein Informationsobjekt gewählt. Dies soll an dem Beispiel eines PDF Dokuments, welches in einer solchen Informationslandschaft platziert wurde, illustriert werden. In großer Entfernung, also bei einer geringen Skalierung ist das Dokument beispielsweise nur durch ein

kleines Logo symbolisiert. Zoomt der Anwender nun näher heran, so ändert sich dieses nach und nach, so dass beispielsweise zunächst Metadaten wie Dokumentgröße und Autor eingeblendet werden, bis dann schließlich der Text sichtbar wird und sich im Idealfall das Dokument direkt bearbeiten lässt. [König, 2006] drückt den Nutzen eines semantischen Zoomings daher auch wie folgt aus: „Im Optimalfall steht dem Anwender mittels semantischem Zooming bei jeder Skalierung eine gut wahrnehmbare und sinntragende Objektdarstellung zur Verfügung“ (siehe Abbildung 2.2).

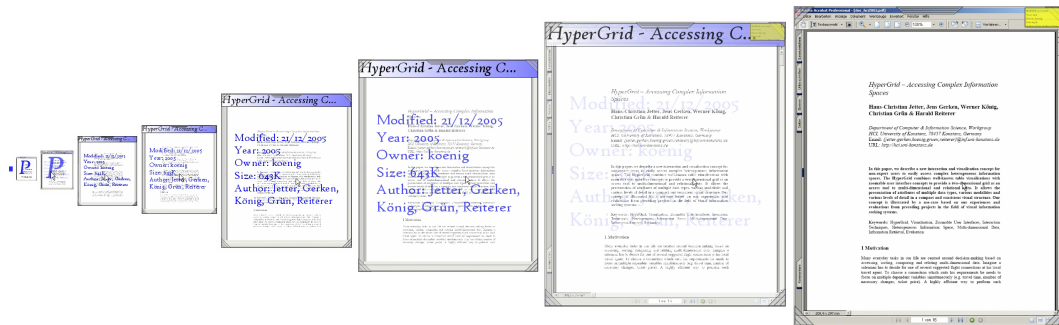


Abbildung 2.2: Illustration des semantischen Zooms anhand von ZOIL [König, 2006].

### 2.1.1 Kurzer Abriss der geschichtlichen Entwicklung von ZUIs

Die Entwicklung der Idee eines ZUI kann dabei bis zu [Donelson, 1978] und dessen Konzept eines Spatial Data Management System zurückgeführt werden. Die Idee wurde daraufhin allerdings erst 1993 von [Perlin & Fox, 1993] wieder aufgegriffen, welche das System Pad entwickelten, bei welchem in einer zwei-dimensionalen Ebene so genannte Pad Objects platziert wurden. Diese konnten nicht nur statische Informationen enthalten sondern auch dynamische Anwendungen. Perlin & Fox stellten im Rahmen des Pad Projekts auch erstmals die Idee eines semantischen Zooming vor. Auf Basis von Pad entwickelten Bederson et al. eine ganze Reihe von Nachfolgesystemen, von welchen das Piccolo Framework [Bederson et al., 2004b] die letzte Iteration darstellt und eine flexible Umsetzung und Gestaltung vielfältigster ZUIs ermöglicht. Im Jahr 2000 erschien das Buch „The Humane Interface“ von Jef Raskin [Raskin, 2000], in welchem dieser sein Zooming Interface Paradigm am Beispiel einer ZoomWorld vorstellt und hiermit einen sehr radikalen Gegenentwurf zu gängigen *WIMP*<sup>1</sup> Oberflächen präsentierte. Im Gegensatz zu den Pad Nachfolgern, welche immer stärker strukturierte Oberflächen boten, setzt Raskin bei seiner ZoomWorld Idee vollständig auf den ursprünglichen Ansatz einer unendlichen Informationslandschaft, in welcher Informationsobjekte frei im Raum platzierbar sind (siehe Abbildung 2.3).

Diese ZoomWorld schränkt den Benutzer im Gegensatz zu den gängigen Benutzerschnittstellen nicht in der Informationsorganisation und Navigation ein, sondern lässt ihm alle

<sup>1</sup>klassische Benutzeroberflächen mit Windows, Icons, Menus und Pointing Devices

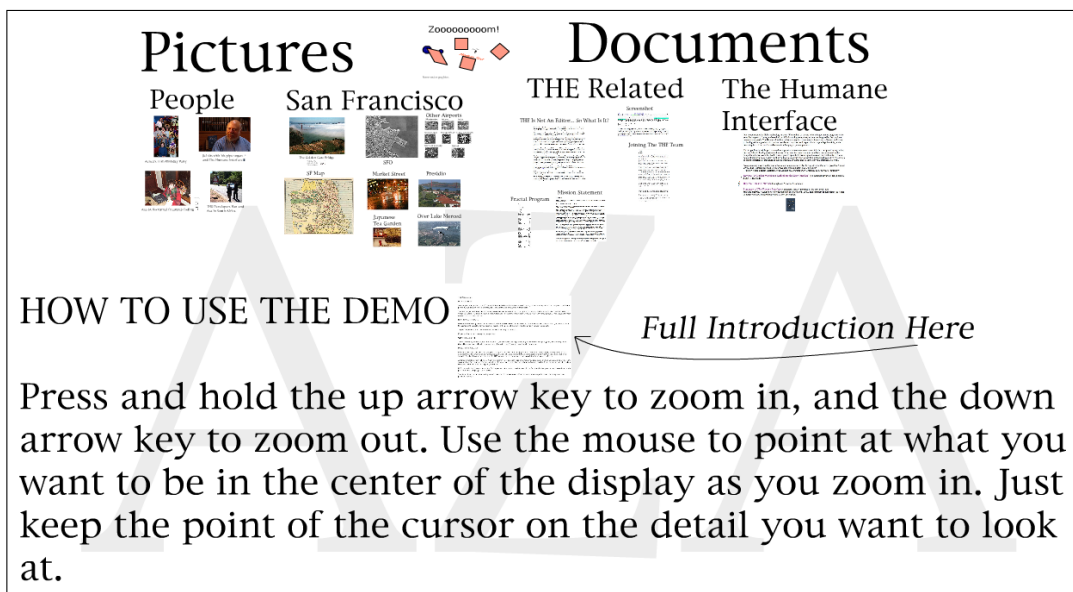


Abbildung 2.3: Jef Raskins ZoomWorld Idee [Raskin, 2000].

Freiheiten. Dabei ging Raskin so weit zu sagen, dass: „The zooming interface paradigm can replace the browser, the desktop metaphor, and the traditional operating system ...[it] can simplify the use of computer systems in general“ [Raskin, 2000]. In der Folge dessen entfernten sich die Konzepte von ZUIs aber wieder zusehends von der Idee einer unendlichen Informationslandschaft. Neuere Anwendungen wie der PhotoMesa Image Browser [Bederson, 2001] oder die HyperGrid [Jetter et al., 2005] integrierten die Konzepte vielmehr in die vorhandenen WIMP Oberflächen wie MS Windows.

### 2.1.2 Die HyperGrid

Die HyperGrid [Jetter et al., 2005] als Teil eines visuellen Suchsystems integriert in einer tabellenbasierten Darstellung sowohl browsing-orientierte also auch zielgerichtete Suchstrategien (siehe Abbildung 2.4). Die Idee dabei ist, dass eine Tabelle gegenüber den klassischen listenbasierten Trefferdarstellungen von Internetsuchmaschinen wie Google deutliche Vorteile bietet [Grün et al., 2005].

Angefangen bei der deutlich klarer strukturierten und hierdurch übersichtlicheren Präsentation ermöglicht eine Tabelle beispielsweise auch das flexible Sortieren und Vergleichen der Einträge. Allerdings ist eine Tabelle nur bedingt geeignet, viele Informationsobjekte in einer Zeile aufzunehmen, ohne die Spaltenanzahl derart ansteigen zu lassen, dass die Visualisierung nur noch schwer zu bedienen ist. Weiterhin lassen sich textuelle Informationen, welche die Breite einer Spalte überschreiten ebenfalls nur schlecht darstellen, von multimedialen Daten wie Bildern oder Videos ganz zu schweigen. Daher wurde das Konzept von ZUIs, in Anlehnung an die Datelens von [Bederson et al., 2004a] auf eine



Abbildung 2.4: Die HyperGrid eingebettet in das System MedioVis [Jetter et al., 2005].

Tabelle übertragen. Der Benutzer kann dementsprechend in jede Tabellenzelle zoomen, diese hierdurch vergrößern und somit Zugriff auf weitere Attribute erhalten. Durch diesen Ansatz lassen sich sehr heterogene Daten integrieren und der Benutzer wird zum Explorieren des Informationsraums eingeladen. Der Zugriff auf weiterführende Informationen erfolgt dabei ebenfalls eingebettet in der Anwendung. Mittels Hyperlinks können beispielsweise Webinhalte direkt in einem Browserfenster aufgerufen werden, welches aber weiterhin in der Tabellenzelle fest verankert ist und somit den Benutzer nicht aus dessen Arbeitskontext reißt.

### 2.1.3 ZOIL

Die Idee einer ZoomWorld wurde letztlich von [Gerken et al., 2005] wieder aufgegriffen und [König, 2006] entwarf auf dieser Basis das Konzept eines ZOIL Paradigmas – eines Zoomable Object-oriented Information Landscape Paradigmas (siehe Abbildung 2.1). Hierbei wird analog zu Raskin eine unendliche Informationslandschaft als Basis verwendet, in welcher beliebig Informationsobjekte platziert werden können. [König, 2006] definiert hierbei den generellen Ansatz wie folgt: „Das Akronym ZOIL [...] unterstreicht die grundlegende Intention, im Rahmen eines generellen Interaktions- und Visualisierungs-

Paradigmas den Ansatz von Zoomable User Interfaces mit den direkt-manipulativen Konzepten von objektorientierten Benutzeroberflächen und der räumlichen Datenorganisation mithilfe einer beliebig skalierbaren Informationslandschaft zu vereinen“.

Innerhalb der unendlichen Informationslandschaft werden Objekte direkt auf der Ebene oder in visuellen Containern, die König „Frames“ nennt, platziert. Innerhalb dieser Frames werden beispielsweise unterschiedliche Visualisierungen angeboten, mit denen die Objekte analysiert oder exploriert werden können. Dabei kann ein Informationsobjekt in beliebig vielen dieser Frames verortet werden, da jeweils nur eine Referenz abgelegt wird. Dies ermöglicht es dem Benutzer, je nach Interessenlage einen anderen Zugang zu wählen. Dabei dienen die Frames auch als visuelle Anker, indem sie letztlich eine visuelle Hierarchie darstellen. Die Möglichkeiten der Darstellung sind hierbei flexibel, so könnte beispielsweise die vorgestellte HyperGrid ebenso integriert werden, wie eine rein visuelle Metapher eines Raumplans, in welchem Dokumente in dem jeweiligen Büro des Autors verortet werden. Der Benutzer kann mittels einem geometrisch-semantischem Zooming sowie Panning sich durch die Informationslandschaft bewegen und hat zudem noch einige weitere Möglichkeiten, wie die Verschachtelung mehrerer Frames oder das Erstellen von Snapshots, um beispielsweise spezielle Ansichten wie sie durch die Interaktion mit einer Visualisierung entstanden sind, dauerhaft zu speichern. Im Rahmen dieser Arbeit soll auf diese jedoch nicht näher eingegangen werden. Das ZOIL Paradigma ist für die generellen Fragestellungen dieser Arbeit jedoch höchst relevant, weswegen die in Kapitel 3 aufgezeigten psychologischen Grundlagen zu Navigation und Orientierung im Anschluss in Kapitel 4 teilweise auch auf dieses Konzept bezogen werden sollen.

#### **2.1.4 Vorteile von ZUIs**

Zoombaren Benutzerschnittstellen werden eine ganze Reihe von Vorteilen zugesprochen, die teilweise auch empirisch belegt sind, zum Großteil aber auf logischen Überlegungen basieren. Als erstes zu nennen wäre hierbei die metaphorische Anlehnung an die Navigation in der realen Umwelt. Diese soll hierdurch deutlich intuitiver sein, was an dem folgenden Beispiel deutlich wird: Möchte man in der realen Welt ein Buch in einem Bücherregal näher betrachten, so geht man zunächst auf das Bücherregal zu um somit mehr Details lesen zu können, beispielsweise den Titel des Buchs oder den Autor und sich somit für das gewünschte zu entscheiden. Anschließend nimmt man das Buch aus dem Regal und schlägt es direkt auf. Man muss somit nicht erst an einen speziellen Leseapparat gehen, um es lesen zu können, sondern hat einen direkten Zugriff auf die Inhalte. Die gängigen WIMP Konzepte erfordern aber genau das vom Benutzer – er kann das Objekt der Begierde, beispielsweise ein Textdokument, nicht direkt an Ort und Stelle lesen, sondern muss hierfür erst eine Applikation starten. Zoombare Benutzerschnittstellen sollen es dem Benutzer ermöglichen, nicht ständig zwischen verschiedenen Bildschirmbereichen hin und herwechseln zu müssen und somit die Aufmerksamkeit zu verschieben. Hierzu gehört beispielsweise auch das Vermeiden eines kognitiv anspruchs-

vollen Fenstermanagements, wie es bei WIMP unvermeidlich ist. Zudem wird erklärt, dass ein visuell-räumlicher Zugang deutlich mehr der Natur des Menschen und dessen Gehirnstrukturen entsprechen würde, da eben diese seit Jahrtausenden auf eine visuell-räumliche Navigation optimiert wurden.

### 2.1.5 Einfluss von individuellen Unterschieden

Es existieren jedoch auch einige Nachteile bei ZUIs. Ein entscheidender betrifft die Orientierung in einer unendlich großen Informationslandschaft. Wenn der Benutzer sehr tief in den Informationsraum zoomt, besteht die Gefahr, dass er sich in diesem verliert und um die Orientierung wieder zu gewinnen herauszoomen muss. Diese Interaktion kostet aber Zeit und zudem verliert der Nutzer seinen aktuellen Arbeitskontext – es fällt ihm eventuell sogar schwer, danach wieder exakt an dieselbe Stelle zu zoomen. Je öfter der Nutzer darauf angewiesen ist, desto mehr kann dies zu Frustration führen. [Hornbaek et al., 2002] konnten bei der Benutzung einer zoombaren Kartenapplikation feststellen, dass die Fähigkeit in dieser die Orientierung zu bewahren, zwischen den Versuchspersonen stark zu schwanken schien, also eine hohe Varianz messbar war. Dabei vermuteten diese, dass hierfür eventuell individuelle Unterschiede bezüglich der kognitiven Fähigkeiten der Teilnehmer mitverantwortlich sein könnten. Ein Blick in die Literatur der Mensch-Computer Interaktion zeigt dabei, dass die *Spatial Ability* öfters als ein hier entscheidender Faktor und Einflusswert auf die Leistung genannt wird ([Egan & Gomez, 1985], [Egan, 1988], [Dahlbäck et al., 1996]). Wie in Kapitel 3.1 noch ausführlich gezeigt werden wird, ist dieses psychologische Konstrukt dabei allerdings bei weitem nicht so eindeutig, wie der Name zunächst vielleicht vermuten lässt. Kurz gesagt, versteht man darunter die Fähigkeit, die räumliche Umgebung wahrzunehmen, sprich zu kodieren und daraufhin auf diesem mentalen Bild Operationen wie Rotationen oder Transformationen durchzuführen und deren Resultat letztlich auch wieder abfragen zu können. Gemessen werden diese Fähigkeiten zumeist mit standardisierten psychometrischen *Papier & Bleistift* Tests.

In einer Studie von [Vicente et al., 1987] wurde untersucht, inwieweit individuelle Unterschiede Einfluss auf die Arbeit mit einem hierarchischen Dateisystem haben. Dabei fanden die Autoren heraus, dass *High-Spatial Users*, also jene mit einer hohen räumlichen Vorstellungsfähigkeit, die Aufgaben schneller bearbeiten konnten wohingegen sich *Low-Spatial Users* öfters in der Dateistruktur die Orientierung verloren. Dabei wurden noch weitere kognitive Fähigkeiten erfasst, wobei Spatial Ability aber mit Abstand am besten die Leistung vorhersagte. In einer späteren Studie von [Stanney & Salvendy, 1995] konnte gezeigt werden, dass die individuellen Unterschiede kompensiert werden konnten, wenn zusätzlich zu der hierarchischen Baumstruktur des Dateisystems ein *Visual Mediator*, wie Stanney & Salvendy es nannten, eingesetzt wurde. Also letztlich ein visuelles Hilfsmittel, das in diesem Fall aus einem Übersichtsfenster bestand, welches die komplette Hierarchie zeigte. Die Autoren argumentierten hierbei, dass durch das visuelle



Hilfsmittel die Low-Spatial Benutzer unterstützt wurden, eine mentale Repräsentation des Informationsraumes aufzubauen. [Chen & Czerwinski, 1997] sowie [Czerwinski & Larson, 1997] konnten bei einer 2.5D Oberfläche feststellen, dass Benutzer mit einer hohen Spatial Ability signifikant schneller bei der Navigation und Suche nach Objekten in einer „fly-through“ Umgebung waren und zudem weniger häufig die Orientierung verloren.

Ähnliches könnte daher auch für zoombare Benutzerschnittstellen gelten. Während der Benutzer hereinzoomt, verschwinden Informationsobjekte aus seinem Sichtfeld wodurch sich die Anzahl an Navigationshinweisen stetig verringert. Um in diesem Zustand noch gezielt navigieren zu können, beispielsweise durch Pannen, muss sich der Benutzer auf seine mentale Repräsentation des Informationsraumes verlassen. Kann er dies nicht, weil diese beispielsweise fehlerbehaftet ist, so ist ein wiederholtes und zeitaufwändiges Zoom-Out und Zoom-In unumgänglich. Visuelle Hilfsmittel, wie beispielsweise ein Übersichtsfenster, könnten hier helfen, die fehlerbehaftete mentale Repräsentation stetig mit der tatsächlichen Umgebung abzugleichen und hierdurch langfristig auch zu verbessern.

Allerdings existieren auch Studien die vermuten lassen, dass Hilfsmittel, wie ein Übersichtsfenster, Benutzer mit einer hohen Spatial Ability einschränken könnten. [Allen, 1998] untersuchte den Einfluss von Spatial Scanning und perceptual speed auf die Benutzung einer digitalen Bibliothek, also der Fähigkeit eine räumliche Umgebung schnell auf Merkmale visuell abtasten zu können, sowie der Geschwindigkeit, Objekte prinzipiell visuell wahrnehmen zu können. Dabei schnitten die High-Spatial users am schlechtesten ab, wenn sie eine word map benutzen durften, welche den Zugriff auf die 100 häufigsten Stammformen über ein visuelles Tool erleichtern sollte. Ähnliche Ergebnisse konnten auch [Chen, 2000] sowie [Chen et al., 2000] in semantischen Informationsräumen finden. High-Spatial users erzielten in einem reinen Textinterface bessere Ergebnisse bei der Dokumentensuche als in einem visuell-räumlichen Interface.

Die bisherigen Untersuchungen lassen somit vermuten, dass Spatial Ability einen Einfluss auf die Leistung der Benutzer hat, sowie dass es zwar Techniken gibt, individuelle Unterschiede auszugleichen, diese aber in manchen Fällen die Leistung von High-Spatial users auch wiederum behindern können.

## 2.2 ZuiScat – ein zoombares Punktdiagramm

*Die in diesem Kapitel vorgestellten Varianten des Systems ZuiScat und die hierzu durchgeführten Evaluationen, welche in den folgenden Kapiteln behandelt werden, wurden in [Büring et al., 2006a] sowie [Büring et al., 2006b] bereits publiziert. Der Autor dieser Master-Arbeit war an der Konzeption der Systeme beteiligt sowie verantwortlich für die Planung und Durchführung der Experimente. Die technische Implementation wurde von Thorsten Büring geleistet.*

Zoombare Benutzerschnittstellen können in sehr vielfältiger Art und Weise auftreten – neben großformatigen und nahezu frei explorierbaren Informationslandschaften wie bei Raskins ZoomWorld [Raskin, 2000] existieren auch Benutzerschnittstellen wie die kurz vorgestellte HyperGrid [Jetter et al., 2005], welche das Zoomen innerhalb einer Tabelle ermöglicht und dabei vornehmlich auf semantischen Zoom setzt und lediglich die Zellen entsprechend vergrößert. Einen Mittelweg gehen zoombare Punktdiagramme, welche analog zur ZoomWorld stark auf die Möglichkeiten einer Kombination aus geometrischen und semantischem Zoom setzen, um eine Vielzahl von Objekten auf einem begrenzten Raum darzubieten, allerdings in einer stärker strukturierten und begrenzten Umgebung. ZuiScat, welches von [Büiring & Reiterer, 2005] entwickelt wurde, bietet ein derartiges zoombares Punktdiagramm, dessen unterschiedliche Varianten in diesem Kapitel vorgestellt werden sollen. Zunächst folgt allerdings ein kurzer Abriss der geschichtlichen Entwicklung und des Einsatzes von Punktdiagrammen.

### 2.2.1 Punktdiagramme

Informationsobjekte werden in Punktdiagrammen anhand von zwei (X- & Y-Achse, 2D) oder auch drei (X-, Y- & Z-Achse, 3D) Achsen im Raum platziert. Die Achsen spiegeln dabei Eigenschaften der Informationsobjekte wieder, anhand derer sich die Objekte unterscheiden lassen. Beispielsweise können mathematische Funktionen hierüber sehr gut abgebildet werden, indem auf der einen Achse die x-Werte und auf der anderen Achse die Funktionswerte  $f(x)$  abgebildet werden (siehe Abbildung 2.5<sup>2</sup>). Für jedes beliebige x kann nun in diesem Punktdiagramm der entsprechende Funktionswert durch einen Punkt an der entsprechenden Stelle markiert werden. Hierdurch können schnell Zusammenhänge erkannt werden, beispielsweise ob es sich bei der Funktion um eine linear ansteigende handelt oder um eine Parabel, etc..

Punktdiagramme sind dabei schon eine relativ alte Form, um abstrakte Daten zu visualisieren und werden seit dem 18. Jahrhundert verwendet. Einsatz finden sie in vielen wissenschaftlichen Disziplinen [Tuftte, 1983], zum Beispiel auch um die Verteilung von Messdaten darzustellen, für Statistiken oder aber auch im Alltag, so etwa um die Tabellenplatzierungen im Verlaufe einer Saison eines Fussballvereins auf einen Blick zu sehen. In allen Fällen wird dabei der Informationsgehalt eines Objekts über dessen Position im Punktdiagramm kodiert und visualisiert. Für die Darstellung des Objekts selbst reicht daher letztlich dann beispielsweise ein einfacher Punkt ohne weitere Details. Beispielsweise über Farben kann allerdings diesem Punkt, ohne erhöhten Platzbedarf, ebenfalls noch eine zusätzliche Information mitgegeben werden. Womit sich in einem zweidimensionalen Punktdiagramm drei und in einem dreidimensionalen vier Eigenschaften der dargestellten Objekte abbilden lassen.

Die Vorteile liegen dabei sowohl im Überblick über eine große Menge an Informations-

---

<sup>2</sup>Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Oldfaithful3.png>

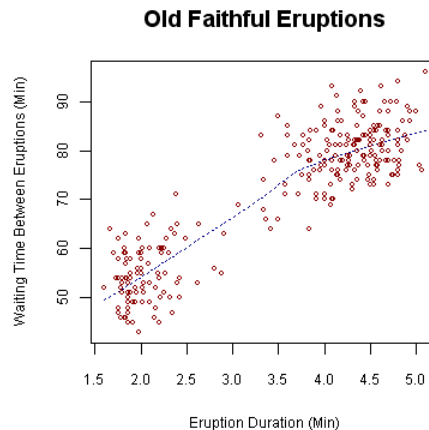


Abbildung 2.5: Ein typisches Punktdiagramm. Hier ist die Eruptionsdauer des „Old Faithful“ im Yellowstone Nationalpark gegen die Zeit zwischen den Eruptionen abgetragen. Man kann hierbei zwei Cluster erkennen, wobei klar ersichtlich ist, dass längere Eruptionen nur auftreten, wenn zuvor längere Zeit keine stattgefunden hat.

objekten als auch in der Möglichkeit, schnell Zusammenhänge zwischen den Informationsobjekten zu erkennen – beispielsweise Häufungen, Ausreißer oder wie in dem mathematischen Beispiel gezeigt auch Verläufe. Auf den Achsen des Punktdiagramms lassen sich vornehmlich metrische Daten abbilden, da hierdurch auch die Distanz zu anderen Punkten eine direkte Bedeutung erhält. Werden hingegen kategoriale Daten zugeordnet, so spiegelt die Position eines Punktes im Verhältnis zu den anderen Punkten nur die Kategoriezugehörigkeit wieder, nicht jedoch den semantischen Unterschied zwischen den Kategorien. Wird auf der X-Achse beispielsweise ein Jahresstrahl von 0-2000 abgebildet, so drückt eine Position eines Punktes weiter rechts ein späteres Jahr im Vergleich zu einem Punkt weiter links aus, wobei der Abstand direkt den Jahresunterschied abbildet. Werden hingegen Farben abgebildet, zum Beispiel rot, grün, gelb und blau (in dieser Reihenfolge), so drückt die Position eines Punktes ganz rechts, also blau, gegenüber den anderen Punkten lediglich die Abgrenzung zu diesen aus, der größere Abstand zu einem „roten“ Punkt ganz links im Gegensatz zu einem „gelben“ Punkt direkt nebenan ist zunächst allerdings ohne Informationsgehalt. Je nach Vorwissen beziehungsweise bevorzugter Anwendung eines solchen Punktdiagramms kann dies bei einem Benutzer eventuell zu Verwirrung führen, wenn Abstände zwischen Punkten eine semantische Nähe oder Distanz suggerieren. Allerdings hat sich gezeigt, dass trotz dieses Informationsverlustes, den die Darstellung von kategorialen Daten mit sich bringt, ein Punktdiagramm weiterhin einen hohen Nutzen mit sich bringt, um schnell einen Überblick zu erhalten und Zusammenhänge zu erkennen, welche sonst schwer aufzudecken wären [Marks et al., 2005].

## 2.2.2 Interaktive Punktdiagramme

In der Informationsvisualisierung konnten [Ahlberg & Shneiderman, 1994b] mit Hilfe ihres Filmfinders eindrucksvoll zeigen, dass Punktdiagramme, erweitert um Interaktionstechniken, trotz ihrer Einfachheit mächtige Werkzeuge darstellen können, um einen großen Informationsraum erkunden zu können (siehe Abbildung 2.6. In diesem zweidimensionalen Punktdiagramm wurden Filme als einzelne Datenpunkte abgebildet, wobei die Achsen die Attribute Erscheinungsjahr und Popularität abbildeten. Der Wertebereich, welche die Achsen abbildeten, war hierbei dynamisch anpassbar – konnte also beispielsweise anstelle des gesamten Zeitraums nur auf die Jahre 1980-1990 beschränkt werden. Hierfür wurden *zoom-bars* verwendet, welche einen Schieberegler darstellen, dessen Länge den Wertebereich widerspiegelt und welcher sich an seinen Enden per Maus vergrößern und verkleinern lässt. Mit Hilfe von so genannten Dynamic Queries wurden die Informationsobjekte in Echtzeit gefiltert. So konnte etwa der Datenraum auf Filme eingeschränkt werden, in denen ein bestimmter Schauspieler mitgewirkt hatte oder die eine gewisse Altersfreigabe besaßen. Über die Farbe der Informationsobjekte wurde zudem das Genre des Films kodiert. Da es sich bei einem Film aber um ein Informationsobjekt handelt, welches nur unzureichend über lediglich drei Eigenschaften anhand der Achsen sowie der Farbe beschrieben werden kann, muss ein Zugriff auf die weiteren Eigenschaften, wie beispielsweise Titel, Sprache oder involvierte Personen möglich sein. Im Filmfinder konnte hierfür auf ein Informationsobjekt geklickt werden, wodurch ein Fenster mit sämtlichen Attributen des Films über dem Punktdiagramm eingeblendet wurde.

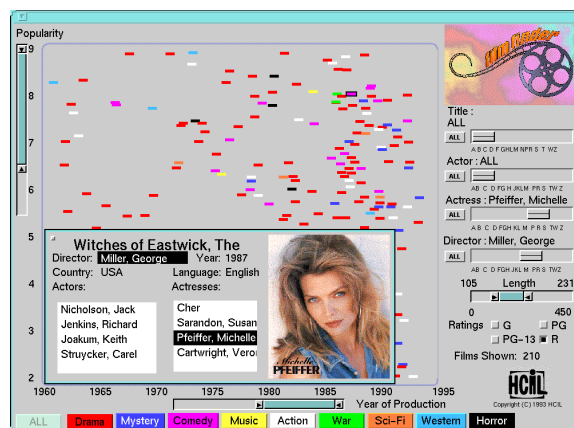


Abbildung 2.6: Der Filmfinder von [Ahlberg & Shneiderman, 1994]

Mit diesen Konzepten entspricht der Filmfinder dem von [Shneiderman, 1996] postulierten Information-seeking mantra: „Overview first, then zoom and filter, and finally details on demand“. Den Überblick bietet das Punktdiagramm implizit. Die Anpassbarkeit des Wertebereichs der Achsen über die *zoom-bars* entspricht einem geometrischen Zoomen in die gewählten Bereiche, da für diese nun der gesamte Platz zur Verfügung steht und so beispielsweise kleine Unterschiede deutlicher sichtbar werden. Durch die Zoomfunk-

tionalität können somit auch sehr große Datenräume in einer derartigen Visualisierung abgebildet werden, da in der Übersichtsdarstellung prinzipiell ein Pixel pro Informationsobjekt ausreicht. Mit Hilfe der Dynamic Queries kann der Datenraum jederzeit gefiltert werden und wenn schließlich ein Objekt interessant erscheint, können *Details on Demand* in einem überlagernden Fenster abgerufen werden. Dieses Mantra, obwohl schon vor 10 Jahren entworfen, ist auch heute noch eine vielfach herangezogene Heuristik, welche bei der Entwicklung von ganz unterschiedlichen visuellen Suchsystemen hilfreich sein kann [Jetter et al., 2005] & [König, 2006].

Neben dem vorgestellten Filmfinder wurden Punktdiagramme seitdem für viele unterschiedliche Anwendungsdomänen entwickelt, beispielsweise um Dateisysteme darzustellen [Fekete & Plaisant, 2002], Gebäudedatenbanken [Williamson & Shneiderman, 1992], pharmazeutische, demographische oder ökonomische Daten [Ahlberg, 1996] & [Dang et al., 2001].

### 2.2.3 ZuiScat – Vorstellung der Interface-Varianten

[Büiring & Reiterer, 2005] entwickelten eine Variante eines Punktdiagramms speziell für kleine Bildschirme mit Namen ZuiScat (**Z**oomable **U**ser **I**nterface **S**catterplot, siehe Abbildung 2.7). Die grundsätzliche Idee dabei war, dass eine derartige Visualisierung gerade auf mobilen Geräten mit kleinen Bildschirmen nützlich sein könnte, da auf diesen klassische Darstellungsformen, wie Listen oder Tabellen, meist nicht mehr als zwanzig Elemente gleichzeitig darstellen können. Die hierdurch notwendigen Interaktionen wie Scrolling oder der Wechsel zwischen mehreren Sichten sind kognitiv belastend, überdies zweitaufwendig und mit steigender Objektanzahl fehleranfällig, weswegen der Zugang über ein zoombares Punktdiagramm ein viel versprechender Ansatz sein dürfte. Als Endgeräte stehen beispielsweise Personal Digital Assistants (PDAs), aber auch, aufgrund von sich immer weiter verbessernden Leistungsdaten und im Vergleich zu PDAs deutlich rasanter ansteigender Popularität und Verbreitung, Mobiltelefone im Sinne von Smart Phones zur Verfügung [Büiring, 2006]. Der Einsatz von solchen Geräten ist vielfältig. Angefangen bei der einfachen Suche im World Wide Web sind auch deutlich spezialisiertere Szenarien denkbar, beispielsweise das eines Außendienstmitarbeiter, welcher einen flexiblen Zugriff auf den internen Produktkatalog benötigt.

Hinsichtlich des Interaktionsdesigns stellen solche Geräte andere Herausforderungen als konventionelle Desktopsysteme. Neben dem kleineren Display müssen auch Einschränkungen hinsichtlich der Eingabegeräte berücksichtigt werden. Bei der Entwicklung gingen [Büiring & Reiterer, 2005] dabei zunächst von einer Stifteingabe in Kombination mit Knöpfen am Gerät aus, später dann allerdings nur noch von einer Stifteingabe, um die Flexibilität zwischen unterschiedlichen Geräten zu erhöhen. Hierdurch beschränken sich die Interaktionsmodi jedoch auf den Stiftdruck, vergleichbar also mit einer Einknopf-

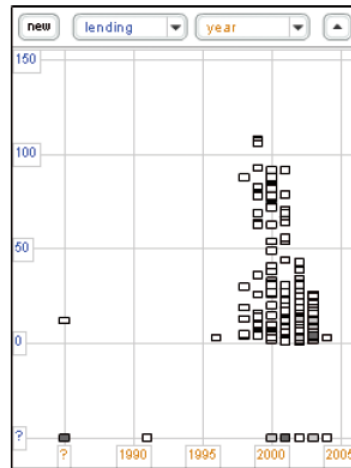


Abbildung 2.7: Der ZuiScat in der ersten Entwicklungsstufe, wie in [Buering & Reiterer, 2005] vorgestellt

Maus. Die für Desktopsysteme bislang entwickelten Punktdiagramme konnten aufgrund des zur Verfügung stehenden Bildschirmplatzes, Details oftmals mit parallelen Fenstern realisieren. Auf einem kleinen Bildschirm führt dies aber dazu, dass für die eigentliche Visualisierung benötigter Platz verloren geht und somit auch die Benutzbarkeit dieser eingeschränkt wird. Daher erscheint die Herangehensweise von [Ahlberg & Shneiderman, 1994b], die Details an Ort und Stelle einzublenden, im Grundsatz gerade für kleine Bildschirme deutlich viel versprechender, auch wenn die Lösung mit einem überlagernden Fenster noch nicht optimal ist, da beispielsweise beim Schließen dieses der Blick vom eigentlich interessanten Bereich des Punktdiagramms gelöst werden muss. Aufgrund des kleineren Bildschirmplatzes wird es zudem noch wichtiger, einzelne Bereiche oder Informationsobjekte gezielt hervorheben zu können. Hierfür eignen sich wie am Beispiel des Filmfinders gezeigt Zooming- und Filterkonzepte. Bei der Entwicklung des ZuiScats wurden hierbei insbesondere unterschiedliche Zooming-Konzepte auf ihre Tauglichkeit überprüft, da diese aufgrund ihrer Verankerung im generellen Interaktions- und Navigationskonzepts keinen zusätzlichen Platz benötigen und durch die visuelle Fokussierung auf den gezoomten Bereich ein intuitives Filtern ermöglichen. Wie im ersten Teil dieses Kapitels schon erwähnt, besteht bei zoombaren Benutzerschnittstellen trotz aller Vorteile die Gefahr, dass der Benutzer die Orientierung verliert, also nicht mehr die eigene Position im Verhältnis zum Informationsraum bestimmen kann – er verliert sich im Zoom-Space. Bezüglich der Usability eines zoombaren Punktdiagramms können somit zwei hierfür entscheidende Komponenten identifiziert werden: Zum einen muss das generelle Interaktions- und Navigationskonzept eine intuitive, effiziente und effektive Bedienung ermöglichen und zum anderen muss dieses inhärent oder durch zusätzliche Techniken den Benutzer bei der Orientierung im Informationsraum unterstützen.

## ZuiScat Varianten: Smooth Zooming, Overview+Detail sowie Focus+Context

[Ware, 2004] schlägt bezüglich der Frage der Orientierung verschiedene Techniken vor. Zum einen kann es nach Ware bereits hilfreich sein, wenn Skalierungsänderungen animiert dargestellt werden und somit dem Benutzer vermittelt wird, wie der Übergang von der alten zur neuen Darstellung abläuft. Der kognitive Aufwand, welcher notwendig ist, um einen Zusammenhang zwischen den beiden Ansichten herzustellen, wird hierdurch verringert [Bederson & Boltman, 1999]. Dies kann ebenfalls durch ein zusätzliches Fenster ermöglicht werden, welches zumeist ebenfalls den gesamten Informationsraum abbildet, wenn auch eventuell mit weniger Details. Dieses Fenster ist mit der eigentlichen Visualisierung gekoppelt und kennzeichnet bei einem Zoom den nun sichtbaren Ausschnitt, wodurch der Benutzer stets weiß, wo er sich im Verhältnis zu den anderen Informationsobjekten befindet und gezielt auch in gezoomten Zustand mittels Panning navigieren kann. Dieser Typ einer Benutzerschnittstelle wird gemeinhin als Overview+Detail Interface bezeichnet [Plaisant et al., 1995]. Dem gegenüber stehen Focus+Context Interfaces [Furnas, 1986], welche den Informationsraum verzerren, um dem gewählten Fokus zu Gunsten des Kontextes mehr Platz einzuräumen. Dieser verschwindet jedoch nicht aus dem Bild sondern wird lediglich verzerrt und ermöglicht es so dem Benutzer weiterhin, die ungefähre Position bezüglich der anderen Informationsobjekte zu bestimmen.

In Anlehnung an diese Techniken wurden auf Basis der Ursprungsidee, wie in [Büiring & Reiterer, 2005] vorgestellt, insgesamt drei unterschiedliche Varianten des ZuiScat entwickelt, welche die primäre Interaktion und Navigation über unterschiedliche Zoomkonzepte realisieren. Zwei Varianten basieren auf einem geometrisch-semantischen Zoom – einmal mit zusätzlichem Übersichtsfenster und einmal ohne ein solches – die Dritte hingegen auf einer Fischaug-Verzerrung im Sinne einer Focus+Context Technik. In zwei Experimenten wurden die Variante mit dem Übersichtsfenster sowie die Focus+Context Variante jeweils mit dem geometrisch-semantischen ZUI verglichen. Die drei unterschiedlichen Varianten sollen im Folgenden nun genauer vorgestellt werden. Sie wurden jeweils im .NET compact framework von Microsoft in einer für mobile Geräte wie PDAs typischen Auflösung von 240x320 Pixeln realisiert.

### 1. geometrisch-semantisches ZUI

Diese Variante verwendet einen punktgerichteten Zoom, welchen der Benutzer durch Stiftdruck an die entsprechende Stelle auslösen kann. In dem dadurch ausgelösten animierten Zoom werden, wie der Name schon verdeutlicht, nicht nur die Informationsobjekte größer sondern diese ändern auch Form und Inhalt. Es wird somit ein geometrischer Zoom mit einem semantischen kombiniert eingesetzt. Hierdurch hat der Benutzer die Möglichkeit, sein Informationsbedürfnis implizit durch die Zoomstufe zu äußern – je näher er zoomt, desto mehr Details über die jeweils sichtbaren Informationsobjekte treten zu Tage.

Ausgehend von der Überblicksdarstellung kann der Benutzer durch Drücken und Halten des Stiftes einen Zoom in eine bestimmte Region des Punktdiagramms auslösen. [Jul & Furnas, 1998] identifizierten bei zoombaren Benutzerschnittstellen ein *desert fog* Problem. Dies tritt auf, wenn der Benutzer versehentlich in einen leeren Bereich zwischen den Informationsobjekten zoomt, in welchem keine weiteren Hinweise auf die genaue Position mehr vorhanden sind. Um diesem Problem zu begegnen, ist es in dieser Variante von ZuiScat nur möglich, direkt auf Informationsobjekte zu zoomen. Dies wird erreicht, indem unabhängig von der exakten Position des Stiftes immer auf das nächstliegende Informationsobjekt gezoomt wird. Um dies zu verdeutlichen, wird sobald der Stift den Bildschirm berührt, das räumlich nächstliegende Informationsobjekt farblich hervorgehoben sowie mittels der Einblendung von beschrifteten Linien zu den beiden Achsen dessen exakte Position verdeutlicht. Um ein Einzoomen auszulösen, muss der Stift zunächst für 150 Millisekunden gedrückt gehalten werden. Anschließend wird der Zoom so lange ausgeführt, bis der Benutzer den Stift abhebt oder die höchste Zoomstufe erreicht ist. Während des Zoomens wird das hervorgehobene Informationsobjekt kontinuierlich in das Zentrum des Bildschirms bewegt. Dabei wird aus dem Punkt nach und nach ein Rechteck in welchem mittels semantischem Zooming weitere Informationen zu dem Objekt dargestellt werden.

In Abbildung 2.8, ist die hier entwickelte Variante abgebildet, wie sie für das erste Experiment verwendet wurde. In diesem Fall werden, ähnlich wie im Filmfinder, 85 Filme innerhalb des Punktdiagramms dargestellt, wobei das Erscheinungsjahr auf die y-Achse und ein Popularitätswert auf die x-Achse abgetragen wurden. Bei einem Einzoomen werden die Informationsobjekte immer größer und ein Filmposter wird sichtbar. Sobald das Filmposter des Zielobjekts den gesamten Bildschirm ausfüllt, wird ein Anti-Zoom durchgeführt, sprich das Filmposter wird wieder verkleinert und wandert in die rechte obere Ecke, dafür erscheinen nun zusätzliche textuelle Informationen über den Film. Um wieder in die Diagrammansicht zurückzukehren und herauszuzoomen, tippt der Benutzer mit dem Stift auf die mit „zoom out“ beschriftete Schaltfläche. Wird nicht zwischendurch der Stift abgehoben, zoomt die Darstellung nun wieder in die Ursprungsansicht zurück. Insgesamt wird der Informationsraum durch das Zooming um den Faktor 40 vergrößert. Der komplette Zoom benötigt hierbei 1,8 Sekunden.

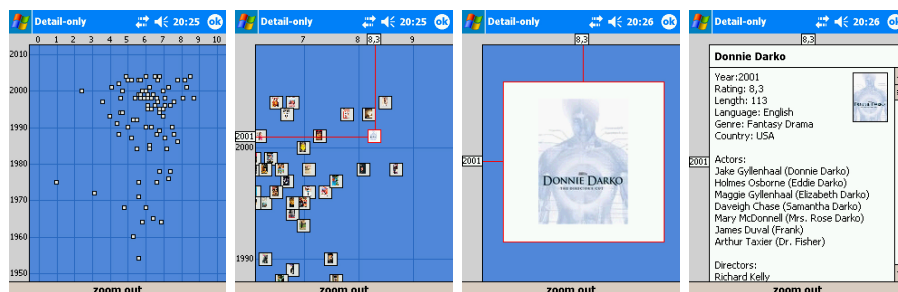


Abbildung 2.8: Die geometrisch-semantische Zoom Variante des ZuiScats



Neben dem Zooming ist auch ein Verschieben der Ansicht, ein Panning möglich. Der Benutzer zieht hierbei den Stift direkt nach dem Aufsetzen in die gewünschte Richtung – die für das Zoomen angesprochene Zeitverzögerung von 150 Millisekunden soll verhindern, dass anstelle des Pannens ein unbeabsichtigtes Zoomen ausgeführt wird. Da es vorkommen kann, dass sich einzelne Objekte teilweise überdecken, führt ein kurzes Antippen eines Objektes dazu, dass dieses in den Vordergrund gerückt wird. In dieser Variante wurden keine multiple-data points integriert, sprich Objekte, welche im selben Jahr erschienen sind und die gleiche Bewertung haben und somit auf dieselbe logische Position fallen. Eine Lösung für diese Problematik, wurde in [Büiring & Reiterer, 2005] vorgeschlagen.

Für das zweite Experiment wurde eine in Details abgewandelte Form des geometrisch-semanticen ZUIs verwendet. Auf die entsprechenden Eigenheiten soll aus Gründen der Übersichtlichkeit in Kapitel 2.5, in welchem das entsprechende Experiment vorgestellt wird, eingegangen werden.

## 2. geometrisch-semantic ZUI + Übersichtsfenster

Entsprechend dem Konzept eines Overview+Detail Interface wurde in dieser Variante das geometrisch-semantic ZUI um ein zusätzliches Übersichtsfenster angereichert (siehe Abbildung 2.9, links). Overview+Detail Benutzerschnittstellen lassen sich dadurch charakterisieren, dass in einem Mehrfachfensterlayout eines der Fenster zur Darstellung von Details verwendet wird, während ein anderes einen Überblick über den Informationsraum geben soll [Plaisant et al., 1995]. Im vorliegenden zoombaren Punktdiagramm wird hierzu der im Detailfenster momentan sichtbare Ausschnitt in dem zusätzlichen Übersichtsfenster mit einem gelben Rechteck markiert. Ein kleineres Rechteck weist auf eine höhere Zoomstufe hin, weswegen in der höchsten Zoomstufe, der Detailansicht eines einzelnen Informationsobjektes (siehe Abbildung 2.9, rechts), der Ausschnitt lediglich mit einem gelben Punkt dargestellt wird. In der Ausgangsdarstellung hingegen ist kein gelbes Rechteck sichtbar, da im Detailfenster ebenfalls der komplette Informationsraum sichtbar ist. Das in der Detailansicht bei einem Zoom-In fokussierte und hierdurch farblich hervorgehobene Informationsobjekt wird im Übersichtsfenster durch einen roten Punkt repräsentiert. Beide Fenster sind gekoppelt (*tight-coupling*) und reagieren dementsprechend auf Änderungen im jeweils anderen Fenster unmittelbar. Das Übersichtsfenster wurde in dieser Anwendung interaktiv gestaltet, wodurch dessen Nutzen über eine reine Orientierungsfunktion hinausreicht. So kann der Benutzer an eine beliebige Position auf dem Übersichtsfenster tippen, woraufhin der Ausschnitt im Detailfenster auf diesen Bereich springt. Bei Gedrückthalten des Stiftes ist auch ein kontinuierliches Verschieben des Bereichs möglich – der Benutzer verschiebt dabei letztlich das Rechteck und der entsprechende Ausschnitt passt sich im Detailfenster automatisch und prompt an. Weiterhin kann der Benutzer auch über das Übersichtsfenster die Skalierung des Detailfensters ändern. Hierzu muss zunächst auf die rechts davon angebrachte Schaltfläche „scale“ mit dem Stift getippt werden. Nun ist es möglich, ein neues Rechteck von beliebiger Größe zu

zeichnen, jedoch mit einem vorgegebenen Seitenverhältnis, da ansonsten der Datenraum aufgrund der unveränderbaren Bildschirmgröße verzerrt werden müsste.

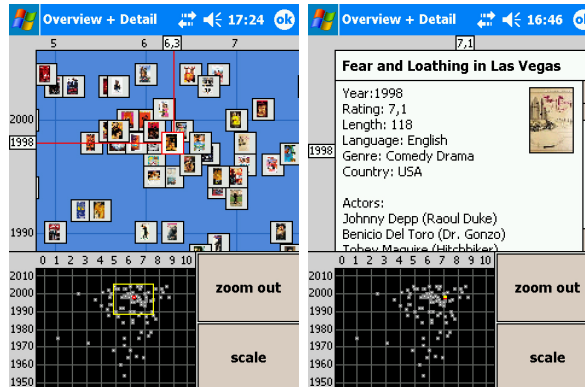


Abbildung 2.9: Die geometrisch-semantische Zoom Variante des ZuiScats inklusive Übersichtsfenster

Eine entscheidende Fragestellung bei der Gestaltung einer solchen Benutzerschnittstelle betrifft die Größe des Übersichtsfensters. Wird diesem mehr Platz zu gesprochen, können mehr Details darauf dargestellt werden und desto leichter ist es, die Interaktionsmöglichkeiten zu nutzen. Dies bedeutet aber auch, dass weniger Platz für die Detailansicht vorhanden ist und somit die Darstellung der Informationsobjekte kleiner sowie die eigentliche Hauptnavigation erschwert wird. Bei der vorliegenden Variante wurde die Größe so gewählt, dass auf dem Übersichtsfenster für die Achsen des Punktdiagramms noch die gleichen Wertebereiche inklusive derselben Zwischenstufen wie im Detailfenster gewählt werden können. Dies führt dazu, dass das Übersichtsfenster um 40% kleiner als das Detailfenster ausfällt. Da auch die Seitenverhältnisse gleich belassen wurden, entstand rechts des Übersichtsfensters ein Freiraum, welcher für die „zoom out“ und „scale“ Schaltflächen verwendet werden.

### 3. Fischaug-Verzerrung

Eine Fischaug-Verzerrung ermöglicht es dem Benutzer, einen Bereich zu wählen, welcher daraufhin hervorgehoben, also beispielsweise vergrößert dargestellt wird. Im Gegensatz zum geometrischen Zoom verschwindet der Kontext jedoch nicht vollständig, sondern wird verzerrt an den Rand der Darstellung gepresst, wodurch der Benutzer auch weiterhin die eigene Position im Informationsraum bestimmen kann, ohne die Operation rückgängig machen zu müssen. Die Anwendungsgebiete für derartige Techniken sind recht vielfältig, so wurde beispielsweise von [Baudisch et al., 2004] eine Fischaug-Verzerrung für das Browsen von Webseiten verwendet, wohingegen [Furnas, 1986] das Editieren von Programmcode vorschlägt. Für ein Punktdiagramm stellt die vorliegende Lösung jedoch die erste Umsetzung einer Fischaug-Verzerrung dar.

In dieser kann der Benutzer zunächst mittels einer Schaltfläche in einen Modus

schalten, in welchem die gewünschte Fokusregion definiert werden kann. Anschließend wird mittels des Stifts ein Rechteck beliebiger Größe über die Region im Punktdiagramm gezogen, welche näher untersucht werden soll (siehe Abbildung 2.10). Das Verhältnis der Kantenlängen des Rechtecks kann in diesem Fall ebenfalls beliebig gewählt werden, da anschließend der Datenraum in jedem Fall verzerrt wird. Die Vorteile treten insbesondere bei sehr großen Datenräumen zu Tage, in welchen aufgrund der Datenmenge einzelne Informationsobjekte kaum identifizier- oder gar zugreifbar sind. Daher wurde hierfür auch eine andere Datenbasis verwendet, welche im zweiten Experiment auch für das geometrisch-semantische ZUI Verwendung fand. In diesem sind 7500 Bücher abgebildet. Aufgrund der verfügbaren Pixelanzahl kann es dabei sein, dass einem Pixel in der Ausgangsdarstellung bis zu 150 Informationsobjekte zugeordnet sind, welche sämtlich unterschiedliche logische Positionen besitzen. Das Aufziehen einer Fokusregion entzerzt nun diese Überlagerungen und mittels wiederholtem Wählen einer Fokusregion kann der Datenraum sequentiell auf den Zielbereich eingeschränkt werden, bis die gewünschten Zusammenhänge sichtbar sind oder auf die Details eines einzelnen Informationsobjektes zugegriffen werden kann. Hierzu tippt der Benutzer mit dem Stift auf einen Datenpunkt beziehungsweise in die Nähe von diesem. Daraufhin zoomt das Informationsobjekt in einer schnellen Animation (0,2 Sekunden) von der 1-Pixel Darstellung auf eine Vollansicht heran. Dabei wird nun nicht das gesamte Diagramm gezoomt, sondern lediglich das einzelne Informationsobjekt. Durch die Animation kann der Benutzer nachvollziehen, welches Objekt herangezogen wird. Um wieder in die Diagrammansicht zurückzukehren, kann entweder auf eine beliebige Position innerhalb der Detailansicht oder auf die Lupenschaltfläche unter dem Punktdiagramm getippt werden. Ebenso ist es möglich, die Wahl der Fokusregionen rückgängig zu machen. Ein einmaliges Tippen auf das Lupensymbol führt hierbei in die zuvor festgelegte Fokusregion zurück; ein weiteres lässt das Punktdiagramm in die Ursprungsansicht zurückkehren. Hierdurch wird ein guter Kompromiss zwischen Fehlertoleranz und zügigem Herauszoomen erreicht.

Einzelne Informationsobjekte sind jederzeit, also auch ohne das Wählen eines Fokusbereichs oder auch außerhalb dieses zugreifbar, indem auf das Informationsobjekt getippt wird. Zudem lässt sich der Bereich, welcher in einem Fokusrechteck dargestellt wird, auch verschieben. Hierzu muss der Stift über den Bildschirm in die gewünschte Richtung gezogen werden. Die Achsenbeschriftungen und dargestellten Gitternetzlinien passen sich dem Skalierungslevel entsprechend an, um bei einer höheren Skalierung mehr Details darzustellen.

Gegenüber dem geometrisch-semantischen ZUI bieten die beiden Alternativen den Vorteil, dass der Benutzer stets den Kontext im Blick hat und sich somit vermutlich leichter orientieren kann. Darüber hinaus bieten die Interaktionskonzepte auch Erleichterungen in der Navigation, indem beispielsweise direkt im Übersichtsfenster gezoomt oder bei der Fischaug-Verzerrung ein interessanter Bereich durch das Aufziehen eines Rechtecks eingeschränkt werden kann. Inwieweit diese Unterschiede in der Praxis Vor- oder doch auch Nachteile bieten, sollte anhand von zwei

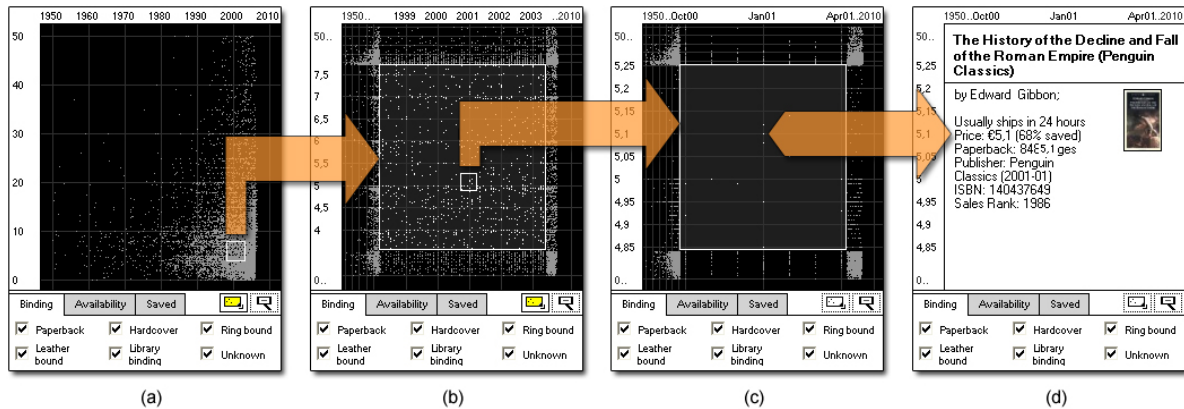


Abbildung 2.10: Die Fischauge-Variante des ZuiScats: In (a) und (b) wird rekursiv jeweils eine Region definiert durch das Ziehen eines Rechtecks; in (c) tippt der Benutzer auf ein Informationsobjekt woraufhin ihm die in (d) dargestellte Detailansicht präsentiert wird.

Experimenten untersucht werden. Dabei wurde das geometrisch-semantische ZUI in beiden Fällen als Benchmark-Applikation für jeweils eine der beiden Alternativen verwendet. Im nächsten Kapitel werden die beiden Experimente sowie ihre Ergebnisse kurz zusammengefasst. Die exakten Hypothesen, das Design sowie die ausführlichen Ergebnisse werden dann in den darauf folgenden Kapiteln behandelt.

## 2.3 Experimente – eine Übersicht

Im ersten Experiment nahmen 24 Versuchspersonen teil. Dabei sollten zwei Varianten des geometrisch-semantische ZUIs bei der Suche in einem 85 Objekte umfassenden Informationsraum verglichen werden – einmal ohne (Detail-Only) und einmal mit Übersichtsfenster (Overview+Detail) (siehe Abbildung 2.8 für die Detail-Only Variante und 2.9 für die Overview+Detail Variante). Dabei wurde neben der Usability auch untersucht, inwieweit die Spatial Ability, also die räumliche Vorstellungsfähigkeit einen Einfluss auf die Leistung der Versuchspersonen hat und ob eventuell ein Überblicksfenster für Personen mit einer niedrigen Spatial Ability hilfreicher sein könnte. Hinsichtlich der Effizienz bei der Bearbeitung von typischen Suchaufgaben konnte letztlich die Variante ohne Übersichtsfenster signifikant besser abschneiden; bezüglich der Präferenz der Probanden gab es jedoch keine Unterschiede. Der Einfluss der Spatial Ability ließ sich nicht zweifelsfrei belegen. Es konnten einzig leichte Tendenzen festgestellt werden, die dafür sprechen, dass Personen mit einer niedrigen Spatial Ability durch das Überblicksfenster weniger eingeschränkt wurden als Personen, welche eine hohe räumliche Vorstellungsfähigkeit aufweisen. Für kleine Bildschirme erscheint es daher sinnvoll, auf ein Überblicksfenster in der vorliegenden Form zu verzichten, da keine Verbesserungen hinsichtlich der Be-

nutzbarkeit aufgedeckt werden konnte. Es bleibt allerdings festzuhalten, dass eventuell Anpassungen am Design des Übersichtsfensters, wie beispielsweise verbesserte Interaktionstechniken oder die Möglichkeit, dieses lediglich optional einblenden zu können, den Nutzen eines solchen durchaus positiv beeinflussen könnten. Dies wird unterstützt von dem Umstand, dass zahlreiche Probanden gerade die Überblicksfunktion dieses Zusatzfensters als positiv und hilfreich einschätzten, sich letztlich aber trotzdem für die Variante ohne ein Übersichtsfenster als Präferenz entschieden. Dies unterstützt zudem die These, dass eine solche Überblicksfunktionalität prinzipiell gewünscht ist, auch wenn sie in der vorliegenden Form nicht entscheidende Vorteile liefern konnte.

Im zweiten Experiment, ebenfalls mit 24 Teilnehmern, sollte untersucht werden, inwieweit ein geometrisch-semantisches ZUI im Vergleich mit einer Focus+Context Technik, einer Fischaug-Verzerrung, bezüglich der Usability und Benutzerpräferenz bei typischen Suchaufgaben abschneidet (siehe Abbildung 2.10 für die Fischaug-Variante). Die Fischaug-Verzerrung bietet ähnlich wie ein Übersichtsfenster dem Benutzer die Möglichkeit, bei Wahl einer Fokusregion auch weiterhin den Kontext im Blick zu behalten. In diesem Experiment wurde anstelle der lediglich 85 Informationsobjekte umfassenden Datenbank des ersten Experiments auf eine Bücherdatenbank mit 7500 Titeln zurückgegriffen. Dadurch konnte im selben Experiment auch die prinzipielle Skalierbarkeit auf große Datenräume der beiden Visualisierungen überprüft werden. Im Gegensatz zu dem ersten Experiment, welches mit einem PDA durchgeführt wurde, musste in diesem Fall auf ein berührungssensitives Wacom Board, welches an einen 3 GHz Pentium IV Rechner angeschlossen war, zurückgegriffen werden, da ein PDA nicht leistungsfähig genug gewesen wäre. Dieses wurde wie ein PDA per Stift bedient und zudem wurde visuell ein PDA Interface simuliert, wodurch der zur Verfügung stehende Bildschirmplatz identisch mit einem solchen war. Die beiden Systeme zeigten in der Studie keine Unterschiede hinsichtlich der Bearbeitungszeit für typische Suchaufgaben, jedoch bevorzugte eine klare Mehrheit von 20 der 24 Teilnehmer die Fischaug-Verzerrung. Ebenfalls wurde diese besser bewertet bezüglich Navigation und Orientierungsmöglichkeiten, woraus sich schließen lässt, dass sie eine geeignete Variante scheint, um die Orientierung und Navigation in einem zoombaren Punktdiagramm nachhaltig zu verbessern.

Im Folgenden sollen die beiden Experimente im Detail vorgestellt werden.

## **2.4 Experiment 1 – Detail-Only vs. Overview+Detail Interface**

In diesem Experiment traten zwei Varianten des geometrisch-semantischen ZUI gegeneinander an wie sie in Kapitel 2.2.3 vorgestellt wurden – zum einen die Standard Variante, welche im Folgenden als Detail-Only Interface bezeichnet werden soll und zum anderen eine Variante mit zusätzlichem Überblicksfenster, von nun an als Overview+Detail

Interface oder kurz O+D Interface bezeichnet. Als Datenbasis wurde eine Filmdatenbank verwendet mit 85 Titeln. Jedem Informationsobjekt war dabei ein Filmposter sowie textuelle Information wie der Titel, die Dauer, die Sprache, das Erscheinungsjahr und beteiligte Personen zugeordnet. Die Objekte wurden in dem Punktdiagramm anhand der zwei Attribute Popularität und Erscheinungsjahr positioniert. Der Popularitätswert entstammt dabei einer Bewertung durch die Nutzer der Internet Movie Database<sup>3</sup> (IMDb). Bei der Auswahl der Filme wurde darauf geachtet, dass deren Positionierung im Punktdiagramm sowohl zu einigen Häufungen als auch zu einzelnen Ausreißern führte.

### 2.4.1 Bisherige Untersuchungen zur Usability von O+D Interfaces

Bislang wurden auf kleinen Bildschirmen keine Overview+Detail Interfaces empirisch untersucht, jedoch gibt es einige Studien bezüglich der Usability dieser in Desktop Anwendungen. In den meisten Fällen wurde dabei diese gegenüber anderen Varianten als vorteilhaft von Seiten der Benutzer empfunden, wobei hinsichtlich Effizienz und Effektivität die Ergebnisse je nach Informationsraum und den Aufgabentypen variieren. [Hornbæk & Frøkjær, 2001] verglichen in einer Studie zum Lesen und Schreiben von elektronischen Dokumenten die Usability einer Fischaugen-Verzerrung, eines O+D Interface und einer linearen Benutzerschnittstelle, sprich eine Standardapplikation wie Adobe Acrobat, miteinander. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Qualität von erstellten Zusammenfassungen eines vorgegebenen Textes besser war, wenn hierzu ein O+D Interface verwendet wurde, wobei die Probanden allerdings mit der Fischaugen-Verzerrung schneller waren, wenn sie lediglich einen Text lesen mussten und zu dessen Inhalt Fragen beantworten sollten. Bis auf einen Probanden bevorzugten letztlich dennoch alle das O+D Interface. [Baudisch et al., 2004] analysierten dieselben Visualisierungstechniken für einen Webbrowser. Dabei schnitt die Fischaugen-Verzerrung bezüglich der Effizienz und Effektivität am besten ab, wobei die Versuchspersonen dennoch das O+D Interface bevorzugten. In einer weiteren Studie von [Hornbaek et al., 2002] wurde ein zoombares Interface mit und ohne Übersichtsfenster untersucht. Dabei mussten Navigations- und Suchaufgaben mit zwei Typen von topographischen Karten durchgeführt werden. Eine konnte rein geometrisch gezoomt werden wohingegen die andere in mehrere Ebenen unterteilt war, so dass je nach Zoomstufe unterschiedliche Informationen sichtbar waren, was einer Form von semantischem Zoom entspricht. Wiederum waren die Benutzer zwar ohne Übersichtsfenster schneller bei der Bearbeitung von Aufgaben, insbesondere bei der Kartenvariante mit mehreren Ebenen, allerdings bevorzugten sie nichts desto trotz das O+D Interface. Hornbaek et al. vermuteten, dass durch die semantische Organisation des Informationsraums mehr Navigationshinweise gegeben waren. Ein Übersichtsfenster ermöglichte demnach wenig zusätzlichen Nutzen und führte dementsprechend nicht zu schnelleren Bearbeitungszeiten.

Ein möglicher Grund für die systematische Bevorzugung des O+D Interface in den re-

---

<sup>3</sup><http://www.imdb.com>

ferenzierten Studien trotz schlechterer Bearbeitungszeiten könnte darin liegen, dass die Benutzer durch das Übersichtsfenster in ihrer Benutzung sicherer werden und der kognitive Aufwand gesenkt wird. Das Arbeiten wird somit als weniger anstrengend empfunden. Die vorliegende Studie kann einen ersten Hinweis darauf geben, ob dieses Ergebnis auf kleine Bildschirme übertragbar ist.

## 2.4.2 Einfluss der Spatial Ability

Da ein Übersichtsfenster, wie in Kapitel 2.1.5 schon aufgezeigt, zudem ebenfalls dazu dienen kann, individuelle Unterschiede bezüglich der Spatial Ability auszugleichen, war dies neben dem generellen Vergleich hinsichtlich der Usability der zweite Schwerpunkt dieser Studie. Untersucht werden sollte zum einen, ob Spatial Ability für eine derartige zoombare Benutzerschnittstelle die Bearbeitungszeit von Such- und Navigationsaufgaben beeinflusst sowie ob ein Übersichtsfenster eventuell diese Unterschiede minimieren kann. Um die Spatial Ability zu messen wurde auf einen psychometrischen Papier & Bleistift Test aus der Intelligenztestbatterie Leistungsprüfsystem (LPS) von [Horn, 1983] zurückgegriffen. Eingesetzt wurden dabei aber lediglich die Subtests 7-10, welche die räumliche Vorstellungsfähigkeit messen, sowie Subtest 14, welcher die allgemeine visuelle Wahrnehmungsgeschwindigkeit misst, indem zwei Zahlenreihen unter Zeitdruck auf Unterschiede geprüft werden müssen (siehe Abbildung 2.11). Der Test orientiert sich dabei an dem von [Thurstone, 1938] eingeführten Primärfaktormodell der Intelligenz, welches Intelligenz als eine Zusammensetzung verschiedener Einzelfähigkeiten betrachtet. Der Faktor Spatial Ability wurde hierbei nochmals in drei Subkomponenten aufgeteilt, welche von den verwendeten vier Einzeltests 7-10 des LPS weitestgehend abgedeckt werden. Genauer erläutert werden diese Subkomponenten zudem in Kapitel 3.1.1. Der Test zur Messung der generellen Wahrnehmungsgeschwindigkeit (Subtest 14 des LPS) wurde mit aufgenommen, da die Leistung in diesem Bereich die in den anderen Tests beeinflussen kann. Erhofft wurde daher, zwischen dem gemessenen Wert aus den vier Spatial Ability Tests und diesem Test möglichst keine Korrelation zu finden. Als Ergebnis erhält man sowohl bei jedem Einzeltest als auch aggregiert über die vier Spatial Ability Tests einen C-Wert zwischen 1 und 9, wobei der Bevölkerungsmittelwert bei 5 angesetzt ist.

## 2.4.3 Hypothesen

Auf Basis der bisherigen empirischen Untersuchungen zu O+D Interfaces sowie zum Einfluss der Spatial Ability wurden die folgenden Hypothesen formuliert:

1. *Die Benutzer werden das O+D Interface gegenüber dem Detail-Only Interface aufgrund der zusätzlichen Orientierungs- und Navigationsmöglichkeiten bevorzugen. Trotz der Platzeinschränkung, welche ein zusätzliches Fenster auf einem kleinen*

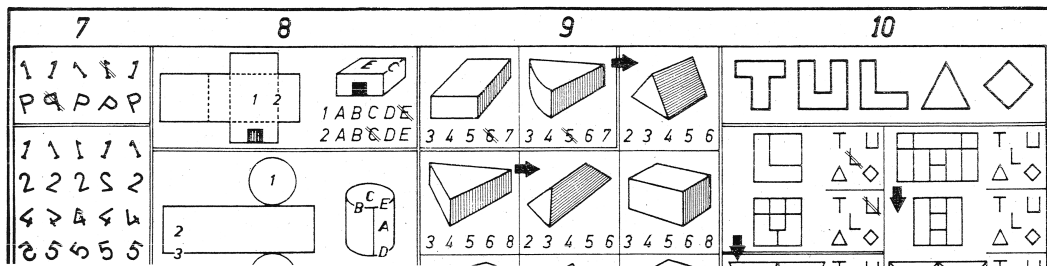


Abbildung 2.11: Die verwendeten Subtests des LPS. Von links nach rechts: Speeded Rotation, Visualization, Visualization/Spatial Orientation & Embedded Figures.

Bildschirm mit sich bringt, wurde vermutet, dass die O+D Variante aufgrund der zusätzlichen Sicherheit bei Navigation und Orientierung bevorzugt werden würde. Der kleinere Platz für das Detailfenster sollte dabei durch die Zoom-Interaktion weitestgehend kompensiert werden können.

2. *Die Aufgaben-Bearbeitungszeit wird für das Detail-Only Interface geringer sein als für das O+D Interface, da dieses durch die Achsenbeschriftungen des Punktdiagramms bereits ausreichende Orientierungshilfen liefert.* Diese auf den ersten Blick gegenüber der ersten Hypothese widersprechende Aussage basiert darauf, dass Benutzer zwar zusätzliche Orientierungs- und Navigationshilfen bevorzugen, wenn aber die vorgegebenen bereits ausreichen, die Bearbeitungszeit durch die erhöhte Komplexität des Interfaces eher leidet [Hornbaek et al., 2002]. Verdeutlicht werden kann dies an dem Umstand, dass bei einem O+D Interface aufgrund der zwei Fenster ein häufiger Aufmerksamkeitswechsel notwendig ist, welcher die Bearbeitungszeit negativ beeinflussen kann [Baudisch et al., 2004].
3. *Benutzer mit einer niedrigen Spatial Ability werden insgesamt über beide Interfaces hinweg eine längere Aufgaben-Bearbeitungszeit benötigen als jene mit einer hohen Spatial Ability.* Diese Hypothese wurde basierend auf den bisherigen Erkenntnissen aufgestellt, dass eine niedrige Spatial Ability die Leistungsfähigkeit der Benutzer beeinträchtigen kann.
4. *Das Übersichtsfenster wird den Unterschied hinsichtlich der Aufgaben-Bearbeitungszeit zwischen High-Spatial und Low-Spatial Probanden reduzieren.* Diese Hypothese basiert auf der Vermutung, dass das Übersichtsfenster die Teilnehmer mit einer niedrigen Spatial Ability unterstützt, eine mentale Repräsentation des Informationsraumes aufzubauen und somit zeitaufwendige Zoom- & Pan-Interaktionen zur Reorientierung reduziert. Dementsprechend könnte das Übersichtsfenster die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen reduzieren.



#### 2.4.4 Teilnehmer

Für die Studie wurden 24 Teilnehmer ausgewählt, 12 Männer und 12 Frauen. Diese waren sämtlich als Studenten an der Universität Konstanz eingeschrieben. Die Studienrichtung variierte hierbei stark, wobei keine Studenten der Fachrichtung Informatik ausgewählt wurden, um eine Verzerrung der Ergebnisse durch einige wenige Experten bezüglich der Bedienung von PDAs im Speziellen und Software im Allgemeinen zu vermeiden. Das Alter der Teilnehmer lag zwischen 19 und 30 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 24 Jahren und einer Standardabweichung von 2,36 Jahren. Keiner der Teilnehmer besaß einen PDA, allerdings hatten acht einen solchen schon einmal kurzzeitig benutzt, weswegen diese mit dem prinzipiellen Stift-Interaktionskonzept vertraut waren. Alle besaßen einen PC, welchen sie auch täglich benutzten. Um eine etwaige Erfahrung mit zoombaren Benutzerschnittstellen zu prüfen, wurden die Teilnehmer auch nach ihrer Erfahrung mit Google Earth<sup>4</sup> befragt. 21 hatten zumindest davon gehört und 14 benutzten es von Zeit zu Zeit, jedoch nicht regelmäßig.

#### 2.4.5 Materialien

Die Studie wurde auf einem Hewlett-Packard iPAQ hx4700 Pocket PC mit Windows Mobile 2003 durchgeführt. Dieses Gerät besitzt einen 624 MHz Prozessor, 64 MB SDRAM und einen interpolierten 480x640 VGA Bildschirm mit 65.000 Farben. Eine digitale Videokamera wurde verwendet, um den Bildschirm des PDAs aufzuzeichnen, indem diese hinter der Versuchsperson angebracht wurde und über deren Schulter filmte. Interaktionen wie Zoomen und Pannen wurden ebenso wie die Aufgaben-Bearbeitungszeiten direkt auf dem Gerät geloggt. Die Benutzerzufriedenheit wurde mit einem Teil des Attrakdiff Fragebogens [Hassenzahl et al., 2003] gemessen, welcher speziell die pragmatische Qualität eines Softwareprodukts erfassen soll. Da sich die beiden Systeme hinsichtlich ihres Erscheinungsbildes nur minimal unterschieden, wurden die Dimensionen hedonische Qualität und Attraktivität nicht berücksichtigt. Zur Messung der Spatial Ability wurden, wie bereits erwähnt, fünf Subtests des LPS verwendet [Horn, 1983]. Mit einem eigens erstellten Fragebogen wurden nach Beendigung des Tests die Systempräferenz sowie die Nutzung des Übersichtsfensters abgefragt. Demografische Daten, sowie PDA Erfahrung, Computer Erfahrung, etc. wurden in einem Pre-Test Fragebogen zu Beginn erfasst.

#### 2.4.6 Aufgaben

Die Teilnehmer mussten im Verlauf des Experiments mit jedem der beiden Systeme jeweils 12 Aufgaben bearbeiten. Die beiden hierfür erstellten Aufgabensets unterschieden

---

<sup>4</sup><http://earth.google.com/>

sich zwar in der jeweiligen Aufgabenstellung, nicht jedoch hinsichtlich der Aufgabentypen und Schwierigkeit, so dass letztlich eine Vergleichbarkeit hergestellt wurde. Jedes Aufgabenset bestand aus drei unterschiedlichen Aufgabentypen zu je vier Aufgaben:

- *Visual Scan*: Der Proband musste hierfür die Darstellung anhand vorgegebener Kriterien abtasten, um beispielsweise die Anzahl von Filmen mit bestimmten Kriterien nennen zu können. Beispielaufgabe: „Wie viele Filme gibt es, die nach dem Jahr 2000 produziert wurden und ein Rating größer/gleich 6 haben?“
- *Information Access*: Hierfür musste ein spezifischer Film gefunden werden, zu welchem daraufhin entweder der Titel oder ein anderes Attribut genannt werden sollte. Beispielaufgabe: „Wie heißt der Regisseur des Films mit einem Rating von 4,4?“
- *Comparison of information objects*: Aufgaben dieses Typs erforderten von der Versuchsperson, mehrere Filme anhand eines speziellen Attributs miteinander zu vergleichen. Beispielaufgabe: „Welcher der beiden Filme aus dem Jahr 1990 mit den Ratings 6,3 und 6 besitzt die längere Spielfilmdauer?“

## 2.4.7 Experimentelles Design

Es wurde ein *Counter-Balanced Within-Subjects Design* verwendet, bei welchem sowohl die beiden Systeme als auch die Aufgabensets ausbalanciert wurden. Dementsprechend entstanden vier verschiedene Gruppen, welche alle möglichen Kombinationen aus Systemreihenfolge und Aufgabensetreihenfolge widerspiegelten. Jeder Gruppe wurden zufällig sechs Teilnehmer zugeordnet. Als Variablen wurden die folgenden identifiziert, deren Zusammenhänge vornehmlich mit repeated-measures Varianzanalysen statistisch ausgewertet wurden.

### Unabhängige Variablen

- Verwendetes System (Detail-Only oder Overview+Detail)
- Spatial Ability (LPS C-Wert, sowie als Gruppenvariable)
- Aufgabentypen

### Abhängige Variablen

- Aufgaben-Bearbeitungszeit (in Sekunden)
- Präferenz (Wahl zwischen Detail-Only, Overview+Detail und keins von beiden)
- Subjektive Zufriedenheit (Attrakdiff Punktzahl für Dimension pragmatische Qualität)
- Fehlerrate (Anzahl der falsch beantworteten Aufgaben)
- Navigationsinteraktionen (Zoom- und Pan-Versuche sowie Distanzen)

## 2.4.8 Ablauf

Jede der Versuchspersonen wurde einzeln und nacheinander getestet. Zu Beginn wurden die Teilnehmer gebeten, einen Pre-Test Fragebogen auszufüllen. Daraufhin mussten diese den Spatial Ability Test absolvieren. Dieser benötigte etwa 20 Minuten für die fünf ausgewählten Subtests des LPS – 14 Minuten reine Bearbeitungszeit, sowie 6 Minuten für Instruktionen. Aufgrund der kognitiven Belastung wurde den Teilnehmern anschließend eine kurze Pause angeboten. Sobald diese wiederum signalisierten, weitermachen zu wollen, erhielten sie eine kurze Einführung zur generellen Benutzung eines PDAs durch den Versuchsleiter, welcher ihnen anschließend das Gerät übergab. Daraufhin wurde die erste Applikation gestartet und an einem nebenstehenden PC hierzu ein Einführungsvideo gezeigt, welches die Funktionalität ausführlich erklärte. An bestimmten Stellen stoppte der Versuchsleiter das Video und bat die Versuchspersonen einzelne der gezeigten Operationen zu wiederholen. Waren weitere Erklärungen notwendig, so gab diese ebenfalls der Versuchsleiter. Sobald die Teilnehmer signalisierten, bereit zu sein, startete der eigentliche Test. Nacheinander wurden nun die ersten 12 Aufgaben auf je einem einzelnen Blatt Papier vorgelegt. Die Versuchspersonen wurden gebeten, die Aufgabe laut vorzulesen und anschließend auf eine Schaltfläche am PDA zu drücken, welche den Start markierte und das Punktdiagramm einblendete. Sobald sie sich sicher waren, die Aufgabe beantworten zu können, tippten sie wiederum auf eine Schaltfläche und beantworteten anschließend die Aufgabe. Nach Beendigung der 12 Aufgaben füllten die Versuchspersonen den Attraktiff Fragebogen aus und wiederholten die Prozedur mit der zweiten Variante des Punktdiagramms und dem zweiten Aufgabenset. Abschließend sollte noch ein Präferenzfragebogen ausgefüllt werden, woraufhin die Teilnehmer einen Kinogutschein im Wert von 10 EUR erhielten. Der Versuchsleiter war angewiesen, während der Bearbeitung der Aufgaben keinerlei Hilfestellung zu geben, was den Versuchspersonen zu Beginn auch kommuniziert wurde. Insgesamt dauerte eine solche Sitzung etwa eine Stunde.

## 2.4.9 Ergebnisse

In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse des Experiments vorgestellt werden. Dabei werden zunächst die vier vorgestellten Hypothesen geprüft und anschließend noch einige weitere Analyseergebnisse präsentiert.

### Hypothese 1: Präferenz

*Die Benutzer werden das O+D Interface gegenüber dem Detail-Only Interface aufgrund der zusätzlichen Orientierungs- und Navigationsmöglichkeiten bevorzugen.*

Die durchgeführte Analyse konnte die Hypothese nicht bestätigen. Lediglich 10 der Teil-

nehmer bevorzugten die Overview+Detail Variante gegenüber 13, welchen das Detail-Only Interface besser gefiel. Ein Teilnehmer wählte die Möglichkeit „keines der beiden“ auf dem Fragebogen. Dieses Ergebnis ist zwar nicht, wie der  $X^2$ -Test aufzeigt, signifikant ( $X^2(1, N = 23) = 0,391, p < 0,532$ ), dennoch widerspricht er den bisherigen Erkenntnissen aus der Literatur zu Desktopsystemen und der aufgestellten Hypothese. Die von den Teilnehmern abgegebenen Kommentare ermöglichten eine genauere Analyse der Präferenzwahl. Dabei merkten die meisten der Versuchspersonen an, welche die Detail-Only Variante bevorzugten, dass sie die größere Bildschirmfläche für das Detailfenster für vorteilhaft erachteten. Zudem erschien das System einfacher zu bedienen und es war nicht notwendig zu überlegen, auf welche Art und Weise eine Aufgabe am Besten gelöst werden kann. Als negative Aspekte bei der O+D Variante wurde von fünf Teilnehmern beanstandet, dass die Interaktionsmöglichkeiten innerhalb des Übersichtsfensters recht schwierig und lediglich ungenau zu benutzen seien. Diese Aussagen wurden auch durch die Beobachtung der Versuchspersonen während des Tests bestätigt, wo sich beispielsweise auch zeigte, dass die scale Funktion auf dem Übersichtsfenster zu Problemen führte. Wie in Kapitel 2.2.3 erwähnt, konnte hierdurch ein Rechteck innerhalb des Übersichtsfensters gezeichnet werden, welches allerdings feste Vorgaben bezüglich des Seitenverhältnisses hatte, um eine Verzerrung des Datenraums zu verhindern. Diese Einschränkung wurde den Versuchspersonen zwar mitgeteilt, was aber nicht verhindern konnte, dass nahezu alle Teilnehmer mehrfach Probleme beim Zeichnen des Rechteckes hatten. Mehrfach wurde versucht, beispielsweise ein langes schmales Rechteck zu zeichnen, welche alle Filme aus einem Jahr abdeckte.

Als Gründe, das Übersichtsfenster zu bevorzugen, nannten die entsprechenden Versuchspersonen mehrheitlich die bessere Orientierungsfunktionalität sowie die Möglichkeit, ständig den Überblick zu bewahren. Interessanterweise merkten fünf der Teilnehmer an, die ihre Präferenz dem Detail-Only Interface gegeben hatten, dass sie das Übersichtsfenster als Orientierungshilfe ebenfalls nützlich fanden, jedoch aufgrund von Problemen mit den Interaktionsmöglichkeiten das Detail-Only Interface bevorzugten. Hieraus könnte man schließen, dass zum einen eine längere Einarbeitungszeit und zum anderen ein optimiertes Design der Interaktionsmöglichkeiten, eventuell auch eine Reduzierung dieser, die Akzeptanz steigern könnte. In jedem Fall scheint eine Orientierungsmöglichkeit an sich durchaus gewünscht zu sein, gaben doch insgesamt 15 Teilnehmer dies als positiven Aspekt des Übersichtsfensters an.

## **Hypothese 2: Aufgaben-Bearbeitungszeit**

*Die Aufgaben-Bearbeitungszeit wird für das Detail-Only Interface geringer sein als für das O+D Interface, da dieses durch die Achsenbeschriftungen des Punktdiagramms bereits ausreichende Orientierungshilfen liefert.*

Die Versuchspersonen konnten die Aufgaben mit dem Detail-Only Interface in der Tat signifikant schneller lösen als mit dem O+D Interface. Sie benötigten im ersten Fall

durchschnittlich 379,34 Sekunden um alle 12 Aufgaben zu bearbeiten aber 452,65 Sekunden mit der Variante mit Übersichtsfenster (Abbildung 2.12). Dieser Unterschied ist zudem hoch signifikant,  $F(1, 23) = 16,5; p < 0,001$ , und bestätigt somit die aufgestellte Hypothese. Eine detaillierte Analyse für alle drei Aufgabentypen zeigt zudem, dass in allen Fällen die Versuchspersonen die Aufgaben mit dem Detail-Only Interface signifikant schneller bearbeiten konnten (Aufgabentyp 1:  $F(1, 23) = 7,587; p < 0,05$ ; Aufgabentyp 2:  $F(1, 23) = 7,569; p < 0,05$ ; Aufgabentyp 3  $F(1, 23) = 5,797; p < 0,05$ ).

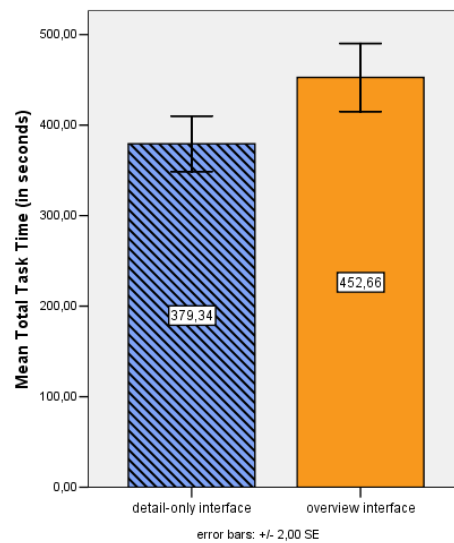


Abbildung 2.12: Ein Vergleich der durchschnittlichen Aufgaben-Bearbeitungszeit für alle 12 Aufgaben zwischen den beiden Interface-Varianten

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit diese Bearbeitungszeiten durch die Interaktionsmöglichkeiten Zoomen und Pannen beeinflusst wurden. Eine Regressionsanalyse konnte hierbei zeigen, dass im Falle des Detail-Only Interface die Anzahl der Zoom-Versuche gemeinsam mit den Pan-Versuchen 56% der Varianz erklärten und somit als recht gute Indikatoren angesehen werden können (ANOVA Ergebnisse:  $F(2, 21) = 13,488; p < 0,001$ ). Zu beachten ist, dass die Pan-Distanz gemeinsam mit den Zoom-Versuchen ebenfalls 56% der Varianz erklärte, diese in der Schrittweisen Regressionsanalyse aber knapp hinter den Pan-Versuchen zurück lag und daher zu Gunsten diesen nicht weiter berücksichtigt wurde. Im Falle des Overview+Detail Interface ergab sich ein ähnliches Bild. Wiederum waren die Interaktionen innerhalb des Detailfensters maßgeblich für die Varianzen innerhalb der Bearbeitungszeiten verantwortlich. In diesem Fall erklärten die Anzahl der Zoom-Versuche sowie die Pan-Distanz insgesamt 64% der Varianz (ANOVA Ergebnisse:  $F(2, 21) = 18,525; p < 0,001$ ). Dies lässt die Vermutung zu, dass ein Reduzieren dieser Interaktionsschritte dazu führen könnte, auch die Bearbeitungszeiten zu reduzieren. Beim Blick auf die Daten zeigt sich, dass sämtliche Interaktionsschritte innerhalb des Detailfensters durch Hinzufügen des Übersichtsfensters reduziert wurden,

im Falle der Zoom- und Pan-Distanz sind diese Unterschiede zudem signifikant (Pan-Distanz:  $F(1, 23) = 4,837; p < 0,05$ ; Zoom-Distanz:  $F(1, 23) = 26,684; p < 0,001$ , siehe Abbildung 2.13). Da die Versuchspersonen jedoch trotz dieses Vorteils insgesamt mehr Zeit für das O+D Interface benötigten, sind folgende Hypothesen, unter Berücksichtigung der Aussagen der Versuchsperson sowie der Beobachtung dieser während des Tests, möglich:

- Die Versuchspersonen benötigten die Zeit beim ständigen Aufmerksamkeitswechsel zwischen den Fenstern.
- Die Versuchspersonen benötigten mehr Zeit, die kognitive Vorüberlegung zu leisten, welche für das Ausführen eines Interaktionsschritts auf dem Übersichtsfenster notwendig ist. Der Interaktionsschritt selbst tritt nicht in der Regressionsanalyse als Indikator für die Gesamtzeit auf, da dieser selbst letztlich ohne merklichen Zeitaufwand ausgeführt werden kann.
- Die kognitive Belastung zu entscheiden, mit welcher Strategie eine Aufgabe zu lösen ist, war im Falle des O+D Interface höher, da die Benutzer sich ständig entscheiden mussten, ob und wenn ja wie ihnen das Übersichtsfenster bei der Aufgabenbearbeitung helfen könnte.

Die Hypothesen lassen vermuten, dass ein rein passives Übersichtsfenster eventuell keine derartig großen Leistungsunterschiede hervorgerufen hätte – auf der anderen Seite kann aber auch vermutet werden, dass bei längerer Einarbeitung die zusätzliche Funktionalität die Arbeit beschleunigen kann.

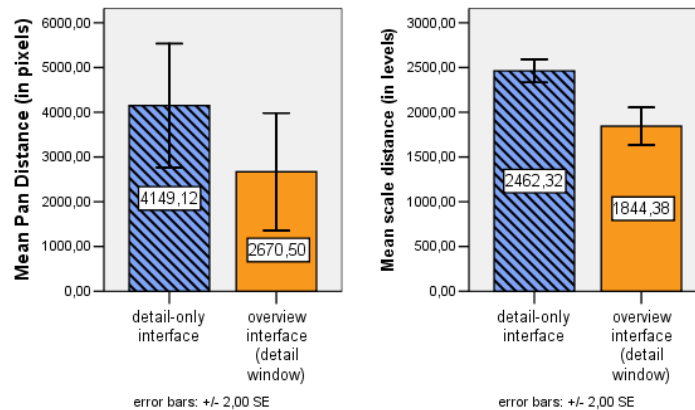


Abbildung 2.13: (Pan-Distanz (links) & Zoom-Distanz (rechts) innerhalb des Detailfensters.

### **Hypothese 3: Einfluss der Spatial Ability auf die Bearbeitungszeit**

*Benutzer mit einer niedrigen Spatial Ability werden insgesamt über beide Interfaces hinweg eine längere Aufgaben-Bearbeitungszeit benötigen als jene mit einer hohen Spatial Ability.*

Die dritte Hypothese sollte den Einfluss der Spatial Ability auf die Bearbeitungszeit untersuchen. Hierfür wurde zunächst mittels einer Regressionsanalyse untersucht, inwiefern der C-Wert des LPS (dabei handelt es sich um bereits transformierte Rohwerte) die Varianz innerhalb der durchschnittlichen Gesamt-Bearbeitungszeiten, sprich für beide Interface-Varianten summiert, erklären würde. Die Analyse ergab jedoch lediglich einen Wert von 1,6% erklärter Varianz (ANOVA Ergebnis:  $F(1, 22) = 0,358$ ;  $p=n.s.$ ), was einen Einfluss dieses Faktors schon nahezu ausschließt. Ähnliche Ergebnisse ergeben sich auf für sämtliche einzelnen Subtests des LPS.

In der Folge wurden die Versuchspersonen unterteilt in zwei Gruppen – eine *High-Spatial*-Gruppe und eine *Low-Spatial*-Gruppe. Dabei wurden vier Teilnehmer um den Median herum ausgeschlossen, um die Gruppen deutlicher voneinander abzugrenzen, wodurch in jeder Gruppe lediglich zehn Teilnehmer übrig blieben. Beim Vergleich der Gruppen mittels Varianzanalysen zeigte sich dasselbe Ergebnis. Die High-Spatial-Gruppe benötigte 809,6 Sekunden um sämtliche 24 Aufgaben zu bearbeiten, wohingegen die Low-Spatial-Gruppe lediglich wenige Sekunden länger benötigte – 822,6 Sekunden. Dieser Unterschied ist erwartungsgemäß nicht signifikant, veranschaulicht und stützt aber das Ergebnis der Regressionsanalyse. Im Hinblick auf die bisherige Literatur waren diese Ergebnisse eher unerwartet. Vor weiteren Schlussfolgerungen soll aber zunächst die abschließende vierte Hypothese betrachtet werden, da sie einen weiteren Aspekt der Spatial Ability Analyse abdeckt.

### **Hypothese 4: Einfluss des Übersichtsfenster auf Low-Spatial und High-Spatial Versuchspersonen**

*Das Übersichtsfenster wird den Unterschied hinsichtlich der Aufgaben-Bearbeitungszeit zwischen High-Spatial und Low-Spatial Probanden reduzieren.*

In einer ersten Analyse sollte überprüft werden, ob zwischen den beiden erstellten Gruppen mit hoher beziehungsweise niedriger Spatial Ability ein Unterschied besteht, wenn anstelle der Gesamtzeit die einzelnen Systeme verglichen werden. Hierbei zeigt sich, dass im Falle des Detail-Only Interface die Gruppe der Low-Spatial Personen 397 Sekunden benötigte, wohingegen die High-Spatial-Gruppe mit 355 Sekunden etwas schneller war, der Unterschied jedoch nicht signifikant ist ( $F(1, 18) = 1,481$ ;  $p = n.s.$ ). Für die Overview+Detail Variante ergibt sich überraschenderweise ein umgedrehtes Bild. Die High-Spatial-Gruppe benötigte hier 454 Sekunden und war damit langsamer als die Low-Spatial-Gruppe mit 425 Sekunden, wobei auch dieser Unterschied nicht si-

gnifikant ist ( $F(1, 18) = 0,626; p = n.s.$ ). Dieses interessante Phänomen wurde mittels einer repeated-measures Varianzanalyse (*Interface-Typ* als between-subjects Faktor, *Spatial-Gruppe* als within-subjects Faktor) hinsichtlich möglicher Interaktionseffekte untersucht. Dabei ergab sich, dass zwischen Interface-Typ und Spatial-Gruppe ein derartiger Effekt vorhanden ist, welcher nur knapp unter dem 5% Signifikanzniveau liegt ( $F(1, 18) = 3,759; p = 0,068$  n.s.). Während dementsprechend die Bearbeitungszeit zwischen den beiden Interfacetypen für die Low-Spatial-Gruppe beinahe unverändert blieb (397 Sekunden gegenüber 425 Sekunden, Unterschied nicht signifikant), verschlechterte das Übersichtsfenster die Leistung der High-Spatial-Gruppe signifikant (356 Sekunden gegenüber 454 Sekunden, ( $F(1, 9) = 14,332; p < 0,05$ , siehe Abbildung 2.14). Interessanterweise blieb die Systempräferenz von diesem Umstand unbeeinflusst – vier Probanden der High-Spatial Gruppe bevorzugten trotzdem die Variante mit Übersichtsfenster und sechs das Detail-Only Interface.

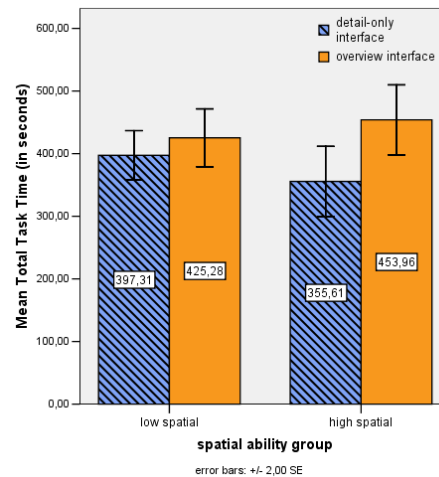


Abbildung 2.14: ein Vergleich der durchschnittlichen Bearbeitungszeit pro Interface-Typ zwischen Low-Spatial und High-Spatial Versuchspersonen

Bei einer genaueren Analyse der spatial-ability Werte zeigte sich, dass hierin ein Grund für die nur in Tendenzen aussagekräftigen Ergebnisse liegen könnte. So konnte festgestellt werden, dass es sich bei den Versuchspersonen um eine relativ homogene Gruppe handelte, deren spatial-ability keine größere Schwankungen aufwies (mittlerer LPS *C-Wert* = 7,46 bei einer Standardabweichung von lediglich  $SD = 0,977$ ). Zudem ergab ein T-Test, dass die im Vergleich zum Bevölkerungsmittelwert von 5 hier ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der Versuchspersonen besteht ( $T(1, 23) = 12,326; p < 0,01$ ), welcher sogar noch für die Low-Spatial-Gruppe gilt (6,5 im Vergleich zu 5,  $T(1, 9) = 6,78; p < 0,01$ ). Auf Basis dieser Daten kann die Gruppe der Versuchspersonen insgesamt als High-Spatial-Gruppe eingeschätzt werden, was erklären könnte, dass die vermuteten Einflüsse dieser Fähigkeit nur bedingt auftraten.



## Weitere Analysen

Die Analyse der Attrakdiff Ergebnisse ergab keine Unterschiede zwischen den beiden Interface-Typen. Da diese aus Benutzersicht auch keine zu großen Änderungen aufwiesen, war dieses Ergebnis letztlich vorhersehbar. Weiterhin wurde untersucht, inwieweit einige Variablen aus dem Pre-Test Fragebogen Einfluss auf die Bearbeitungszeiten hatten. Weder PDA, noch Google-Earth, noch das Geschlecht hatte hierbei einen Einfluss. Bei letzterem zeigten sich auch keine Unterschiede hinsichtlich der Spatial Ability. Die Versuchsperson mit dem höchsten LPS Wert war weiblich. Bezüglich der Fehlerrate konnte ebenfalls kein Unterschied festgestellt werden – bei beiden Interface Varianten wurde im Durchschnitt weniger als eine Aufgabe fehlerhaft bearbeitet.

## Fazit

Abschließend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse von Desktop Untersuchungen wie erwartet nicht eins zu eins auf kleine Bildschirme übertragen werden können. So hat ein zusätzliches Überblicksfenster aufgrund des erheblichen Platzverlustes für das Detailfenster deutlich größere Nachteile und dementsprechend ist die Präferenz der Versuchspersonen hier zweigeteilt. Die Aufgaben-Bearbeitungszeiten und niedrigen Fehlerraten zeigen zudem, dass im Falle eines Punktdiagramms, welches bereits durch die Achsenbeschriftungen den Informationsraum relativ stark strukturiert, auf ein zusätzliches Übersichtsfenster verzichtet werden kann. Allerdings sollte in zukünftigen Designs untersucht werden, inwieweit sich ein optionales Übersichtsfenster eignen könnte, um die Benutzer zumindest zeitweise zu unterstützen. Ebenso sollten in diesem Fall aber die Interaktionsmöglichkeiten innerhalb des Übersichtsfensters nochmals überarbeitet und gegebenenfalls reduziert werden.

Der Einfluss der Spatial Ability lässt sich aufgrund der vorliegenden Daten nicht abschließend beantworten. Die einzige Auffälligkeit ist in dem Interaktionseffekt zu sehen, welcher jedoch nicht signifikant ist und gerade angesichts der Homogenität der Teilnehmer was die Spatial Ability betrifft auch vorsichtig zu betrachten ist. Für weitere Analysen sollte daher in Zukunft darauf geachtet werden, aus einer größeren Anzahl an Versuchspersonen die Low-Spatial und High-Spatial Gruppen auszuwählen, wie es etwa [Stanney & Salvendy, 1995] in ihrer Untersuchung durchführten. Sie wählten aus einer ursprünglich 74-köpfigen Gruppe letztlich 24 Teilnehmer aus, die hinsichtlich der Spatial Ability jeweils in den Extremwertbereichen angesiedelt waren.

## 2.5 Experiment 2 – Fischauge-Verzerrung vs. geometrisch-semantisches ZUI

Das zweite Experiment sollte überprüfen, inwieweit eine Focus+Context Technik am Beispiel einer Fischaugeverzerrung die Usability eines Punktdiagramms, insbesondere hinsichtlich der Orientierung und Navigation, verbessern kann. Die Funktionalität des Fischauge-Interface wurde bereits in Kapitel 2.2.3 vorgestellt (siehe Abbildung 2.10). Kurz zusammengefasst ermöglicht es diese dem Benutzer, für ihn interessante Regionen mittels eines Rechtecks zu markieren, welche daraufhin vergrößert und entzerrt dargestellt werden. Der Kontext, also die Umgebung wird dabei allerdings weiterhin verzerrt im Randbereich dargestellt (siehe Abbildung 2.10). Gegenübergestellt wurde dieses wiederum dem geometrisch-semantic ZUI, welches allerdings im Vergleich zum ersten Experiment an einigen Stellen verändert wurde. Als Datenbasis kam eine Buchdatenbank mit 7500 Titeln zum Einsatz, was bereits deutlich macht, dass auch die Skalierbarkeit in Bezug auf die Größe des Informationsraums Teil der Untersuchung war. Ähnlich wie im ersten Experiment waren jedem Informationsobjekt ein Poster (Buchcover) sowie weitere textuelle Informationen zugeordnet. Im Punktdiagramm wurden die Informationsobjekte entsprechend den Attributen Erscheinungsjahr auf der x-Achse (von 1950 - 2010, in Monats-Schritten) sowie Verkaufspreis auf der y-Achse (0-50 EUR, in Cent-Schritten) platziert (siehe Abbildung 2.15). Dabei wird bereits ein wesentlicher Unterschied des Informationsraumes im Vergleich zum ersten Experiment deutlich. Während bei Experiment 1 letztlich jedem physikalischen Pixel auch ein logischer Punkt im Punktdiagramm zugewiesen werden konnte, war dies im zweiten Experiment nicht mehr möglich. Auf der y-Achse wären 5000 Pixel notwendig (50 EUR x 100 Cent) und auf der x-Achse 720 Pixel (60 Jahre x 12 Monate) gewesen, was somit weit außerhalb der physikalischen Auflösung des verwendeten PDA von 240x320 Pixel liegt. Das bedeutet, dass in der Überblicksdarstellung nicht für jedes Informationsobjekt ein Pixel reserviert war, sondern im Extremfall bis zu 150 Objekte zunächst einen Pixel teilen mussten. Durch die Zoomtechniken, sei es per geometrisch-semantic Zoom oder per Fischauge-Verzerrung, wurde dann der Datenraum nach und nach entzerrt bis schließlich für jedes Informationsobjekt auch wieder mindestens ein Pixel zur Verfügung stand. Die hierfür notwendigen Algorithmen werden an anderer Stelle genauer ausgeführt [Büring et al., 2006b]. Wie im ersten Experiment wurden die Informationsobjekte auch hier so ausgewählt, dass jedes eine andere logische Position besaß, also unterschiedliche Werte bezüglich der Attribute Preis und Erscheinungsjahr.

### 2.5.1 Änderungen am geometrisch-semantic ZUI

Diese Interface-Variante wurde im Vergleich zum ersten Experiment in einigen Details verändert. Aufgrund der Tiefe des Informationsraumes wurden bei einem Zoom-In die Achsenbeschriftungen kontinuierlich angepasst. Wurde der Preis zunächst nur in 5 EUR

schritten abgetragen, so waren in der höchsten Zoomstufe letztlich auch die Cent Beträge sichtbar (siehe Abbildung 2.15). Zudem wurde der semantische Zoom auf eine andere Weise umgesetzt. Dank eines ausgefeilten Algorithmus konnte je nach vorhandenem Platz das Informationsobjekt durch ein größeres Rechteck repräsentiert werden, in welchem nach und nach dynamisch Informationen dargestellt wurden. So konnte bereits vor der für ein Poster erreichten Mindestgröße der Platz für textuelle Informationen, zum Beispiel den Titel, genutzt werden. Ebenfalls geändert wurde die Pan-Funktionalität. Die bislang verwendete Technik, welche das Verschieben im Sinne eines Drag&Drop realisierte, schien bei der Tiefe des Datenraums nicht mehr angemessen. In der höchsten Zoom-Stufe wäre hierdurch die Navigation extrem verlangsamt worden, da jeweils wenige Cent-Beträge in einer Bewegung hätten verschoben werden können. Daher wurde eine Sliding Technik eingesetzt. Bei dieser konnte der Benutzer, nachdem er den Stift auf dem Bildschirm platziert hatte, durch Ziehen und Halten ein Gleiten in eine Richtung auslösen. Je weiter der Stift dabei von der Aufsetzposition entfernt wurde, desto schneller wurde diese Bewegung. Hierbei war auch jederzeit eine Richtungsänderung möglich. Durch die hohe Interaktivität wurde ein wenig das Gefühl vermittelt, wie in einem Videospiel ein Auto oder Raumschiff durch eine Umgebung zu navigieren.

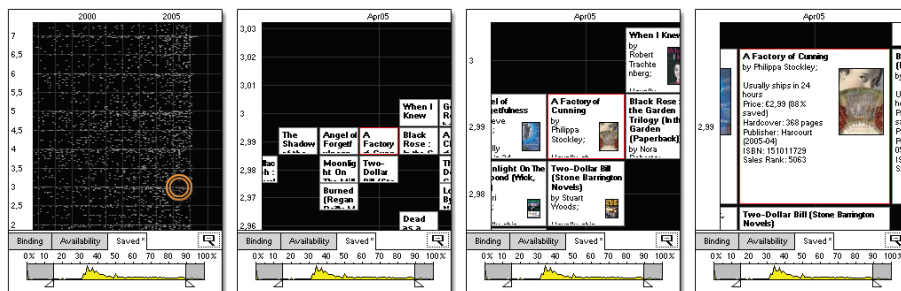


Abbildung 2.15: Die im zweiten Experiment verwendete Variante des geometrisch-semantischen ZUI.

Bei beiden Interface-Varianten wurden zudem Dynamic Queries, ähnlich wie im vorgestellten Filmfinder [Ahlberg & Shneiderman, 1994a], am unteren Bildschirmrand hinzugefügt, welche hierbei aber vornehmlich dazu dienten, mehr Spielraum für komplexere Aufgaben zu erhalten. Mit Hilfe dieser Interaktionselemente konnte der Informationsraum beispielsweise direkt auf Bücher eingeschränkt werden, welche eine gewisse Preisersparnis zur unverbindlichen Preisempfehlung beinhalteten.

## 2.5.2 Hypothesen

Für das Experiment wurden zunächst die folgenden Hypothesen aufgestellt:

1. *Die Aufgaben-Bearbeitungszeit wird bei dem Fischaugen-Interface niedriger ausfallen als bei dem geometrisch-semantischen ZUI.*

Bislang gibt es sehr wenige Studien welche die Usability von Fischaug-Interfaces mit jener von ZUIs verglichen haben. [Schaffer et al., 1996] fanden in ihrem Experiment beispielsweise heraus, dass die Versuchspersonen mit Hilfe des Fischaug-Interface eine hierarchisch strukturierte Netzwerkdarstellung im Vergleich zu einem geometrischen ZUI signifikant schneller und mit weniger unnötigen Navigationsschritten bedienen konnten. Dabei schlossen die Autoren aus diesen Ergebnissen, dass es die Fischaug-Verzerrung den Versuchspersonen ermöglichte, sich ganz auf die Aufgabe zu konzentrieren und weniger auf die Navigation. [Gutwin & Fedak, 2004] konnten ähnliche Ergebnisse bei einem Vergleich derartiger Benutzerschnittstellen auf kleinen Bildschirmen feststellen. Bei der Bearbeitung von Navigationsaufgaben war das Fischaug-Interface signifikant schneller. In dem hier vorliegenden Fall eines Punktdiagramms wurden aufgrund dessen ähnliche Ergebnisse erwartet. Den Benutzern würden unnötige Navigationsschritte erspart bleiben, indem diese direkt interessante Bereiche vergrößern konnten. Für Aufgaben, bei welchen ein direkter Zugriff auf ein einzelnes Informationsobjekt notwendig ist, wurde jedoch vermutet, dass das geometrisch-semantiche ZUI zu schnelleren Bearbeitungszeiten führen würde, da für diese Art von Aufgaben keine Pan-Interaktion zwangsläufig notwendig ist.

2. *Die Benutzer werden das geometrisch-semantiche ZUI gegenüber dem Fischaug-Interface bevorzugen.*

In den bisherigen Studien zu Fischaug-Interfaces hat sich gezeigt, dass dieses trotz oftmals besserer Effizienz und Effektivität von den Benutzern nicht bevorzugt wird [Gutwin & Fedak, 2004], [Hornbæk & Frøkjær, 2001] & [Baudisch et al., 2004]. Ein möglicher Grund hierfür ist die sehr künstliche Verzerrung, welche die Benutzer verwirrt. Zudem erscheint das geometrisch-semantiche ZUI aufgrund seiner Zoom-Animation und der Computerspiel-ähnlichen Slide-Technik weitere Vorteile aufbieten zu können, welche bei der Präferenzbewertung offensichtlich werden sollten.

### 2.5.3 Teilnehmer

Für die Studie wurden 24 Teilnehmer ausgewählt, 11 Männer und 13 Frauen. Davon waren 23 als Studenten an der Universität Konstanz eingeschrieben. Das Alter dieser Teilnehmer lag zwischen 19 und 33 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 23,68 Jahren und einer Standardabweichung von 3,6 Jahren. Die Studienrichtung variierte hierbei stark, wobei die stärkste Gruppe mit sieben Teilnehmern von Psychologiestudenten gestellt wurde und lediglich einer der Teilnehmer in Informatik promovierte. Ein weiterer Teilnehmer kam von außerhalb der Universität, war bereits 50 Jahre alt und Ingenieur. Zwei der Teilnehmer besaßen einen PDA, und weitere zehn hatten einen solchen schon einmal kurzzeitig benutzt, weswegen diese mit dem prinzipiellen Stift-Interaktionskonzept vertraut waren. Alle besaßen einen PC, welchen sie auch täglich

benutzten. Um eine etwaige Erfahrung mit zoombaren Benutzerschnittstellen zu prüfen, wurden die Teilnehmer auch nach ihrer Erfahrung mit Google Earth befragt – 17 hatten davon gehört aber lediglich eine Versuchsperson hatte diese Anwendung schon einmal benutzt.

## 2.5.4 Materialien

Für das Experiment wurde aufgrund der benötigten Rechenleistung kein PDA verwendet wie im Falle von Experiment 1, sondern ein Wacom Board<sup>5</sup>. Dieser 19“ große Bildschirm lässt sich ebenfalls mit einem Stift bedienen und war darüber hinaus an einen leistungsstarken Pentium IV PC mit 3 GHz und 1 GB RAM angeschlossen. Dabei wurde die Oberfläche eines PDA, wie in Abbildung 2.16 zu sehen, auf der verfügbaren Bildschirmfläche simuliert, wodurch für die Interaktion mit den beiden Interface-Varianten der gleiche Bildschirmplatz zur Verfügung stand wie bei einem realen PDA. Durch die Verwendung eines normalen PCs konnte auch eine Software zur Aufzeichnung des Bildschirminhaltes verwendet werden<sup>6</sup>, welche zusätzlich noch die Aufnahme einer Webcam, welche auf den Probanden gerichtet war, in die Aufzeichnung integrierte. Die Aufgabenbearbeitungszeit sowie Zoom- und Pan-Versuche wurden direkt in der Anwendung geloggt.

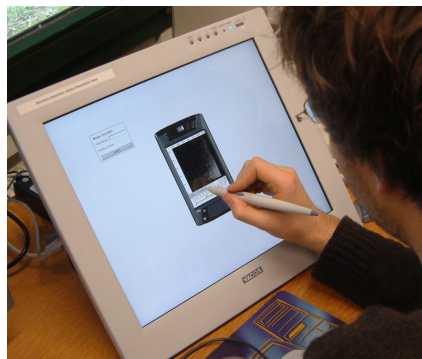


Abbildung 2.16: Das Wacom Board auf welchem die ZuiScat Applikation in einem PDA Interface simuliert wurde.

Zur Messung der Benutzerzufriedenheit wurde wie schon im ersten Experiment ein Teil des Attrakdiff Fragebogens verwendet, welcher die pragmatische Qualität eines Produktes misst. Zusätzlich wurden zwei weitere Fragen ergänzt, welche die Navigations- und Orientierungsfunktionalität überprüfen sollten. Diese lauteten:

- Gezielt zu einem einzelnen Buch zu navigieren empfand ich (einfach – schwer)

<sup>5</sup><http://www.wacom-europe.com/de/products/pl/index.asp>

<sup>6</sup>Techsmith Morae 1.2

- Mich im Punktdiagramm zu orientieren empfand ich (einfach – schwer)

Wie im Falle des Attraktdiffs wurde zwischen den beiden zur Auswahl stehenden Antworten mittels einer 7-Punkt Skala differenziert.

Um die Systempräferenz zu messen wurde ebenfalls ein Fragebogen verwendet, bei welchem zusätzlich auch noch die Frage enthalten war, ob das nicht bevorzugte System für manche der Aufgaben trotzdem das nützlichere gewesen sei. Dies sollte dazu dienen, die Präferenzmeinung etwas weiter zu differenzieren. Ebenso wurde noch danach gefragt, welches der beiden Systeme nach der subjektiven Meinung der Teilnehmer die schnellere Bearbeitung der Aufgaben ermöglichte und welche der beiden Pan-Techniken sie bevorzugten (Slide-Technik wie im geometrisch-semantischen ZUI oder klassisches Drag&Drop-Pannen, wie im Fischauge-Interface). Die demographischen Daten wurden mittels eines Pre-Test Fragebogens zu Beginn erhoben.

### 2.5.5 Aufgaben

Die Teilnehmer mussten während dem Experiment mit jedem der beiden Systeme jeweils 10 Aufgaben bearbeiten. Die beiden hierfür erstellten Aufgabensets unterschieden sich zwar in der jeweiligen Aufgabenstellung, nicht jedoch hinsichtlich der Aufgabentypen und Schwierigkeit, so dass letztlich eine Vergleichbarkeit hergestellt wurde. Jedes Aufgabenset bestand aus drei unterschiedlichen Aufgabentypen:

- *Visual Scan*: Der Proband musste hierfür die Darstellung anhand vorgegebener Kriterien abtasten, um beispielsweise die Anzahl von Büchern mit bestimmten Kriterien nennen zu können. Beispielaufgabe: „Wie viele Bücher wurden seit dem Jahr 2000 zu einem Preis von 20 EUR veröffentlicht?“
- *Information Access*: Hierfür musste ein spezifisches Buch gefunden werden, zu welchem daraufhin entweder der Titel oder ein anderes Attribut genannt werden sollte. Beispielaufgabe: „Wie heißt der Autor des teuersten Buches aus dem Jahr 2005?“
- *Comparison of Information Objects*: Aufgaben dieses Typs erforderten von der Versuchsperson, mehrere Bücher anhand eines speziellen Attributs miteinander zu vergleichen. Beispielaufgabe: „Zwischen August und September 2001 wurden vier Bücher veröffentlicht, welche zu einem Preis von 8,53 EUR verfügbar sind. Welches der vier besitzt die meisten Seiten?“

Mittels der angesprochenen Dynamic Queries konnten die Aufgaben hierbei vielfältiger gestaltet werden und somit auch realitätsnaher.

## 2.5.6 Experimentelles Design

Es wurde ein so genanntes counter-balanced within-subjects design verwendet, bei welchem sowohl die beiden Systeme als auch die Aufgabensets ausbalanciert wurden. Dementsprechend entstanden vier verschiedene Gruppen, welche alle möglichen Kombinationen aus Systemreihenfolge und Aufgabensetreihenfolge widerspiegelten. Jeder Gruppe wurden anschließend zufällig sechs Teilnehmer zugeordnet. Als Variablen wurden die folgenden identifiziert, deren Zusammenhänge vornehmlich mit repeated-measures Varianzanalysen statistisch ausgewertet wurden.

### Unabhängige Variablen

- Verwendetes System (Fischaug-Interface oder geometrisch-semantisches ZUI)
- Aufgabentypen

### Abhängige Variablen

- Aufgaben-Bearbeitungszeit (in Sekunden)
- Präferenz (Wahl zwischen Fischaug-Interface, geometrisch-semantisches ZUI und keins von beiden)
- Subjektive Zufriedenheit (Attrakdiff Punktzahl für Dimension pragmatische Qualität)
- Fehlerrate (Anzahl der falsch beantworteten Aufgaben)
- Navigationsinteraktionen (Zoom- und Pan-Versuche)

Die Navigationsinteraktionen waren aufgrund der sehr unterschiedlichen Benutzerschnittstellen allerdings kaum vergleichbar und sind hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

## 2.5.7 Ablauf

Jede der Versuchspersonen wurde einzeln und nacheinander getestet. Zu Beginn wurden den Teilnehmern eine kurze schriftliche Einführung sowie der Pre-Test Fragebogen ausgehändigt. Anschließend wurde ihnen die Handhabung der Stiftinteraktion mit dem Wacom Board erklärt, wobei hierbei auch eine Rekalibrierung des Stiftes stattfand, um für jeden Teilnehmer eine best mögliche Genauigkeit zu erreichen. Anschließend wurde ein Einführungsvideo zu der ersten Interface-Variante gezeigt, woraufhin den Teilnehmern Zeit eingeräumt wurde, das System auszuprobieren und den Versuchsleiter Fragen zu stellen. Sobald die Versuchspersonen signalisierten, das Interface verstanden zu haben, wurden diese gebeten zunächst vier Trainingsaufgaben zu bearbeiten. In dieser Phase durften weiterhin Fragen an den Versuchsleiter gestellt werden. Daraufhin wurden die zehn Testaufgaben sukzessive auf je einem Blatt Papier vorgelegt. Die Teilnehmer wurden gebeten, jede Aufgabe laut vorzulesen und anschließend auf die mit „Aufgabe

starten“ beschriftete Schaltfläche zu tippen. Sobald sie sich sicher waren, die Aufgabe beantworten zu können, tippten sie auf die mit „Antwort sagen“ beschriftete Schaltfläche, woraufhin die Zeitmessung gestoppt wurde. In der Testphase wurde von Seiten des Versuchsleiters keinerlei Hilfestellung mehr gegeben. Nach Beendigung aller zehn Aufgaben wurden die Probanden gebeten, den Attrakdiff Fragebogen inklusive der beiden Zusatzfragen auszufüllen. Anschließend wurde dieselbe Prozedur inklusive Einführungsvideo und Trainingsaufgaben mit dem zweiten Interface und dem zweiten Aufgabenset wiederholt. Am Ende wurde von jeder Versuchsperson noch der Präferenzfragebogen ausgefüllt und ein Kinogutschein im Wert von 10 EUR ausgehändigt. Insgesamt dauerte eine Sitzung zwischen 60 und 75 Minuten.

## 2.5.8 Ergebnisse

In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse des Experiments mit dem Fokus auf den beiden aufgestellten Hypothesen vorgestellt werden. Während der Analyse wurde ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen System-Reihenfolge, Aufgabenset-Reihenfolge und Interface-Typ festgestellt. Weitere Analysen konnten diesen auf eine fehlerhaft gestaltete Aufgabe in einem der beiden Aufgabensets zurückführen, welcher speziell einen Interface-Typ begünstigte. Daher wurde diese Aufgabe von der weiteren Analyse ausgenommen. Ebenso wurde eine Versuchsperson nicht berücksichtigt, deren Aufgabenbearbeitungszeit diese als deutlichen Ausreißer kennzeichnete ( $> 3 * \text{Standardabweichung}$ ).

### Hypothese 1: Aufgaben-Bearbeitungszeit

*Die Aufgaben-Bearbeitungszeit wird bei dem Fischeauge-Interface niedriger ausfallen als bei dem geometrisch-semanticen ZUI.*

Die Analyse bezüglich dieser Hypothese ergab, dass zwischen den beiden Interface-Varianten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der durchschnittlichen Aufgaben-Bearbeitungszeit vorhanden waren. In beiden Fällen benötigten die Versuchspersonen ungefähr die gleiche Zeit, um die zehn Aufgaben zu lösen (623,8 Sekunden im Falle des geometrisch-semanticen ZUI verglichen mit 612,4 Sekunden im Falle des Fischeauge-Interface, siehe Abbildung 2.17). Da dieser kleine Unterschied nicht signifikant ist kann die Hypothese nicht bestätigt werden und muss vorläufig verworfen werden ( $F(1, 22) = 0,002$ ,  $p = \text{n.s.}$ ). Im nächsten Schritt wurde untersucht, ob hinsichtlich der drei Aufgabentypen Unterschiede zwischen den Systemen feststellbar waren. Die Vermutung lautete, dass das geometrisch-semantiche ZUI eventuell bei *Information Access* Aufgaben schneller sein könnte, wohingegen das Fischeauge-Interface für die anderen beiden Aufgabentypen als besser geeignet erschien. Die Ergebnisse (Abbildung 2.18) bestätigen zwar diese Vermutung, jedoch sind die sehr kleinen Differenzen wiederum nicht signifikant.



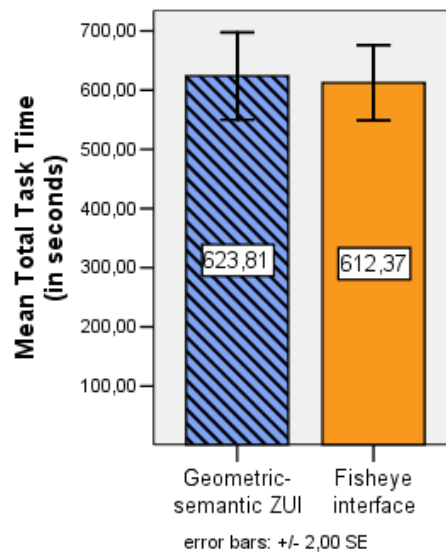


Abbildung 2.17: Vergleich der Gesamtbearbeitungszeit

Hinsichtlich möglicher Geschlechterunterschiede konnte festgestellt werden, dass die männlichen Teilnehmer die Aufgaben signifikant schneller bearbeiten konnten als die Frauen und dies unabhängig von der Interface-Variante (geometrisch-semantisches ZUI: 529 Sekunden zu 646 Sekunden,  $F(1, 22) = 7.5, p = 0.012$ ; Fischaug-Interface: 521 Sekunden zu 650 Sekunden,  $F(1, 22) = 6.9, p = 0.016$ ). Die PDA Erfahrung hatte demgegenüber keinen messbaren Einfluss.

Im abschließenden Fragebogen wurden die Versuchspersonen auch nach ihrer Einschätzung befragt, mit welchem Interface sie glaubten, die Aufgaben schneller bearbeitet zu haben. Ungefähr 30% verschätzten sich hierbei, wobei dies aufgrund der oftmals sehr kleinen Unterschiede nicht überraschend ist. Hinsichtlich der Fehlerrate konnten keine Unterschiede festgestellt werden – in beiden Fällen wurden mehr als 90% der Aufgaben richtig gelöst.

## Hypothese 2: Präferenz & Fragebogenergebnisse

*Die Benutzer werden das geometrisch-semantische ZUI gegenüber dem Fischaug-Interface bevorzugen.*

Die Ergebnisse bezüglich dieser Hypothese sprechen eine deutliche Sprache: 20 Versuchspersonen entschieden sich für das Fischaug-Interface als bevorzugtes System und lediglich drei für das geometrisch-semantische ZUI. Dieser Unterschied ist signifikant und verwirft die Hypothese ( $X^2(1, N = 23) = 12,565; p < 0,001$ ). Auf der Suche nach möglichen Gründen für dieses klare Votum wurden zunächst die Attrakdiff Ergebnisse ausgewertet. Wie in Abbildung 2.19 zu sehen ist, wurde das Fischaug-Interface hinsicht-

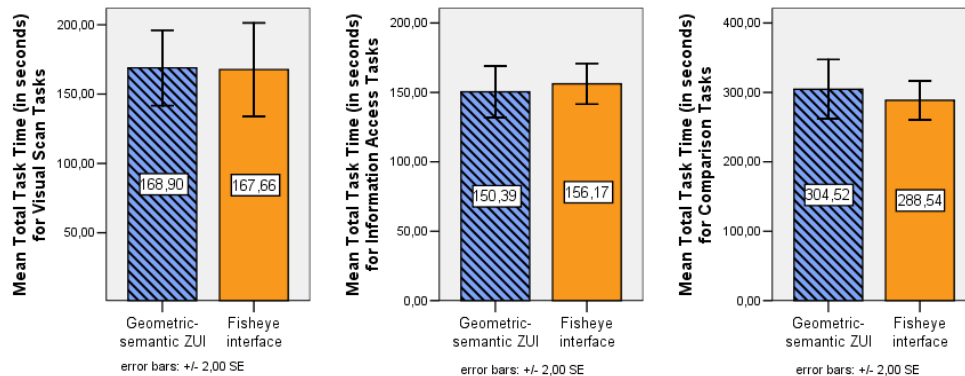


Abbildung 2.18: Vergleich der unterschiedlichen Aufgabentypen Visual Scan (links), Information Access (Mitte) und Comparison (rechts).

lich der pragmatischen Qualität – 5,11 im Vergleich zu 4,11,  $F(1, 23) = 20,84; p < 0,001$  – signifikant besser bewertet als das geometrisch-semantische ZUI. Ein ähnliches Bild ergab sich bei der Analyse der beiden zusätzlichen Fragen bezüglich Orientierung und Navigation (Navigation: 5,79 im Vergleich zu 4,83,  $F(1, 23) = 9,6; p < 0,01$ ; Orientierung: 5,7 im Vergleich zu 4,7  $F(1, 23) = 9,9; p < 0,01$ ). In einem weiteren Schritt wurden die Kommentare der Versuchspersonen näher analysiert, mit denen diese ihre Präferenz begründeten. Dabei wurden die folgenden Gründe genannt:

- Das Fischaugen-Interface ermöglicht eine bessere Orientierung (9 Teilnehmer).
- Das Ziehen eines Rechtecks um eine Region einzuschränken war der einfachere Weg um zu einem bestimmten Bereich zu gelangen (8 Teilnehmer).
- Das Fischaugen-Interface ermöglichte es, die Aufgaben schneller zu bearbeiten (6 Teilnehmer).
- Die Slide-Technik des geometrisch-semantischen ZUI bereitete Probleme (7 Teilnehmer).

Der letzte Aspekt erscheint vornehmlich daran zu liegen, dass diese Technik für die meisten Versuchspersonen ungewohnt war und es bei fehlerhafter Bedienung leicht dazu kommen konnte, anstelle des Sliden ungewollt einen Zoom auszulösen. Interessanterweise nannten allerdings 15 der Versuchspersonen, welche das Fischaugen-Interface bevorzugten, dass bei einigen Aufgaben das geometrisch-semantische ZUI besser geeignet war. Als Gründe wurden hierfür genannt:

- Mit Hilfe des geometrisch-semantischen ZUI war es einfacher, Bücher zu vergleichen die nah beieinander liegen (7 Teilnehmer).
- Der Zugriff auf ein einzelnes Buch war leichter möglich (3 Teilnehmer).
- Das Zoomen vergrößerte die Bücher tatsächlich (3 Teilnehmer).

- Durch den semantischen Zoom konnten interessante Bücher in der Nähe entdeckt werden (1 Teilnehmer)

Der letzte Aspekt ist wiederum interessant, denn die gewählten Aufgaben erforderten eine solche explorative Vorgehensweise nicht. Bezüglich der verwendeten Pan-Technik entschied sich die Mehrheit der Benutzer für die konventionellere Drag&Drop-Technik, wie im Fischaug-Interface realisiert ( $16:7$ ,  $X^2(1, N = 23) = 3,522$ ;  $p = 0,061$ , n.s.).

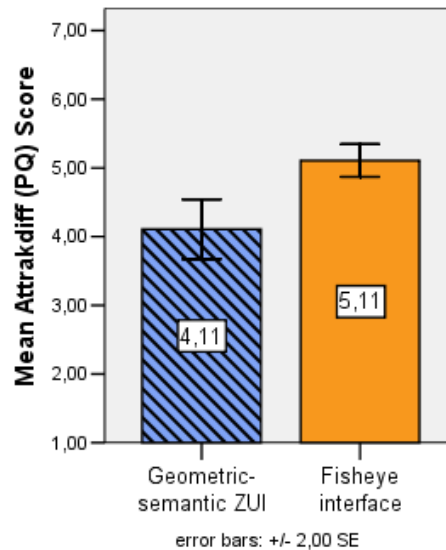


Abbildung 2.19: Ein Vergleich der Attractiff PQ-Bewertungen

## Fazit

Abschließend lässt sich hier festhalten, dass die Ergebnisse bezüglich der Präferenz, hinsichtlich der bisherigen Erkenntnisse zu Fischaug-Interfaces, überraschend waren. Interessant ist hierbei vor allen Dingen, dass scheinbar die besseren Orientierungs- und Navigationsmöglichkeiten einen entscheidenden Anteil hatten, da diese durchwegs positiv bewertet und von den Benutzern in deren Präferenzbegründungen genannt wurden. Ein möglicher Grund für das gute Abschneiden des Fischaug-Interfaces könnte darin liegen, dass dieses bei bereits sehr abstrakten Visualisierungen weniger verwirrend wirkt und sich besser in diese integrieren lässt. Bei der Präsentation der Ergebnisse dieses Experiments auf dem Symposium on Information Visualization<sup>7</sup> (InfoViz) im Herbst 2006 in Baltimore wurde allerdings noch ein Kritikpunkt von Catherine Plaisant aufgezeigt. So ist durch den Einsatz der unterschiedlichen Pan-Techniken sowie der verschiedenen Zoom-Techniken ihrer Meinung nach letztlich kein abschließender Kausalschluss möglich.

<sup>7</sup><http://conferences.computer.org/infovis/infovis2006/>

Um beispielsweise den exakten Einfluss der im Fischauge-Interface verzerrten Kontextregionen feststellen zu können, hätte das geometrisch-semantische ZUI ebenfalls das Zoomen durch das Festlegen eines Rechtecks ermöglichen müssen.

Die Kommentare der Versuchspersonen regen zudem dazu an, eine Kombination beider Interface-Varianten in Betracht zu ziehen. So könnte diese beispielsweise innerhalb der Fokus-Regionen zusätzlich einen geometrisch-semantischen Zoom erlauben. Die Objekte die hierbei aus dieser Region herausdriften, würden dabei allerdings schlagartig auf Ein-Pixel Größe reduziert werden, was möglicherweise zu Verwirrung führen könnte. Allerdings würden hierdurch die genannten Vorteile des geometrisch-semantischen ZUI, wie etwa die Möglichkeit, nahe beieinander liegende Objekte besser vergleichen zu können, in das Fischauge-Interface übernommen werden können.

## **3 Teil 2: Orientierung und Navigation in der realen Umwelt**

Dieser Teil der Arbeit soll die vornehmlich psychologischen Grundlagen zur Orientierung und Navigation in der realen Umwelt vorstellen. Dabei folgen zunächst drei grundlegende Kapitel. Als erstes wird das Konstrukt der Spatial Ability näher vorgestellt. Zum einen, weil diese in der Literatur der Mensch-Computer Interaktion oftmals als ein entscheidender Faktor für individuelle Unterschiede gesehen wird und daher eine Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen Voraussetzung ist, um Interaktionstechniken in der Art zu gestalten, dass sie diese individuellen Unterschiede ausgleichen können. Zum anderen dient es als Einstieg in die Thematik der Navigation und Orientierung in der realen Umwelt, da dies wohl mit das natürlichste räumliche Verhalten darstellt und somit vermutet werden kann, dass die Spatial Ability auch hier einen entscheidenden Einfluss hat. Daraufhin sollen im nächsten Kapitel die unterschiedlichen Navigationsstrategien näher beleuchtet werden inklusive einer ausführlichen Diskussion des Konzepts einer kognitiven Karte. Im letzten Grundlagenkapitel werden dann die neuronalen Erkenntnisse der letzten Jahre zu diesem Thema zusammenfassend vorgestellt.

Im Anschluss an diese einführenden Kapitel folgen fünf weitere Kapitel, welche sich jeweils mit konkreten Fragestellungen auseinandersetzen, die für die Orientierung und Navigation in der realen Umwelt wichtig sind. So wird beispielsweise der Frage nachgegangen, inwieweit räumliche Informationen automatisch abgespeichert werden (Kapitel 3.6) und ob das räumliche Gedächtnis hierarchisch strukturiert ist oder nicht (Kapitel 3.5)

### **3.1 Spatial Ability**

Die in Kapitel 2.4 durchgeführte Untersuchung, welche unter anderem überprüfen sollte, ob sich die Varianz der Aufgaben-Bearbeitungszeit der Versuchspersonen mit dem zoombaren Punktdiagramm ZuiScat durch individuelle Unterschiede hinsichtlich der Spatial Ability der Probanden erklären lässt, führte wie aufgeführt zu sehr vagen Ergebnissen und Interpretationsmöglichkeiten. Als mögliche Gründe konnten bei näherer Betrachtung der Daten die hohe Homogenität innerhalb der Testgruppe bezüglich der Spatial Ability identifiziert werden, sowie das insgesamt sehr hohe Niveau dieser Fähigkeiten bei

den gewählten Versuchspersonen. Diese Vermutungen gehen davon aus, dass aufgrund der gefundenen Tendenzen prinzipiell ein Zusammenhang vorhanden sein könnte, welcher im Experiment lediglich verdeckt wurde. Eine weitere, radikalere Folgerung könnte allerdings auch lauten, dass durch den verwendeten Spatial Ability Test nicht das gemessen wurde, was eigentlich gemessen werden sollte – im Endeffekt also ein falsches Messinstrument verwendet wurde. Vor dem Einsatz solcher Tests in weiteren Experimenten sollte somit hinterfragt werden, was genau derartige Spatial Ability Tests eigentlich messen? Hierfür soll in diesem Kapitel das theoretische Konstrukt hinter dem Begriff näher beleuchtet werden und identifiziert werden, welche Subkomponenten existieren. Bei einem Blick in die Literatur zeigt sich dabei sehr schnell, dass das Konstrukt der Spatial Ability keineswegs so eindeutig definiert ist, wie es eine robuste Anwendung derartiger Tests vermutlich erfordern würde. [Pellegrino & Goldman, 1983] bezeichnen es sogar als „ill defined concept“.

[Sjölinder, 1998] definiert Spatial Ability wie folgt: „spatial abilities are cognitive functions that enable people to deal effectively with spatial relations, visual spatial tasks and orientation of objects in space“. An dieser Definition wird schon ein Hauptproblem deutlich: Es ist äußerst schwer, Spatial Ability sinnvoll zu definieren, ohne konkret auf die dadurch lösbaren Aufgaben, die Tasks, einzugehen. Daraus ergibt sich auch ein weiteres Problem, welches von [Allen, 1999] genannt wird: Es handelt sich bei Spatial Ability um ein Konstrukt, das von vielen unterschiedlichen Disziplinen verwendet wird, welche zumeist nur recht wenig miteinander gemeinsam haben und bei welchen zumeist auch deutlich unterschiedliche Aufgaben zu bewältigen sind. Um eine gemeinsame Basis zu finden gibt es daher unterschiedliche Herangehensweisen. Ein nach Meinung von Allen viel versprechender Vorschlag wurde bereits 1975 von [Rosch & Mervis, 1975] gemacht, welche eine Gliederung entsprechend der Funktion, also der Aufgaben, zu welchen die jeweiligen Fähigkeiten benötigt werden, vorschlugen. Dieser Ansatz wurde allerdings bislang nicht weiter verfolgt. Viel weiter verbreitet ist es daher, die Spatial Abilities anhand von kritischen Eigenschaften oder Prozessen zu gruppieren. Die hierzu nun folgenden Ausführungen konzentrieren sich dabei auf die psychometrische Perspektive, da dort die Grundlagen bezüglich der oft eingesetzten Papier & Bleistift Spatial Ability Tests zu finden sind.

### 3.1.1 Psychometrische Perspektive

Die Psychometrie kann als die Mutter des Konzepts der *Individual Differences* gesehen werden, also der Idee, dass es zwischen Menschen und ihren kognitiven Fähigkeiten Unterschiede gibt, welche zudem einzeln messbar sein sollten. Als einer der größten Erfolge gilt dabei die Intelligenzforschung mit den entsprechenden theoretischen Konzepten und praktischen Testbatterien, zumeist im Stil von Papier & Bleistift Tests. Ging man zunächst von einem allgemeinen Intelligenzfaktor  $g$  aus, so gelang es [McFarlane, 1925] erstmals einen weiteren Faktor zu identifizieren, welcher sich von dem *Faktor  $g$*  deut-

lich unterschied und die Personen, welche hier gut abschnitten, dazu befähigte, Urteile über konkrete räumliche Relationen zu fällen. [Thurstone, 1938] führte dann erstmals ein Intelligenzmodell ein, welches auf mehreren Faktoren basierte, wovon einer als Space bezeichnet wurde, welcher nochmals in drei Subkomponenten unterteilt war und dem heutigen Konstrukt der Spatial Ability am nächsten kommt.

Nach und nach hat sich auch bei weiteren Untersuchungen gezeigt, dass das Konzept Spatial Ability sich in mehrere Subkomponenten aufspalten lässt. [Lohman, 1979] & [Lohman, 1988] hat durch eine Metaanalyse von bestehenden Studien eine Auflistung von Faktoren erstellt, welche mit der „räumlichen Fähigkeit“ in Zusammenhang stehen. Dabei lassen sich drei entscheidende Komponenten herausstellen: *Speeded Rotation* (auch *Spatial Relations* genannt), *Spatial Orientation* und *Visualization*:

**Speeded Rotation/Spatial Relations (Abbildung 3.1 links):** Dies beinhaltet die Fähigkeit zu bestimmen, ob ein Stimulus, also beispielsweise ein Objekt, die rotierte Variante eines anderen ist. Dabei sind insbesondere einfache Rotationen, also beispielsweise Figuren im zweidimensionalen Raum gemeint, aber auch einfache 3D Objekte. Der in dem vorgestellten Experiment verwendete LPS testet diese Fähigkeit mit dem Subtest 7.

**Spatial Orientation (Abbildung 3.2):** Hiermit ist die Fähigkeit gemeint, sich das Erscheinungsbild einer oder mehrerer Objekte von einer vordefinierten Betrachterposition vorzustellen. Der LPS deckt diese Fähigkeit nicht explizit ab – der Subtest 9 könnte teilweise auf diese Fähigkeit zurückgreifen, allerdings schreibt der Autor diesen Subtest der nächsten Fähigkeit zu, Visualization.

**Visualization (Abbildung 3.1 rechts):** Dies ist die komplexeste Fähigkeit. Hierbei soll das Erscheinungsbild von komplexen Figuren oder Objekten nach einer vorgegebenen Transformation mental vorgestellt werden. Der LPS misst diese Fähigkeit in den zwei Subtests 8 & 9, wobei wie bereits genannt, Subtest 9 eventuell auch mit Spatial Orientation lösbar ist.

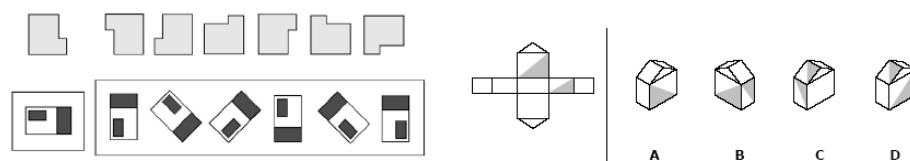


Abbildung 3.1: Eine Speeded-Rotation Aufgabe (links) und eine Visualization Aufgabe (rechts). Links ist lediglich das Rotieren der Objekte notwendig wohingegen rechts eine komplexe Transformation + Rotation notwendig ist.

Es gibt allerdings auch davon abweichende Modelle, etwa von [Linn & Petersen, 1985], ebenfalls basierend auf einer Metaanalyse. Diese verwendet die Bezeichnungen *Spatial Perception*, *Mental Rotation* und *Spatial Visualization*. Auch wenn die Definitionen leicht abweichen, so kann nach [Quaiser-Pohl, 1998] Spatial Perception mit Spatial Orientation gleichgesetzt werden und Mental Rotation mit Speeded Rotation.

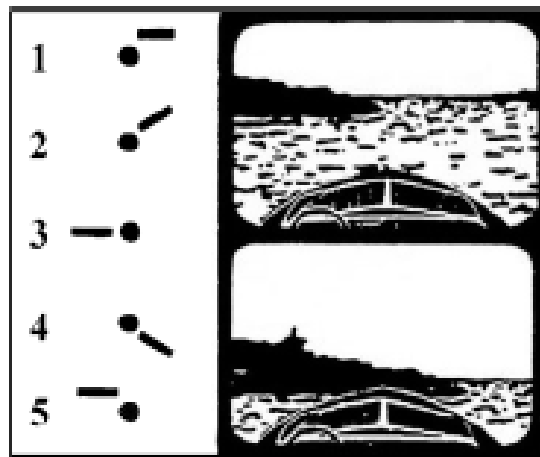


Abbildung 3.2: Der Guilford-Zimmerman Spatial Orientation Test – der Perspektiven-Wechsel zwischen den zwei Bildern muss am linken Rand richtig angekreuzt werden - in diesem Fall Option Nr. 5, da die neue Perspektive leicht nach vorne und nach links versetzt ist [Guilford & Zimmerman, 1948].

Konzeptionell lassen sich diese Faktoren zwar relativ leicht trennen, dies aber auch empirisch zu ermöglichen, also Tests zu erstellen, welche die einzelnen Faktoren wirklich unabhängig voneinander messen können, ist äußerst schwierig. Ein Problem ist hier beispielsweise, dass in vielen Fällen Tests, welche eigentlich lediglich Speeded Rotation oder Spatial Orientation messen sollen, auch zu der Fähigkeit Visualization beitragen, das heißt bei einer Faktoranalyse *laden* sie auch auf diesem Faktor. Dieses Problem tritt auf, da Speeded Rotation und Spatial Orientation in gewissem Sinne Teilprobleme eines komplexeren Visualization Problems darstellen. Ebenso können Spatial Orientation Probleme in manchen Fällen auch mit Hilfe von Speeded Rotation Strategien gelöst werden.

Neben diesen drei Hauptkomponenten lassen sich zudem noch eine ganze Reihe weiterer Faktoren aus dem Konstrukt der Spatial Ability ableiten, von welchen eine Auswahl hier noch kurz genannt werden soll:

**Flexibility of Closure:** Die Fähigkeit Objekte zu entdecken, welche im Rauschen, also beispielsweise innerhalb einer Figur enthalten sind, wie bei so genannten *Embedded Figures Tests* (LPS Subtest 10).

**Speed of Closure:** Die Fähigkeit bekannte Objekte wahrzunehmen, wenn lediglich Teile davon sichtbar sind.

**Visual-Spatial Memory:** Die Fähigkeit, die Anordnungen, den Ort und die Orientierung von Objekten im Gedächtnis abzuspeichern und sich zu erinnern.

**Spatial Scanning:** Die Fähigkeit, eine komplexe und/oder große Umgebung wie bei-



spielsweise ein Labyrinth schnell visuell und räumlich wahrzunehmen.

Eine entscheidende Frage ist hierbei natürlich, wie diese einzelnen Fähigkeiten genau miteinander zusammenhängen, da von einer parallelen, diskreten Funktionsweise wie schon angedeutet kaum ausgegangen werden kann. Mittels unterschiedlicher Untersuchungstechniken, wie beispielsweise Faktoranalysen [Eysenck, 1967] & [Guilford, 1967], mehrdimensionalen Skalierungsanalysen [Snow et al., 1984], sowie Experimenten [Lohman, 1988], wurde versucht, dem Problem Herr zu werden. Die gefundenen Belege deuten dabei auf eine hierarchische Organisation hin, basierend auf der Komplexität. Auf der untersten Ebene der Hierarchie stehen dabei Fähigkeiten, die lediglich Wahrnehmung, Aufmerksamkeit oder temporär das Gedächtnis benötigen, wozu nach [Allen, 1999] beispielsweise Speed of Closure, Flexibility of Closure, Spatial Scanning und Visual Memory gehören. In der Zwischenstufe finden sich dann Fähigkeiten, bei denen ein Abgleich oder eine Translation des räumlichen Verhältnisses zwischen Betrachter und Objekt oder zwischen zwei Objekten erfolgen muss, wie beispielsweise bei Speeded Rotation und Spatial Orientation der Fall. Auf der höchsten Ebene findet sich dann erwartungsgemäß die Komponenten Visualization wieder, bei welchem auch Oberflächen oder andere Komponenten und Merkmale der Objekte berücksichtigt werden müssen.

Diese Theorie von einer hierarchischen Gliederung der Fähigkeiten konnte mittels kognitionspsychologischer Experimente weitgehend bestätigt werden. Beispielsweise verlangt Visualization als eine in der Hierarchie oben angesiedelte Fähigkeit, zunächst das Kodieren eines Stimulus, welcher anschließend mehrfach transformiert werden muss (beispielsweise gedreht und gefaltet), sowie das Vergleichen dieser mentalen Repräsentation mit dem eigentlichen Stimulus. Je komplexer der Stimulus hinsichtlich seiner Einzelheiten wie Anzahl der Oberflächen oder Merkmale ist, desto größer ist die notwendige Gedächtnisleistung und desto länger benötigt man dafür. Visual Memory als Element auf einer unteren Ebene hingegen verlangt lediglich das Kodieren und Vergleichen von Stimuli, ohne Transformation, und kann dementsprechend mit weniger kognitivem Aufwand und in kürzerer Zeit bewältigt werden.

Nach [Allen, 1999] wurde die psychometrische Tradition jahrzehntelang durch technische Restriktionen und die damit verbundene Einschränkung auf Papier & Bleistift Tests zurückgehalten. Erst in den letzten Jahren konnte beispielsweise mit Hilfe von computerunterstützten Tests ein völlig neuer Typ von Spatial Abilities identifiziert werden, die Dynamic Spatial Abilities, womit Fähigkeiten gemeint sind, sich bewegende Ziele bezüglich ihrer Geschwindigkeit und Richtung zu bewerten, also beispielsweise einen „Abfangkurs“ zu einem Tennisball einzuschlagen, um diesen mit dem Schläger auch treffen zu können. Diese dynamischen Fähigkeiten scheinen zudem distinkt von den bereits vorgestellten zu sein [Hunt et al., 1988] & [Schiff & Oldak, 1990].

Das Konstrukt der Spatial Ability kann also positiv ausgedrückt als ein sehr vielfältiges betrachtet werden. Neben den unterschiedlichen Modellen bezüglich der einzelnen Komponenten existieren auch noch unzählige unterschiedliche Testbatterien. Das Hauptpro-

blem bei diesen Tests besteht dabei in der Abstraktion der zu bewältigenden Aufgaben, welche nur sehr schwer in Bezug zu realen Aufgaben gesetzt werden können. Was sind aber überhaupt reale räumliche Aufgaben? Jeder Mensch bewältigt in seinem täglichen Leben dutzende räumliche Herausforderungen, denn die ganze Umgebung des Menschen ist schließlich räumlich aufgebaut. Ein entscheidender Aspekt ist hierbei sicherlich das Finden von Wegen von A nach B und die Fähigkeit, sich an diese immer wieder zu erinnern. Die Fähigkeit eine Route zu finden, ohne dabei die Orientierung zu verlieren wird im Allgemeinen als *Wayfinding* bezeichnet und bezüglich des Aufbaus einer mentalen Repräsentation der Umwelt kennen nicht nur Psychologen den Begriff der *kognitiven Karte*. Diese beiden Aspekte räumlichen Verhaltens sollen im Folgenden Kapitel behandelt werden.

## 3.2 Wayfinding & Kognitive Karten

Spatial Ability Tests sollen die räumliche Vorstellungsfähigkeit der Menschen messen. Betrachtet man die Aufgaben, die hierzu verwendet werden, ist ein konkreter Bezug zu realen Aufgaben oft nicht ohne weiteres herzustellen. Spatial Orientation Aufgaben erfordern beispielsweise, wie aufgezeigt, das mentale Wechseln der Perspektive um ein Objekt oder eine Szene aus einer anderen Blickposition betrachten zu können. Wann und Wo wird so eine Fähigkeit in dem menschlichen Alltag benötigt? Dies eröffnet aber auch bereits die nächste Frage – was sind überhaupt Aufgaben, welche räumliche Vorstellungsfähigkeiten benötigen? Die Antwort liegt dabei recht nah, denn die gesamte Umgebung des Menschen ist räumlich. Somit kann angenommen werden, dass räumliche Vorstellungsfähigkeiten eine essentielle Rolle einnehmen, um überhaupt in dieser Umwelt leben zu können. Interessant aus der Perspektive dieser Arbeit sind dabei insbesondere die Aspekte Navigation und Orientierung. Wie findet ein Mensch von A nach B? Wie kann er sich merken, wo ein Objekt platziert wurde oder wo ein bestimmtes Gebäude zu finden ist? Wie verliert er im Städtedschungel nicht die Orientierung? Um auf das Beispiel mit der Spatial Orientation Aufgabe zurückzukommen: Wie kann ein Platz bei erneutem Betreten wieder erkannt werden, wenn er nun aus einer anderen Richtung kommend wahrgenommen wird, somit aus einer anderen Perspektive? Es erscheint wahrscheinlich, dass hierfür Fähigkeiten wie Spatial Orientation notwendig sind, welche es ermöglichen, die abgespeicherte Perspektive mental in die neue, nun im Moment wahrgenommene zu transformieren und anschließend mit dieser zu vergleichen.

Wer sich mit der Thematik Orientierung und Navigation beschäftigt wird hierbei mit dem Begriff des *Wayfindings* konfrontiert werden, welcher sich generell mit der Thematik beschäftigt, wie Menschen und auch Tiere „ihren Weg finden“. Wayfinding bezieht sich nach [Wiener, 2004] auf den kognitiven Prozess, der notwendig ist, um ein Ziel zu erreichen. Das Planen einer Route, die Wahl zwischen unterschiedlichen Routen, die Entscheidung, welche Ziele in welcher Abfolge erreicht werden sollen und die Orientierung bezüglich momentan nicht sichtbarer Objekte werden demnach alle als Wayfinding-

Aufgaben bezeichnet. [Gluck, 1991] definiert Wayfinding als „the process used to orient and navigate. The overall goal of Wayfinding is to accurately relocate from one place to another in a large-scale space“. Eine ähnliche Definition, welche Navigation und Wayfinding zusammenführt und zudem von dem Prozess der Orientierung abgrenzt stammt von [Platzer, 2005]. Unter Navigation versteht man demnach, das Lösen eines räumlichen Problems, was im Allgemeinen bedeutet von A nach B oder mehreren weiteren Zielen zu gelangen. Dabei ist das hierfür notwendige „Bewegen“ ebenfalls beinhaltet, welches in der Literatur teilweise unter „locomotion“ separat aufgeführt wird. Auch die Planung einer Route sowie das Einhalten dieser wird nach Platzer unter Navigation subsumiert. Unter Orientierung hingegen versteht man den kognitiven Prozess, die eigene Position zu der Position der Umgebung beziehungsweise markanter Stellen in dieser, zum Beispiel dem eigentlichen Ziel, in Bezug setzen zu können. Der Prozess ist vornehmlich kognitiv, da in den meisten Fällen das Objekt, zu welchem man die eigene Position in Bezug setzen möchte, nicht in Reichweite der Sensoren ist, also beispielsweise nicht im Blickfeld oder in Hörweite. Orientierung kann hierbei als ein Teilprozess von Navigation betrachtet werden, wobei eine Orientierung auch losgelöst möglich ist – eine Navigation zu dem Zielobjekt, zu welchem die eigene Position in Bezug gesetzt wurde, ist nicht Voraussetzung. Zur Navigation ist eine Orientierung im Raum aber zwangsläufig notwendig und damit ein integraler Bestandteil.

Ein Grund für die durchaus vorhandenen Unterschiede in der Definition der Begrifflichkeiten ist darin zu sehen, dass das Gebiet „Wayfinding“ oder noch allgemeiner „spatial behaviour“ ein hochgradig interdisziplinäres Feld ist, an welchem beispielsweise Psychologen, Geographen, Neurowissenschaftler und auch Informatiker Interesse haben. Ziel dieser Arbeit ist es nicht, sämtliche dieser Blickrichtungen angemessen wiederzugeben, sondern aus den unterschiedlichen Betrachtungsweisen letztlich eine für die Mensch-Computer Interaktion und insbesondere die Gestaltung von zoombaren Benutzerschnittstellen sinnvolle Konsolidierung zu finden.

Ausgehend von diesen Begriffsdefinitionen stellt sich zunächst die Frage, wie eine neue Umgebung wahrgenommen wird und in eine mentale Repräsentation integriert wird. Dabei sind unterschiedliche Strategien möglich, wie eine Umgebung exploriert und navigiert werden kann.

Eine Form der Navigation, welche im Tierreich weit verbreitet ist, aber grundsätzlich auch von Menschen angewendet werden kann, nennt sich Path Integration oder Dead Reckoning. Ein beliebtes Beispiel hierfür ist die Wüstenameise *Cataglyphis fortis*<sup>1</sup>, die nach einer Exkursion nahezu perfekt auf direktem Weg zurück in ihr Nest findet, obwohl in der Umgebung nahezu keine Objekte existieren, an welchen eine Orientierung möglich wäre [Wehner & Menzel, 1990]. Auch bei verschiedenen Typen von Spinnen ist eine derart präzise „Homing“ Fähigkeit beobachtbar. Path Integration bedeutet dabei, dass unabhängig von der gewählten Route zu jedem beliebigen Zeitpunkt der direkte Heimweg angetreten werden kann – sprich es wird nicht der ursprüngliche Hinweg zurückver-

<sup>1</sup>[http://www.ameisenwiki.de/index.php/Cataglyphis\\_fortis](http://www.ameisenwiki.de/index.php/Cataglyphis_fortis)

folgt, sondern versucht, der Luftlinie zum Ziel zu folgen. Es wird hierbei angenommen, dass vornehmlich vestibuläre, also Gleichgewichtsinformationen und propriozeptive Informationen, also körperinterne Wahrnehmungen aus Muskeln, Sehnen oder Gelenken, verwendet werden, um einen Heimvektor über die gesamte Dauer der Exkursion hinweg aufrecht zu erhalten [Allen, 1999]. Aber auch Techniken wie das Zählen der Schritte sowie das Speichern von Drehwinkeln werden angewendet. Zudem können auch visuelle Eindrücke, der so genannte *optische Fluss*, also der „Film“, der bei einer Bewegung vor dem eigenen Auge abläuft, ohne dass konkret Merkmale wie Gebäude oder ähnliches in diesem wahrgenommen werden, hierzu beitragen, wie in [Riecke, 2003] gezeigt wurde. Dies trifft auch auf den Menschen zu, welcher zwar bei weitem nicht die Perfektion einer Wüstennameise erreicht, jedoch zu einem bestimmten Maß ebenfalls über Path Integration Fähigkeiten verfügt, wie beispielsweise bei Tests wie dem „Triangle-Completion-Test“ zu erkennen ist [Loomis et al., 1999]. Hierbei wird eine Person entlang zweier Kanten eines Dreieckes geführt und muss anschließend die dritte Kante, zumeist blind, vervollständigen, also wieder zum Startpunkt zurückkehren. Ein großes Problem hierbei ist, dass sich Fehler leicht akkumulieren und über längere Distanzen zu großen Abweichungen führen [Hartley et al., 2004]. Weitere Navigationsstrategien sind somit für den Menschen unabdingbar. Eine entscheidende Rolle nehmen dabei so genannte *Landmarken* ein.

Der Terminus Landmarken ist nicht nur in wissenschaftlichen Kreisen weit verbreitet sondern hat auch in die gängige Umgangssprache bereits Einzug gehalten. Dies führt wiederum dazu, dass der Begriff sehr unterschiedlich definiert wird, worauf in Kapitel 3.2.1 basierend auf [Platzer, 2005] näher eingegangen werden soll. Für den Augenblick soll die folgende Beschreibung genügen: Landmarken sind für den Betrachter auffällige Objekte oder Merkmale der Umgebung, die als Orientierungspunkte dienen können. Dabei können Landmarken mit Bewegungs- und Richtungsentscheidungen verknüpft werden. Diese Konditionierung ist beim Menschen allerdings sehr flexibel und ermöglicht es ihm beispielsweise auch, Landmarken aus einer neuen Perspektive wieder zu erkennen und die korrekte Richtungsentscheidung zu treffen. Bei Bienen konnte aber beispielsweise festgestellt werden, dass diese ein ihnen bekanntes Futtergebiet nur aus einer ganz bestimmten Perspektive wieder erkennen konnten. Man geht hierbei davon aus, dass Bienen in ihrem Gedächtnis einzelne Sichten, genannt „Views“ abspeichern und bei erneuter Konfrontation mit einer Umgebung die aktuelle Sicht mit den gespeicherten vergleichen. Wenn hierbei keine Übereinstimmung gefunden wird, so fliegt die Biene umher, bis sie letztlich eine Position findet, von welcher aus ihr gespeicherter Schnappschuss mit der wahrgenommenen Sicht übereinstimmt [Cartwright & Collett, 1983].

Eine weitere Navigationsstrategie basiert auf der Verknüpfung von mehreren Landmarken zu einer Route. Routen sind definiert als eine Verbindung zwischen zwei Punkten, wobei es sich nicht zwangsläufig um die kürzest mögliche Verbindung handeln muss. Eine Route wird oftmals durch „piloting“, also durch ein Führen erlernt, beispielsweise indem einer befreundeten Person, welche die Route kennt, bei der ersten Begehung

gefolgt wird. Nach [Allen et al., 1978] können auch während einer Route weitere Bewegungsentscheidungen anhand von Landmarken festgemacht werden.

Wenn sich mehrere Routen überschneiden und dadurch auch relative Zusammenhänge zwischen Objekten abgespeichert werden, die auf unterschiedlichen Routen liegen, so bildet sich eine mentale Repräsentation, die gemeinhin als kognitive Karte bezeichnet wird. In dieser werden die Positionen von Landmarken nicht mehr abhängig von der Position des Betrachters gespeichert (also egozentrisch), wie bei Landmarken und Routennavigation, sondern vielmehr werden diese nun relativ zueinander im Gehirn repräsentiert, was einer allozentrischen Perspektive entspricht. Diese vermittelt dem Betrachter ein Überblickswissen über eine Umgebung. Eine solche kognitive Karte ermöglicht es nun beispielsweise auf Basis des Wissens der relativen Position eines Ziels, dieses auf einem bislang unbekanntem Weg zu erreichen, zum Beispiel über eine Abkürzung. Bezüglich der genauen Begriffsdefinition leidet auch dieser Begriff unter einer Vielzahl von einander ergänzenden oder auch widersprechenden Definitionen, welche allerdings zumindest eines gemeinsam haben: Der Terminus einer *Karte* wird weitestgehend als fehlerhaft und irreführend bezeichnet. Als [Tolman, 1948] diesen Begriff prägte, ging er tatsächlich von einer kartenähnlichen Repräsentation im Gehirn aus – mittlerweile erscheint diese Definition aber zu einschränkend und nicht dem wahren Charakter einer mentalen Repräsentation entsprechend. Insbesondere die Wissenschaften, welche sich mit den neuronalen Strukturen des Gehirns beschäftigen, konnten in den letzten Jahrzehnten Erkenntnisse darüber liefern, was genau eine kognitive Karte letztlich speichert und inwiefern diese beispielsweise überhaupt metrische Informationen beinhaltet. Eine genauere Betrachtung des Konzepts der kognitiven Karte wird in Kapitel 3.2.2 erfolgen.

[Siegel & White, 1975] stellten eine Theorie auf, nach welcher die unterschiedlichen Umgebungsrepräsentationen sequentiell erlernt werden. Demnach wird zunächst Landmarkenwissen aufgebaut, gefolgt von Routenwissen, welches schließlich in einer kognitiven Karte mündet. Dies ist mittlerweile jedoch umstritten beziehungsweise gilt in manchen Kreisen als überholt. In neueren Studien, konnte gezeigt werden, dass sowohl Routenwissen als auch Überblickswissen parallel entstehen können und letzteres nicht ein qualitativ besseres Modell von ersterem ist. Vielmehr werden im Laufe der Zeit beide Formen quantitativ korrekter [Ruddle et al., 1997]. Nach [Aginsky et al., 1996] kann auch eine persönliche Präferenz für die Wahl der Repräsentationsform entscheidend sein. Eine Person kann also, trotz langjähriger Erfahrung in einer Umgebung, weiterhin auf Routenwissen zurückgreifen, da diese damit bessere Ergebnisse erzielt oder es als weniger anstrengend empfindet.

Bislang wurde davon ausgegangen, dass eine neue Umgebung in explorativer Weise durch physische Navigation kennen gelernt wird. Es sind aber auch durchaus weitere Informationsquellen möglich. Die bekannteste und am meisten verbreitete ist sicherlich eine Karte der Umgebung in Papierform (z.B. ein Stadtplan), durch welche direkt Überblickswissen erlernt werden kann. Weiterhin können aber auch verbale Beschreibungen

dazu führen, dass bereits eine Vorstellung einer neuen Umgebung gebildet werden kann. [Tellevik, 1992] unterscheidet insgesamt drei unterschiedliche Strategien. Die ersten beiden sind die bereits genannten – explorative Suche und Erkunden der Umgebung sowie Kennenlernen einer Umgebung durch sekundäre Informationsquellen wie Karten und sprachliche Beschreibungen, aber auch Filme, Fotografien oder virtuelle Realitäten. Als dritte mögliche Strategie werden kontrollierte Navigationstechniken genannt, worunter beispielsweise das bereits genannte Path Integration fällt, oder das Erkunden einer Umgebung durch das entlang „hangeln“ an Grenzen – beispielsweise einem Fluss.

Nach [Golledge, 1999] lässt sich zudem eine Unterscheidung treffen zwischen Routen Lernen (route-learning) und Routen-basiertem Lernen einer Umgebung (route-based learning of an environment). Während ersteres sich wirklich auf das Erlernen einer Route von A nach B beschränkt und auch davon ausgeht, dass keine entfernten Landmarken zur Orientierung verwendet werden, so ist letzteres letztlich eine Möglichkeit, um zu einem Überblickswissen zu gelangen. Hierbei werden die gelernten Routen auch mit entfernten Landmarken in Bezug gesetzt, übereinander gelegt und auch semantisch strukturiert, indem sie in einzelne Distrikte unterteilt werden, durch die sie führen. Dabei ist diese Integration keinesfalls ein automatischer Prozess, weswegen durchaus auch Lücken oder Widersprüche entstehen können [Golledge et al., 1993].

### 3.2.1 Landmarken

Der Begriff einer Landmarke ist prinzipiell kein rein wissenschaftlicher Begriff, sondern auch in der Alltagssprache und in den verschiedensten Bereichen wie der Schifffahrt oder in der Städteplanung eine geläufige Bezeichnung. Dementsprechend gibt es auch lediglich einen eher vagen Konsens darüber, was eine Landmarke denn genau ausmacht. Nach [Platzer, 2005] kann man wohl als gemeinsame Basis für eine Definition folgende Eigenschaften herleiten: Eine Landmarke ist ein Objekt, welches leicht zu sehen ist, sich von der Umgebung abhebt und nützlich für die Navigation ist. Darüber hinaus existiert jedoch eine Vielzahl von Definitionen, die auf dieser Basis aufbauen.

#### Definitionen von Landmarken

[Presson & Montello, 1988] beschränken sich quasi auf diese Grunddefinition, welche doch einiges an Spielraum für eine Landmarke lässt und beim aktiven Design von diesen – sei es beispielsweise in der Gebäudeplanung, nur bedingt hilfreich ist. [Werner et al., 1997] schränken die Definition etwas weiter ein, indem sie von stationären Objekten sprechen: „[Landmarken sind] distinkte, stationäre und saliente Objekte oder Reize, die als Referenzpunkte dienen können“. Hier wird auch der Objektbegriff weiter gefasst und durch „Reize“ ergänzt, was prinzipiell nicht auf visuelle Reize beschränkt sein muss, sondern somit auch auditive Reize oder Geruch umfassen kann. Zudem wird die Naviga-

tionshilfefunktion deutlicher gefasst, indem auf die mögliche Funktion als Referenzpunkt hingewiesen wird. [Lynch, 1960] gilt als einer der Begründer der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit Elementen, die eine Umgebung für Menschen als solche definieren, wozu somit auch Landmarken gehören. Er hat in seinem Buch „the image of the city“ bereits eine sehr genaue Definition von Landmarken aufgestellt. Seiner Hauptaussage folgend, sind Landmarken optische Referenzpunkte, deren Hauptcharakter ihr Alleinstellungsmerkmal innerhalb ihrer Umgebung ist. Davon ausgehend nennt er allerdings noch weitere Aspekte, die einer Landmarke zu ihrem Status verhelfen können. So kann dieses Alleinstellungsmerkmal sowohl subjektiv als auch objektiv gedeutet werden. Objektiv bedeutet es, dass sich das Objekt von seiner Umgebung und seinem Hintergrund signifikant kontrastiert, sei es visuell oder durch andere Reize. Als andere Reize nennt er Geräusche oder Gerüche. [Platzer, 2005] sieht hier einen entscheidenden Aspekt, da Objekte wie eine bestimmte Straße oder ein Restaurant sehr oft direkt mit Reizen wie Geruch und Geräuschen verbunden sind und teilweise diese Reize dem visuellen Reiz bei der Wahrnehmung auch vorangehen können. Subjektiv kann sich ein Objekt oder ein Merkmal aber auch anders von der Umgebung abheben. Beispielsweise in dem es mit einer Geschichte verknüpft ist, die sowohl persönlicher als auch historischer Natur sein kann. Menschen erinnern sich relativ leicht und gern an Anekdoten oder Episoden, beispielsweise aus dem eigenen Leben, wodurch ein Objekt eine besondere Bedeutung erhalten und fortan auch als Landmarke dienen kann. Auch die Funktion eines Gebäudes, kann dieses als Landmarke tauglich machen, selbst wenn es rein optisch hierzu nur bedingt geeignet ist. Als Beispiel sei hier die *Downing Street 10*, also das Haus des englischen Premierministers genannt, welches rein visuell vielleicht nicht besonders auffällig ist und somit ohne die verknüpfte Funktion nur bedingt als Landmarke Verwendung finden würde. Lynch merkt zudem an, dass die Platzierung eines Objektes darüber entscheiden kann, ob es als Landmarke ausgewählt wird oder nicht. Ist es beispielsweise mit Richtungsänderungen oder Wegentscheidungen an Kreuzungen verknüpft, so steigt die Wahrscheinlichkeit auch für weniger auffällige Objekte als Landmarke zu dienen, einfach weil sie an genau dieser Stelle benötigt werden. Im Gegensatz zu [Werner et al., 1997] schränkt Lynch sich auch nicht auf stationäre Objekte ein, sondern nennt die Sonne als ein sich langsam (relativ zum Betrachter) bewegendes Objekt, welches als Landmarke durchaus Verwendung findet – gleiches gilt für Sterne. Wichtig ist hierbei, dass der Betrachter über die Bewegung der Landmarke informiert ist und diese nachvollziehen beziehungsweise sogar antizipieren kann.

[Böhme, 2003] unterscheidet zwischen natürlichen Landmarken, worunter er Objekte oder Merkmale versteht, welche in ihrer Form und Funktion bereits in der Umwelt enthalten sind und künstlichen Landmarken. Dies können künstlich angebrachte Hinweisschilder sein, oder Gebäude, welche durch zusätzliche Maßnahmen wie eine spezielle Beleuchtung in ihrer Landmarkenfunktion unterstützt werden. Weiterhin merkt er an, dass nicht nur einzelne Objekte, sondern auch die spezielle Konstellation von mehreren Objekten als eine einzelne Landmarke dienen kann.

### **Globale vs. Lokale Landmarken**

Eine der wichtigsten Unterscheidungen bezüglich unterschiedlicher Typen von Landmarken ist die Differenzierung zwischen globalen und lokalen Landmarken [Lynch, 1960] & [Steck & Mallot, 1998]. Lokale Landmarken sind im Allgemeinen nur aus kurzer Distanz erkennbar und zumeist mit Routenentscheidungen verknüpft. [Schweizer et al., 1998] nennen zudem noch Objekte, die entlang einer Route platziert sind und dazu dienen, der sich bewegend Person die Sicherheit zu geben, sich noch auf der richtigen Route zu befinden, welche auch in diese Kategorie fallen. Globale Landmarken sind hingegen auch von weitem sichtbar und ermöglichen so eine Orientierungshilfe, indem sie als globaler Referenzpunkt dienen, zu dem sich der Betrachter in Bezug setzen kann um die eigene Position zu bestimmen. Viele globale Landmarken, wie beispielsweise hohe Gebäude (Kirchtürme, Hochhäuser, etc.) können zusätzlich auch die Funktion von lokalen Landmarken annehmen, sobald der Betrachter sich ihnen nähert. In ihrer globalen Funktion dienen sie nicht direkt für das Treffen von Richtungsentscheidungen, sondern helfen dabei, ein Zielgebiet anzusteuern, von welchem aus dann weiter mit lokalen Landmarken navigiert werden kann. Dass Landmarken beim Erlernen von Routen eine entscheidende Bedeutung zukommt, ist mittlerweile empirisch belegt. [Tlauka & Wilson, 1994] konnten beispielsweise feststellen, dass beim Erlernen einer Route mit Landmarken die Route besser gelernt wurde als ohne Landmarken. Ebenso konnte [Jansen-Osmann, 1998] feststellen, dass Routen mit Landmarken signifikant schneller erlernt wurden als solche ohne. In beiden Fällen wurden diese Untersuchungen in virtuellen Umgebungen durchgeführt, also per Computer simulierten dreidimensionalen Umgebungen, die der Realität angenähert sind. Durch diese werden Untersuchungen, die den Einfluss von einzelnen Details feststellen wollen, überhaupt erst möglich, da der Computer eine flexible Gestaltung der Umgebung gestattet. Inwieweit Übertragungen von Untersuchungen zwischen virtuellen Umgebungen und der Realität möglich sind, soll in Kapitel 3.7 noch näher erläutert werden.

[Steck & Mallot, 2000] konnten zudem herausfinden, dass Menschen, wenn sie vor die Wahl gestellt werden, lokale oder globale Landmarken zu verwenden, durchaus unterschiedliche Strategien anwenden und manche Personen fast ausschließlich auf globale Landmarken vertrauen während andere sich eher auf lokale verlassen. Interessant dabei ist allerdings, dass wenn eine Form plötzlich wegfällt, beispielsweise die globalen Landmarken entfernt werden (wie es in einer virtuellen 3D Umgebung möglich ist), die Personen, die zuvor lediglich mit Hilfe von globalen Landmarken navigiert und sich orientiert haben, nun ebenso die lokalen verwenden und mit diesen auch zu recht kommen. In der mentalen Repräsentation werden somit beide Typen abgespeichert, und können dann je nach Bedarf abgerufen werden.



## Landmarken als Referenzsysteme

Referenzsysteme sind elementar für die Orientierung im Raum, ermöglichen sie es doch, die eigene Position zu anderen Objekten in Bezug zu setzen. Man unterscheidet hierbei zwischen globalen, lokalen und relationalen Referenzsystemen. Ein globales und sowohl sehr akkurates als auch weltweit anerkanntes Referenzsystem bilden die Längen- und Breitengrade, in welche die Welt unterteilt ist. Allerdings hilft dieses den meisten Menschen im täglichen Leben nicht weiter, da die wenigsten die genauen Längen- oder Breitengrade von ihnen vertrauten Orten, wie ihrem Zuhause, kennen. Stattdessen verlassen sich die meisten Personen daher auf lokale Referenzsysteme wie beispielsweise das Straßennetz oder auch relationale Systeme, wie „in der Nähe des Rathauses“. Landmarken können sowohl als lokale als auch relationale Referenzsysteme dienen. Hierdurch ermöglichen sie die Strukturierung einer Umgebung, beispielsweise indem sie Gegenden kennzeichnen oder als Orientierungshilfe dienen für weniger markante Objekte in ihrer Umgebung. Wie im vorherigen Abschnitt schon erwähnt, existieren auch globale Landmarken die dementsprechend auch als globales Referenzsystem fungieren. Durch diese Organisations- und Orientierungsfunktion helfen Landmarken dem Menschen außerordentlich, ein Überblickswissen zu bilden und gelten gemeinhin als die dominanten Merkmale, welche eine Struktur in einer kognitiven Karte ermöglichen, indem sie eine Klassifizierung und Gruppierung unterstützen [Couclelis et al., 1987].

[Platzer, 2005] fasst die verschiedenen die Kriterien für Landmarken unter objektiven und subjektiven Merkmalen zusammen. Objektive Merkmale haben hierbei den Vorteil, dass klar definiert werden kann, was ein Objekt zu einer Landmarke macht. Allerdings wurde beispielsweise in einer Befragung von [Golledge & Spector, 1978] von 400 Personen bezüglich der verwendeten Landmarken in Columbus, Ohio, USA herausgefunden, dass ungefähr die Hälfte der genannten Landmarken mit persönlichen, individuellen Aktivitäten zusammenhingen und somit nur von der jeweiligen Person verwendet wurden. Die andere Hälfte hingegen waren Objekte, welche gemeinhin von vielen Teilnehmern als Landmarken identifiziert und verwendet wurden. Somit scheinen subjektive Merkmale einen ähnlich großen Einfluss auf die Auswahl von Landmarken zu haben wie objektive Merkmale. Für einen kurzen Überblick sollen die bereits genannten Merkmale entsprechend dieser Gliederung von Platzer nochmals kurz zusammengefasst werden.

### Objektive Merkmale

- Contrast:** Das Objekt muss sich von seiner Umgebung abheben, muss sich objektiv kontrastieren (visuell oder durch andere Reize). Visuell kann dies beispielsweise eine andere Größe, Farbe oder Form sein.
- Visibility:** Die Sichtbarkeit wird von Platzer als eigenständiges Merkmal aufgeführt, welches aber stark mit „contrast“ zusammenhängt. Ein Objekt muss danach gut sichtbar sein, um als Landmarke dienen zu können, da es sich ansonsten auch nur schwer von seiner Umgebung abheben kann.
- Stationary:** Dieses Merkmal ist nach Platzer das am meisten umstrittenste, wobei

der Konsens insofern recht klar ist, dass ein Objekt, welches sich ständig und vor allem nicht vorhersehbar bewegt, nur schwer als Landmarke dienen kann. Objekte wie Sonne oder Sterne werden hingegen in der Praxis oft als Referenzsysteme eingesetzt und übernehmen somit die Rolle von globalen Landmarken.

**Location:** Der Ort, an welchem die Landmarke steht, bezieht sich auf die Unterscheidung zwischen globalen und lokalen Landmarken. Weiterhin kann noch zwischen Landmarken an Entscheidungspunkten und solchen, welche eine Route an sich kennzeichnen unterschieden werden. Eine bessere Sichtbarkeit kann hier generell als vorteilhaft, auch bei lokalen Landmarken, postuliert werden, können diese dadurch doch auch teilweise als globale Landmarken dienen.

**Creation:** Als letztes kann zwischen natürlichen und künstlichen Landmarken unterschieden werden, wie es [Böhme, 2003] vorgeschlagen hat.

### Subjektive Merkmale

**Remembrance:** Dieses Merkmal ist prinzipiell die Grundvoraussetzung für eine Landmarke, weswegen es zumeist auch nicht explizit in Definitionen genannt wird. Es ist eine inhärente Eigenschaft, dass der Betrachter sich an eine Landmarke auch erinnern kann, denn ansonsten nützt sie nicht viel. Die anderen Eigenschaften verfolgen letztlich alle den Zweck, diese Erinnerungsfähigkeit zu unterstützen.

**Distinguishable:** Hierunter versteht man den subjektiven Gegenpart zu dem objektiven Kriterium „contrast“. Das Objekt muss sich also unterscheiden lassen, sich also abheben, wobei hierbei keine objektiven Kriterien wie Größe oder Farbe herangezogen werden, sondern subjektive wie beispielsweise „Haus eines Freundes“.

**Legend:** Eine Anekdote, Legende oder einfache Geschichte zu einem Objekt kann eine persönliche Bedeutung hervorrufen. Dabei kann es sich sowohl um z.B. historische Informationen handeln, die für eine Person besonders interessant sind und daher das Objekt hervorheben, als auch beispielsweise persönlich Erlebtes, was mit diesem Objekt oder Ort verknüpft ist (z.B. unter diesem Baum das erste Mal geküsst etc.). Auch die Funktion eines Gebäudes kann hierunter gefasst werden, wobei hier teilweise die Grenze zum objektiven Merkmal überschritten wird: Ein Rathaus einer Stadt kann wohl gemeinhin aufgrund seiner Funktion objektiv als Landmarke dienen, zumindest für die Bewohner dieser Stadt.

**Point of Reference:** Dient eine Landmarke als Objekt zur Strukturierung der nahen Umgebung, beispielsweise um die Position von weniger auffälligen Objekten anhand der Landmarke zu beschreiben, so hat es die Funktion eines Referenzpunktes, zu welchem Bezug genommen werden kann. Globale Landmarken haben insbesondere diese Funktion.

**Use:** Auch hier ist ein starker Zusammenhang zu den bereits genannten subjektiven Merkmalen erkennbar. Landmarken können zum einen als Navigationshilfe benutzt werden, um Routen zu lernen oder zur globalen Orientierung. Weiterhin sind sie essentielle Hilfen um eine kognitive Karte aufbauen zu können und können gemäß ihrer Funktion als Point of Reference eine Struktur in eine Umgebung bringen und als Anker für andere Objekte dienen.

Die vorgestellte Klassifizierung von Platzern erscheint insbesondere bei den subjektiven Merkmalen etwas überspezifiziert, da doch einige Merkmale stark miteinander verknüpft sind. Bei der Überprüfung, ob ein Objekt als Landmarke dient oder bei dem Design von Landmarken, beispielsweise in der Gebäude- und Städteplanung oder eben auch für virtuelle Umgebungen wie zoombaren Benutzerschnittstellen, kann eine derart detaillierte Aufstellung trotzdem hilfreich sein.

### 3.2.2 Kognitive Karten

„Cognitive mapping is a process composed of a series of psychological transformations by which an individual acquires, stores, recalls, and decodes information about the relative locations and attributes of the phenomena in his everyday spatial environment.“ [Downs & Stea, 1973]

Das Konstrukt einer *kognitiven Karte*, im englischen *Cognitive Map* kann als das Resultat des oben definierten Prozesses des *Cognitive Mappings* bezeichnet werden. Während sich Wayfinding vornehmlich mit den Prozessen und Phänomenen beschäftigt, die auftreten, wenn man versucht, von A nach B zu kommen, kann Cognitive Mapping hiervon insofern abgrenzt werden, dass es einen generelleren Ansatz vertritt. Es untersucht allgemeiner die Fragestellung, wie räumliche Eindrücke und Informationen in der Umgebung wahrgenommen, im Gehirn kodiert und wieder zugreifbar gemacht werden. In der Praxis sind die beiden Forschungsfelder aber wohl nur schwer voneinander trennbar. Im Folgenden wird unter Cognitive Mapping der Prozess verstanden, welcher notwendig ist, um eine kognitive Karte zu bilden – Wayfinding beziehungsweise Navigation soll hierbei als eine mögliche Form, eine solche Karte zu bilden, verstanden werden. Andersherum kann eine kognitive Karte auch als ein eventuell notwendiges Hilfsmittel verstanden werden, welches Wayfinding überhaupt ermöglicht.

Ähnlich zu den bisherigen Begrifflichkeiten leidet auch die kognitive Karte unter einer Definitionsvielfalt, die eine Diskussion über das eigentliche Konstrukt erschwert. Generell beschreibt der Begriff mentale Repräsentationen von räumlichen Sinneseindrücken und Beziehungen [Kitchin & Freundschuh, 2000].

Historisch gesehen geht der Begriff auf [Tolman, 1948] zurück. Zum damaligen Zeitpunkt waren in der Psychologie behavioristische Modelle und Vorstellungen weit verbreitet und akzeptiert, welche zumeist versucht haben, menschliches (und tierisches) Verhalten

auf *Stimulus-Response*, also Reiz und Reaktion Muster zurückzuführen. Auch Navigationsleistung wurde als Folge einer Konditionierung angesehen. Tolman konnte mit Ratten jedoch zeigen, dass diese unter bestimmten Voraussetzungen ein Navigationsverhalten an den Tag legen können, welches sich auf diese Weise nicht erklären lässt. Er konnte zeigen, dass Ratten fähig waren, in einem Labyrinth Abkürzungen zu einer durch mehrmalige Versuche bekannten Futterstelle zu finden, welche zunächst versperrt waren. Sie hatten also eine Repräsentation für die Richtung, in welcher die Futterstelle zu finden war, relativ zu ihrer Position, in ihrem Gehirn abgespeichert. Daraus folgerte Tolman, dass Ratten eine Art Karte der Umgebung in ihrem Gehirn bilden, in welcher sowohl Positionen als auch relative Richtungen und Distanzen abgespeichert sind. Aus seiner Sicht war der Begriff einer „Karte“ somit auch adäquat. Die weitere Forschung zeigte jedoch, dass keineswegs davon ausgegangen werden kann, dass eine kognitive Karte wirklich sowohl funktional als auch in ihrer Repräsentation einer Papierkarte ähnelt. Beispielsweise werden euklidische Eigenschaften nicht grundsätzlich 1:1 übernommen und eine Entfernung von A nach B muss mental nicht das gleiche Ausmaß besitzen wie von B nach A. Um aber zunächst einen Überblick über die Breite an Definitionen zu erhalten, soll hier eine Auswahl wiedergegeben werden, welche von [Wiener, 2004] in seiner Arbeit verwendet wurden:

- [O’Keefe & Nadel, 1978]: „[a cognitive map is] a representation of a set of connected places which are systematically related to each other by a group of spatial transformation rules“.
- [Thinus-Blanc, 1988]: „[a cognitive map is an] allocentric organized representation of environmental features“.
- [Gallistel, 1978]: „[a cognitive map is] a record in the central nervous system [...] used to plan movements through the environment“.
- [Montello, 2001]: „[a cognitive map includes] knowledge of landmarks, route connections, and distance and direction relations; non spatial attributes and emotional associations are stored as well“.
- [Gärling et al., 1991]: „[cognitive maps are] long-term stored information about the relative locations of objects and phenomena in the everyday physical environment“.

Im Allgemeinen wird der Begriff der kognitiven Karte zumindest als verwirrend und irreführend bezeichnet, da er beim Leser sofort das Bild einer Karte im Kopf hervorruft, welche auch dementsprechende Eigenschaften besitzt.

### **Modelle für eine kognitive Karte**

Ein alternatives Modell sind daher topologische Karten, welche die wahrgenommene Umgebung in graphenähnlichen Netzen abspeichern [Byrne, 1979]. Nach [Sellen, 1998]

können mit einem derartigen Modell die meisten beobachtbaren Navigationsverhaltensweisen erklärt werden. In einem derartigen Modell sind in den Knoten beispielsweise Orte oder Plätze repräsentiert, wohingegen die Kanten die Pfade zwischen diesen Orten widerspiegeln. Nach [Wiener, 2004] können in den Knoten aber auch Ansichten, Ortskarten und weitere Repräsentationen abgelegt werden – für Teilbereiche sind dann durchaus auch metrische Beziehungen möglich aber nicht notwendig. In den Kanten können neben der Verbindung an sich auch Bewegungsvektoren oder Richtungsentscheidungen gespeichert werden. Um zu einer derartigen topologischen Karte zu gelangen, schlagen [Schölkopf & Mallot, 1995] ein zweistufiges Graphenmodell vor. In einer ersten Stufe werden Ansichten sowie die Bewegungen, die diese miteinander verknüpfen in einem Ansichtengraph gespeichert. Dieser kann bei genügend vorhandenen Ansichten von einem Platz in einen Platzgraphen übergehen. Dabei werden die entsprechenden Ansichten in einer Platzrepräsentation zusammengefasst. Das Modell, welches [Poucet, 1993] vorgeschlagen hat, geht noch einen Schritt weiter, indem es auch neuronale Komponenten berücksichtigt. [O’Keefe & Nadel, 1978] hatten erstmals herausgefunden, dass im Gehirn von Ratten, genauer gesagt im Hippocampus eine neuronale Repräsentation der Umgebung existiert, die von ihnen daraufhin genannten Place Cells, welche genau dann feuern, wenn die Ratte in bestimmten Bereichen sich aufhält, unabhängig von ihrer Blickrichtung (genauer zu den neuronalen Grundlagen, siehe Kapitel 3.3). Poucet geht nun davon aus, dass im Hippocampus eine topologische Repräsentation der Umgebung gespeichert ist, während im posterioren Parietalcortex metrische Informationen hinterlegt sind. Grundlage in beiden Fällen sind dabei Platzrepräsentationen, ähnlich wie sie von [Schölkopf & Mallot, 1995] definiert wurden. In diesen sind bereits mehrere Ansichten zusammengefasst. Wenn sich nun mehrere Platzrepräsentationen überschneiden, sei es beispielsweise weil in beiden Fällen übereinstimmende globale oder lokale Landmarken auftreten, so werden diese Platzrepräsentationen in lokalen Karten (local charts) gespeichert und mittels Vektoren miteinander verknüpft. Die so abgespeicherte Information ist zunächst rein topologisch und enthält keine metrischen Informationen wie die euklidischen Distanzen zwischen diesen einzelnen Karten. Nach und nach werden aber alle lokalen Karten in eine gemeinsame Repräsentation integriert, in welcher nun auch metrische Informationen vorhanden sind – zudem wird auch eine gemeinsame Referenzrichtung gewählt, also beispielsweise alle Karten werden nach Norden ausgerichtet, wohingegen zuvor jede lokale Karte über eine individuelle Referenzrichtung verfügen konnte.

### **Wie bildet sich eine kognitive Karte?**

Bezüglich der Bildung einer kognitiven Karte lässt sich festhalten, dass die zunächst sehr weit verbreiteten Modelle, welche eine sequentielle, bezüglich der Qualität zunehmende Repräsentation der Umgebung im Gehirn vertraten (z.B. [Siegel & White, 1975] & [Thorndyke, 1981b]), mittlerweile als überholt gelten. Nach ihnen ist eine kognitive Karte eine qualitativ höherwertige Repräsentation, welche sich aus Routenwissen bil-

det, sobald dieses ausgereift genug ist. Mittlerweile geht man aber davon aus, dass sich beide Repräsentationen gleichzeitig bilden und beispielsweise auch eine kognitive Karte zunächst sehr fragmentiert ist und erst über einen längeren Zeitraum inkrementell aufgebaut wird [Gluck, 1991]. Sowohl bezüglich der qualitativen Verbesserung über die Zeit als auch was den gleichzeitigen Aufbau betrifft, konnten Experimente belegen, dass hier keine Unterschiede zwischen Routenwissen und Überblickswissen auftritt. Beide werden mit der Zeit in gleichem Maße besser [Holding & Holding, 1989] und können parallel erlernt werden [Hirtle & Heidorn, 1993]. Es ist sogar möglich, das Überblickswissen dem Lernen von Landmarken oder Routen vorausgeht beziehungsweise manche Personen gezielt versuchen von Beginn an Überblickswissen aufzubauen, während andere sich auf Routenwissen konzentrieren. Als einfachstes Beispiel sei hier der Erwerb von Überblickswissen mittels des Studiums einer Karte genannt, aber auch in normalen Navigationssituationen konnte dieses Phänomen festgestellt werden. [Aginsky et al., 1996] schließen daraus, dass individuelle Unterschiede in der Strategie viel mehr dazu beitragen, dass Personen unterschiedliche Ortsrepräsentationen aufbauen und dieses Phänomen weniger damit zu tun hat, wie „gut“ einzelne Personen die Umgebung gelernt haben. Interessant ist zudem, dass Wissen aus unterschiedlichen Quellen, beispielsweise wahrgenommen über verschiedene Sinnesorgane oder auch mittels unterschiedlicher Informationsquellen in einer Repräsentation integriert werden können [Gillner, 1997] & [Moar & Carleton, 1982].

### Was wird gespeichert?

Bei der Frage, was letztlich in einer kognitiven Karte gespeichert wird, ist zu allererst wiederum die Studie von [Lynch, 1960] zu nennen, in welcher seine Probanden aus unterschiedlichen Städten der USA darum gebeten wurden, Skizzen ihrer jeweiligen Städte anzufertigen und sich interviewen zu lassen. Daraus konnte Lynch letztlich mehrere Merkmale extrahieren, welche in einer kognitiven Karte in irgendeiner Form abgespeichert sein müssten, sofern diese von einer urbanen Umgebung aufgebaut wird:

**Paths (Pfade):** Hierunter sind Wege zu verstehen, also beispielsweise Straßen oder Bahnstrecken. Dabei können für unterschiedliche Personen auch andere Pfade entscheidend sein. So werden regelmäßige U-Bahn Fahrer verstärkt auch das U-Bahn Netz als die strukturierenden Pfade der Umgebung betrachten, wohingegen Auto-Fahrer sich auf das Straßennetz verlassen.

**Edges (Kanten):** Hierunter sind Abgrenzungen zwischen einzelnen Gebieten oder Grenzen des Gesamtgebiets zu verstehen. Beispielsweise Küsten oder Flüsse als natürliche Grenzen, aber auch subjektive Grenzen wie eine Straße, welche zwei Stadtviertel voneinander abgrenzt sind möglich.

**Landmarks (Landmarken):** Wie in Kapitel 3.2.1 bereits ausgeführt, visuell oder aufgrund ihrer Bedeutung auffällige, sich von der Umgebung abhebende Ob-

jekte oder Merkmale, die zudem als Referenzpunkte dienen können und ihre Umgebung strukturieren.

**Nodes (Knoten):** Strategische Punkte in einer Stadt, welche häufig durchquert werden und oftmals mit Navigationsentscheidungen verbunden sind, also beispielsweise Umsteigeplätze eines U-Bahn Netzes (strategische Knoten). Aber auch häufig verwendete Start- und Endpunkte, Kreuzungen, Straßenecken, welche eine persönliche Signifikanz aufweisen, beispielsweise weil sich dort häufig Freunde treffen, etc. (thematische Knoten)

**Districts (Regionen):** Teile einer Stadt, welche zu einzelnen Regionen zusammengefasst werden und sich darüber voneinander abgrenzen. Beispielsweise ein chinesisches Viertel oder ähnliches.

Die hier genannten verschiedenen Merkmale konnten in vielen Experimenten reproduziert werden und dürfen daher gemeinhin als gesichert gelten. Insbesondere die Merkmale Regionen und Landmarken legen den Schluss nahe, dass eine kognitive Karte im Gehirn in gewisser Weise hierarchisch strukturiert ist und verschiedene Abstraktionsebenen besitzt. Dieser Aspekt wird in Kapitel 3.5.4 ausführlich diskutiert werden. Bezüglich der Frage, ob metrische Informationen abgespeichert werden oder nicht, gilt mittlerweile als gesichert, dass keine komplett metrische Repräsentation vorhanden ist. Einige Experimente haben aber gezeigt haben, dass durchaus beispielsweise Winkel oder Distanzen in Zeigeeexperimenten korrekt wiedergegeben werden konnten [May, 1992] & [Sellen, 1998]. Ob diese metrische Information allerdings in einer kohärenten Karte vorliegt oder lediglich als Attribut, welches mit bestimmten Orten, Objekten oder Wegen assoziiert wird, ist weiterhin unklar – letzteres ist aber nach dem Stand der Forschung wahrscheinlicher. Ein Problem vieler früherer Untersuchungen, welche auf eine metrische Repräsentation schließen ließen, war der Umstand, dass diese meist in begrenzten, so genannten Kleinfeldumgebungen durchgeführt wurden [Gallistel, 1978]. Mehrere neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass in Großfeldumgebungen andere Ergebnisse auftreten können. Beispielsweise konnten [H. A. Colle, 1998] feststellen, dass Richtungen innerhalb eines Raums deutlich exakter gezeigt werden konnten als wenn auf Objekte in anderen Räumen gedeutet werden musste. [Gärling et al., 1991] konnten zeigen, dass Erhebungen ebenso in einer räumlichen Repräsentation abgespeichert werden, wie Neigungen oder Steigungen [Steck et al., 2003] & [Restat et al., 2004].

### Welche Fehler werden gemacht?

Die metrischen Informationen können allerdings keinesfalls als korrekt angesehen werden. Vielmehr unterliegen diese einigen Verzerrungen und Verfälschungen, über welche nun ein Überblick erfolgen soll. Ein einfaches Beispiel sind Winkel, welche in einer kognitiven Karte zumeist auf rechtwinklig getrimmt werden, solange sie weniger als ca.  $30^\circ$  von einem  $90^\circ$  Winkel abweichen. Genauso werden Winkel unter  $30^\circ$  oftmals als Geraden gespeichert [Byrne, 1979]. Der Großteil der Forschung in diesem Bereich kon-

zentriert sich jedoch auf die Repräsentation von Distanzen. [Sadalla et al., 1980] konnten bereits feststellen, dass häufig metrische Axiome verletzt werden. So wird beispielsweise die Distanz von einem Punkt A nach B kürzer eingeschätzt als von B nach A, wenn es sich bei A um einen Referenzpunkt handelt, also zum Beispiel das eigene Haus, und bei B um einen beliebigen Ort ohne Referenzfunktion. Ebenso werden Straßen mit Kurven als länger empfunden als gerade Straßen und auch die Länge von Straßen im Stadtzentrum wird gegenüber denen in Außenbezirken überschätzt [Byrne, 1979]. Nach der *Feature-Accumulation-Hypothesis* wird eine Route A gegenüber einer Route B als länger empfunden, wenn an Route A mehr auffällige Merkmale zu finden sind (wozu beispielsweise auch Kurven gehören können). „Auffällig“ kann hierbei, analog zu den Landmarken, sowohl objektive als auch subjektive Auffälligkeit bedeuten und darüber hinaus auch, wie genau das Merkmal letztlich im Gedächtnis gespeichert wird und ob es dementsprechend leicht oder nur schwer abgefragt werden kann. Nach [Allen & Kirasic, 1985] werden zudem Routen in mehrere Segmente unterteilt – je mehr Segmente, desto länger wird eine Route geschätzt. Allen et al. bezeichnen dies als was von ihnen als *Route-Structuring-Hypothesis*. [Berendt & Jansen-Osmann, 1997] verstehen unter dieser Hypothese jedoch lediglich einen Spezialfall der feature-accumulation-hypothesis. In ihren Experimenten hatten Strukturelemente (wie Kreuzungen) den gleichen Einfluss auf die Distanzschätzungen wie einfache Merkmale (z.B. Häuser).

### **Einfluss von Vorwissen?**

Selbst wenn Personen eine Umgebung das erste Mal betreten, kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Aufbau einer mentalen Repräsentation bei Null startet. Vielmehr prägt einen das Vorwissen, welches sowohl bei der Aufnahme neuer Information als auch bei der Bewertung und Einordnung dieser eine entscheidende Rolle einnimmt. Beispielsweise kann man annehmen, dass in einer kleinen deutschen Ortschaft ein Besucher davon ausgeht, dass im Zentrum eine Kirche und vielleicht auch ein Marktplatz vorzufinden ist. Das interessante dabei ist, dass derartiges Vorwissen so prägnant sein kann, dass es auch in der später auf Basis der realen Exploration der Umgebung aufgebauten kognitiven Karte erhalten bleiben kann. So konnten [Downs & Stea, 1982] feststellen, dass in mentalen Repräsentationen Objekte abgespeichert wurden, die so in der tatsächlichen Umgebung überhaupt nicht vorhanden waren. [Brewer & Treyens, 1981] sprechen in diesem Zusammenhang von kognitiven Schemata, welche relevante und wiederkehrende räumliche Strukturen abbilden und in welche neues Wissen eingebettet wird. Hierzu kann man sich diese Schemata nach [Herrmann & Schweizer, 1998] als Informationsstrukturen mit freien Slots vorstellen, die bei der aktiven Wahrnehmung dann angefüllt werden. Dies ermöglicht eine Klassifizierung und Strukturierung, welche den kognitiven Aufwand reduziert [Zimring & Gross, 1991] und mit hierarchischen Theorien des räumlichen Gedächtnisses, die in Kapitel 3.5.4 genauer vorgestellt werden, konform geht. Ein Problem kann aber eben sein, dass hierdurch fehlerhafte Informationen ebenfalls erhalten bleiben, wenn Slots durch Vorwissen bereits besetzt sind und bei Nichtauftreten



eines Merkmals dann versehentlich nicht gelöscht werden.

Die bisher vorgestellten Erkenntnisse basieren weitestgehend auf der Beobachtung von Verhalten und dem Externalisieren von kognitiven Repräsentationen durch verbale Beschreibungen oder das Zeichnen von Karten und ähnlichem. Eine andere Herangehensweise wählen die Neurowissenschaften, welche versuchen, die Ursachen für bestimmte Verhaltensweisen direkt im Gehirn auszumachen. Im Folgenden soll daher ein Überblick über die neuronalen Erkenntnisse bezüglich der Navigation und Orientierung im Raum gegeben werden.

### 3.3 Eine neuronale Perspektive auf menschliche Navigation und Orientierung

*Dieses Kapitel orientiert sich stark an dem Einführungskapitel des Buches „The Neurobiology of Spatial Behaviour“ von [Jeffery, 2003]. Die Literaturverweise wurden dabei entsprechend übernommen.*

Eine entscheidende Schwierigkeit dieses Forschungsgebietes ist es, dass das menschliche Gehirn nur sehr schwer untersucht werden kann. So ist man in vielen Fällen auf Patienten mit spezifischen Defekten angewiesen, um die genaue Funktion des defekten Systems untersuchen zu können. Allerdings sind solche natürlich auftretenden Defekte meist nicht nur auf ein System des Gehirns beschränkt, weswegen beobachtbare Verhaltensänderungen nur selten auf ein solches explizit zurückgeführt werden können. Dies erklärt auch, wieso immer noch viele überraschende Entdeckungen in diesem Bereich gemacht werden, die langjährige Theorien widerlegen. So stellte man erst in den letzten Jahrzehnten überraschend fest, dass die Rolle des limbischen Systems und des Hippocampus als zentrales Element dessen im Speziellen bislang völlig falsch eingeschätzt wurde. Ging man früher davon aus, dass es sich hierbei um ein emotionales Zentrum handelt, hat sich mittlerweile herauskristallisiert, dass es vielmehr eine kritische Rolle bezüglich räumlicher Repräsentationen und Navigation spielt. Der Hippocampus als zentrales System ist dabei tief im Gehirn angesiedelt, unter der so genannten neocortex, welche den größten Teil des menschlichen Gehirns ausmacht. Evolutionär gesehen kommt dem Hippocampus eine besondere Bedeutung zu, da es gleiche oder zumindest sehr ähnliche Strukturen nicht nur in Säugetieren sondern beispielsweise auch in den Gehirnen von Vögeln und Reptilien gibt, also in Tieren, deren evolutionäre Entwicklung seit hunderten von Millionen von Jahren getrennt von denen der Säugetiere abläuft. Vom Aufbau her ist der Hippocampus dementsprechend auch anders gestrickt als der neocortex und hat lediglich drei Layer im Gegensatz zu den sechs von letzterem. In der evolutionären Entwicklung hat er sich zudem auch nicht wesentlich vergrößert, weswegen er im Verhältnis zum stetig anwachsenden neocortex immer kleiner wurde. Bei anderen Säugetieren wie beispielsweise

Ratten ist dies allerdings nicht so stark gegeben. Trotz oder vielleicht auch gerade wegen seines langen Bestehens kommt dem Hippocampus auch weiterhin eine sehr zentrale Rolle für die Funktionsfähigkeit des Gehirns zu. Um den Hippocampus herum sind einige weitere System, welche als Hippocampus proper bezeichnet werden. Gemeinsam mit weiteren Strukturen bilden sie letztlich die Hippocampus Formation. Dabei durchdringen den Hippocampus sowohl Bahnen, welche andere Systeme im neocortex erreichen, als auch eingehende und ausgehende Verbindungen zu diesem. Die Systeme der Hippocampus formation sind überdies über einen Fornix genannten Strang ebenfalls sehr eng miteinander verknüpft. Aufgrund der tief im Gehirn verborgenen Position des Hippocampus kann zudem davon ausgegangen werden, dass die Informationen, die dorthin transportiert werden, schon in hohem Grade von anderen Teilen des Gehirns aufbereitet wurden.

### 3.3.1 Defekte am Hippocampus und deren Folgen

Defekte am limbischen System als Ganzes wurden bereits seit 1939 [Kluver & Bucy, 1939] intensiv untersucht und gelten auch als weitgehend erforscht. Problematischer gestaltet es sich da beim Hippocampus (siehe Abbildung 3.3), der das zentrale System des limbischen Systems ist. Aufgrund seiner Lage ist es deutlich schwieriger diesen zu schädigen – ohne beispielsweise auch Nervenbahnen, welche ihn durchdringen zu beschädigen. Über die Jahre wurden allerdings einige Möglichkeiten entdeckt, relativ gezielt den Hippocampus zu schädigen, beispielsweise mit speziellen Nervengiften wie kainic oder ibotenic acid. Beim Menschen kann zudem das Auftreten vorübergehender Höhenangst dazu führen, dass ein selektiver Zellausfall im Hippocampus auftritt, wodurch bedingt auch Untersuchungen bei eigentlich ungeschädigten Menschen möglich sind. Das Problem an solchen Studien ist aber zumeist, dass trotzdem kaum eindeutige Schlüsse möglich sind. Das Gehirn ist ein hochgradig vernetztes System – der Ausfall eines Subsystems beeinflusst gleich eine ganze Reihe von weiteren Systemen – wobei weitestgehend unerforscht ist, welche dies jeweils genau sind. Beobachtbare Auswirkungen von Defekten könnten also in den meisten Fällen auch auf die Beeinträchtigung von abhängigen Systemen zurückzuführen sein. Durch die Masse an getätigten Untersuchungen ist man sich mittlerweile trotzdem relativ sicher, dass Beschädigungen am Hippocampus die Navigationsleistung beeinträchtigen – die Gründe hierfür sind aber nach wie vor umstritten. Entgegen der meist verbreiteten Ansicht, dass dem Hippocampus gemäß der Theorie von [O’Keefe & Nadel, 1978] eine spezielle Rolle bezüglich räumlicher Wahrnehmung und Speicherung zukommt, wird beispielsweise auch argumentiert, dass durch Beschädigungen des Hippocampus die Fähigkeit, komplexe Assoziationen zu bilden zerstört wird [Sutherland & Rudy, 1989] oder die Fähigkeit, Relationen zwischen verschiedenen Stimuli herzustellen [Eichenbaum, 1996] und hierdurch letztlich die Navigationsleistung beeinträchtigt wird. Mittlerweile ist zumindest auch relativ sicher, dass der Hippocampus auch eine tragende Rolle bei nicht-räumlicher Information aufweist und somit bei dessen Beschädigung weiter reichende Einschränkungen im Verhalten zu erwarten sind.

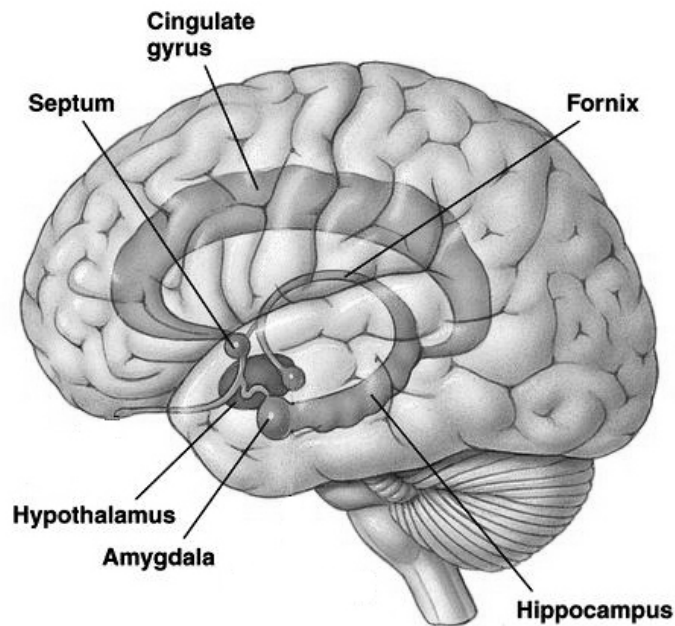


Abbildung 3.3: Der Hippocampus innerhalb des limbischen Systems (dunkelgrauer „Schlauch“).

### 3.3.2 Die Place Cells im Hippocampus

Die Rolle des Hippocampus bezüglich Navigation und Orientierung wurde das erste Mal aufgeworfen, als O'Keefe und Kollegen [O'Keefe & Dostrovsky, 1971] eine neue Untersuchungsmethode anwendeten, um das „Feuerverhalten“, also das Feuern der Neuronen im Hippocampus zu untersuchen. Mithilfe von flexiblen Drähten war es ihnen möglich, dass die untersuchten Ratten sich weiterhin frei im Raum bewegen konnten – eine Grundvoraussetzung, da sich ansonsten das Feuern dieser Neuronen nie messen ließ. Man ging zu diesem Zeitpunkt davon aus, dass an dieser Stelle im Gehirn lediglich Erinnerungen gespeichert werden. Überraschend stellte O'Keefe nun aber fest, dass die *Place Cells* genannten Neuronen viel mehr daran interessiert waren, wo sich das Tier gerade befand und dementsprechend feuerten. Dies kann als Startpunkt der *Cognitive Map Theory* von O'Keefe und Kollegen genannt werden, welche in dem Buch „the Hippocampus as a cognitive map“ [O'Keefe & Nadel, 1978] veröffentlicht wurde. In den letzten 30 Jahren wurden daraufhin überaus viele Studien durchgeführt – mit dem etwas niederschlagenden Fazit von [Jeffery, 2003]: „and yet the cells remain somewhat perplexing“. In den 90er Jahren konnten im Postsubiculum zudem Head-Direction Cells entdeckt werden, welche immer dann zu feuern beginnen, wenn die Ratte in eine bestimmte Richtung blickt [Taube et al., 1990]. So einfach sich das zunächst anhört, so gibt es doch noch eine ganze Reihe von Unklarheiten und Widersprüchlichkeiten, welche letztlich nur so zusammengefasst werden können: „however, quite what the place and head direction cells do is still not clear“ [Jeffery, 2003]. Beispielsweise formen die Place Cells keine 1:1

Repräsentation der realen Umwelt im Sinne einer zweidimensionalen topographischen Karte, wie man zunächst annehmen könnte. Stattdessen ist die Repräsentation in der Summe der Zellen verteilt und jede einzelne Place Cell kann in mehreren Repräsentationen teilhaben, sprich sie feuert an verschiedenen Stellen in einer Umgebung, da sie teil mehrerer Repräsentationen ist. Eine Zuordnung zwischen realen Orten und den Place Cells muss daher, wenn überhaupt, auf einer höheren Ebene existieren. Ein weiteres Phänomen, welches gegen eine einfache Repräsentationsform spricht, ist die Tatsache, dass sowohl bei Place Cells als auch bei Head-Direction Cells das Feuermuster, also der Platz beziehungsweise die Richtung, die ein Feuern auslöst, mittels einfacher Stimuli komplett neu zugeordnet werden kann – man nennt diesen Vorgang *Remapping*. Und dies ohne, dass die Navigationsleistung des Tieres merklich beeinflusst werden würde. Auch wenn nicht genau klar ist, was Place Cells genau abbilden, so ist es wohl gesichert, dass es keine Karte im herkömmlichen Sinne ist.

Der Ort in einer Umgebung, an welchem eine Place Cell anfängt zu feuern, wird ihr *Place Field* genannt. Das Feuern ist dabei invariant bezüglich der Blickrichtung – rein visuelle Reize können somit das Auftreten nicht erklären. [O'Keefe & Nadel, 1978] dachten, dass die Place Cells eine komplett allozentrische Repräsentation der Umwelt bilden. In dem Fall müsste das Feuern aber vollkommen unabhängig beispielsweise von der Position der Ratte sein. Es ist allerdings wohl so, dass auch die Richtung, in welche sich die Ratte bewegt, entscheidend ist und eben auch, wo der Stimuli im Verhältnis zur Position der Ratte ist. Ist ein bestimmtes Umgebungsmerkmal beispielsweise 2m links von der Ratte angebracht und die Place Cell feuert, wenn die Ratte nach Norden geht, so wird das gleiche Phänomen auftreten, wenn das Umgebungsmerkmal 2m vor der Ratte angebracht ist und diese nach Westen geht – das Merkmal also relativ zur Rattenbewegung wieder links ist (siehe Abbildung 3.4). Somit kann man eher davon ausgehen, dass die Place Cells eine egozentrische Repräsentation höherer Ordnung bilden und eben keine komplett allozentrische. [Hartley et al., 2003a] argumentieren, dass der Hippocampus daher eventuell die Funktion einnimmt, aus diesen einzelnen, egozentrischen Repräsentationen eine vom Blickpunkt der Ratte letztlich doch unabhängige allozentrische zu bilden – welche aber auf Basis einer einzelnen Place Cell nicht sichtbar ist.

### 3.3.3 Was „wissen“ Place Cells?

Eine bedeutsame Frage ist die, ob Place Cells in irgendeiner Weise Distanzen kodieren können. Hierzu wurden sowohl Experimente in 1D- als auch in 2D-Umgebungen durchgeführt. In eindimensionalen Umgebungen mussten Ratten einen langen schmalen Gang entlanglaufen, jeweils hin und wieder zurück. Dabei konnte festgestellt werden, dass die place-fields unidirektional sind, also nur in einer Bewegungsrichtung auftreten [McNaughton et al., 1983]. Wurde während der Bewegung der Ratte der Start oder Endpunkt verschoben, so konnte gezeigt werden, dass der Startpunkt den Ort des Auf-

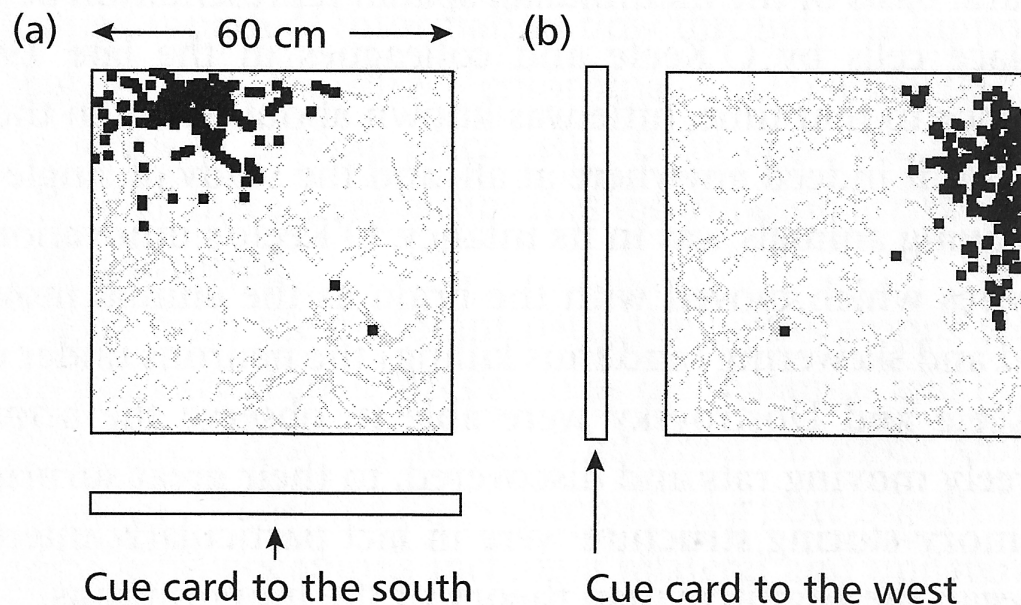


Abbildung 3.4: Das Feuermuster der Place Cells, welches relativ zum Stimulus gleich bleibt. Aus „The neurobiology of spatial behaviour“ von [Jeffery, 2003].

treten des place-fields kontrolliert, wenn die Ratte in dessen Nähe ist und umgekehrt, das Ziel Einfluss auf das place-field hat, wenn sich die Ratte dort befindet [Gothard et al., 1996]. In zweidimensionalen Umgebungen wurden Ratten in einer Box untersucht, dessen Wände relativ zueinander bewegt werden konnten [O’Keefe & Burgess, 1996]. Dabei wurde entdeckt, dass jede Place Cell bei einer gewissen Distanz zu wenigstens zwei der Wände anfang zu feuern. Unterschiedliche Place Cells hatten dabei auch verschiedene „Bezugswände“. Durch eine Veränderung der Größe der Box war es nun möglich, die Felder im Verhältnis zueinander zu verschieben. Dies zeigte erstmals, dass letztlich jede Place Cell ihren eigenen „privaten Referenzrahmen“ hat und somit eine Place Cell map keine feststehende Repräsentation ist. Obwohl hierbei die Distanzinformationen der Place Cells auch auf visueller Wahrnehmung basieren können, zeigen „non-visual“ Messungen jedoch, dass nicht visuelle Informationen wie Eigenbewegung und Gleichgewichtssinn ebenfalls verwendet werden können [O’Keefe & Burgess, 1996] & [Jeffery et al., 1997].

Können Place Cells Objekte „sehen“? Die bisherigen Untersuchungen deuten darauf hin, jedoch ist noch unklar, wie genau. Es könnte beispielsweise auch sein, dass Objekte als einfacher Stimulus wahrgenommen werden und somit keine komplexen Objektpräsentationen möglich sind. Da noch völlig unklar ist, wie Informationen über Objekte überhaupt in die Place Cells gelangen könnten, gestaltet sich die Erforschung dieser Fragestellung als äußerst schwierig.

Wie sieht es mit der Geometrie der Umgebung, also der Form aus? Dies ist insofern inter-

essant, da beispielsweise Kinder sich in ihrem Verhalten von Geometrien deutlich stärker beeinflussen lassen als durch spezielle Cues, also Merkmale wie Landmarken [Hermer & Spelke, 1994]. Untersuchungen von [Muller & Kubie, 1987], bei welchen eine kreisförmige Umgebung in ein Quadrat gewandelt wurden, zeigen, dass das Muster der Place Fields, also der Bereich in welchem die Place Cell feuert, sich änderte. [Lever et al., 2002] konnten diesen Effekt bei leicht veränderter Versuchsanordnung (die Wände wurden hier nicht ersetzt sondern verformt) jedoch nur bedingt nachvollziehen. [Anderson & Jeffery, 2003] argumentieren, dass es sich eventuell hierbei um einen Effekt handeln könnte, welcher durch eines, von ihnen als „Kontextänderung“ bezeichnetes Phänomen auftritt. Damit meinen sie, dass lediglich das Auftreten eines Merkmals, den Ecken, welche zuvor nicht vorhanden waren, zu der Änderung des Place Fields Muster führen könnte und somit nicht die geometrische Änderung an sich den Einfluss ausübte. [O’Keefe & Burgess, 1996] konnten jedoch beim Wechsel zwischen einem Quadrat und einem Rechteck ähnliche Phänomene bei der Beobachtung der Place Cells finden. Hieraus lässt sich in dem Fall schon eher ableiten, dass Place Cells Informationen über die Geometrie der Umgebung abspeichern und die Gesamtheit der Place Cells dadurch eine komplette Beschreibung der Geometrie beinhaltet. Weitere Hinweise darauf, dass Geometrien in gewisser Weise repräsentiert werden, soll in Kapitel 3.4.2 im Anschluss anhand einer aktuellen Studie von [Hartley et al., 2004] wiedergegeben werden.

Die Hypothese von [Anderson & Jeffery, 2003] lässt vermuten, dass Place Cells also auch etwas über den Kontext und somit über nicht-räumliche Merkmale wissen. Dies hat in den letzten Jahren zu hitzigen Debatten geführt und wirft mittlerweile die Frage auf, ob an dieser Stelle im Gehirn vielleicht wirklich mehr als nur „Orte“ repräsentiert werden. [Wood, 2003] beispielsweise vermutet hier Zusammenhänge mit dem episodischen Gedächtnis des Menschen, also der Fähigkeit, sich an persönliche Anekdoten sowohl inhaltlich (das WIE?) als auch räumlich (das WO?) besonders gut erinnern zu können.

### 3.3.4 Place Cells und Navigation

Wenn man davon ausgeht, dass Place Cells gemeinsam mit den Head-Direction Cells eine Form von kognitiver Karte im Gehirn bilden, dann müssten letztlich Manipulationen, welche die Feuermuster dieser Zellen ändern auch das Navigationsverhalten beeinflussen. Auch wenn dieser Frage schon mehrfach in Experimenten nachgegangen wurde, zeichnet sich bislang keine wirklich klare Antwort ab, oder wie [Jeffery, 2003] es ausdrückt: „This hypothesis has been tested several times but the results so far do not add up to as clear a pattern as one might hope“. Ein Grundproblem hierbei ist wieder einmal die Schwierigkeit einen eindeutigen Kausalschluss herzustellen. Selbst wenn sich das Verhalten bei geändertem Feuermuster ändert, so kann auch gerade diese Verhaltensänderung dies hervorgerufen haben – oder noch problematischer: eine unbekannte dritte Einflussgröße veränderte das Verhalten von beidem, sowohl Feuermuster der Zellen als auch Navigationsverhalten. Die „einfachste“ Möglichkeit, dies zu untersuchen besteht darin,

den Hippocampus zu schädigen beziehungsweise direkt physisch zu manipulieren. Experimente mit mutierten Mäusen konnten beispielsweise zeigen, dass Änderungen am Place Field das räumliche Lernen beeinträchtigen [McHugh et al., 1996], [Tonegawa et al., 1996] & [Yan et al., 2002]. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass gerade bei einer derartigen Methode ein eindeutiger Kausalschluss schwierig ist, allein schon weil der Eingriff die normale Physiologie des Gehirns stark beschädigen kann. Sinnvoller sind daher Maßnahmen, welche auf natürliche Weise das Feuerverhalten der Zellen verändern. Dies kann mit speziellen visuellen Stimuli erreicht werden, wie es erstmals von [O'Keefe & Speakman, 1987] demonstriert wurde. [Poucet et al., 2003] konnten hierbei ein interessantes Phänomen präsentieren. Wenn eine Ratte innerhalb eines Labyrinths zu einem Ziel finden muss und dabei lediglich einen entfernten Hinweis im Sinne einer globalen Landmarke zur Orientierung hat, so verschlechtert sich bei Manipulation der Place Fields die Navigationsgenauigkeit. Wenn nun anstelle des entfernten Hinweis ein so genannte beacon, also ein Hinweis nahe dem Ziel im Sinne einer lokalen Landmarke verwendet wird, so beeinträchtigt eine Änderung des Feuermusters in keinster Weise die Navigation. Dies könnte als Hinweis daraufhin gedeutet werden, dass die Place Fields nur dann eine Rolle spielen, wenn auch eine kartenähnliche Navigationsstrategie notwendig ist, also die Orientierung an globalen Landmarken – und nicht per se für jegliches räumliches Verhalten! Allerdings konnten beispielsweise [Jeffery, 2003] auch zeigen, dass sich Place Field Feuermuster sowie Navigationsverhalten auch durchaus entkoppeln lassen. Beispielsweise führt eine Änderung der Experimentalumgebung von schwarz zu weiß zu dem eingangs bereits kurz erwähnten Phänomen eines kompletten Remappings, also einer Neuausrichtung der Feuermuster – ohne dass dies die Navigationsleistung merklich beeinträchtigt. Dies lässt analog zu dem Experiment von Poucet vermuten, dass manche räumliche Aufgaben mit Hilfe von anderen Gehirnregionen gelöst werden können. Ähnliche Phänomene können auch bei den Head-Direction Cells beobachtet werden [Golob et al., 2001], was letztlich aber zu der Frage führt, WO wenn nicht im Hippocampus, dann die notwendigen Berechnungen stattfinden.

Wie die vorigen Seiten sehr deutlich aufzeigen konnten, steckt die Forschung in diesem Gebiet noch in den Kinderschuhen und viele Fragen sind weiterhin ungeklärt oder lassen mehrere Hypothesen zu, welche auch jeweils empirisch belegt werden können, aber sich trotzdem gegenseitig ausschließen. Wie kann es zu dieser paradoxen Situation kommen? Nach [Jeffery, 2003] ist die wahrscheinlichste Erklärung, dass räumliches Verhalten bei Säugetieren als ein überaus heterogener Prozess zu verstehen ist, welcher nicht auf ein einzelnes neuronales System angewiesen ist. Vielmehr gibt es, ebenso wie es viele verschiedenen Formen der Navigation gibt, wohl je nach benötigter Strategie unterschiedliche neuronale Systeme, die diese jeweilige Strategie alleine oder im Verbund unterstützt. Eine Person, welche von A nach B möchte, greift unterwegs wohl daher nicht nur auf mehrere Navigationsstrategien, sprich beispielsweise auf Landmarken, Überblickswissen und Path Integration zurück, sondern wenn nötig auch auf ein ganzes Netzwerk an neuronalen Systemen. Die Place Cells beziehungsweise Head-Direction Cells stellen dabei lediglich einen Teil dieses Netzwerkes. Und um mit [Jeffery, 2003] zu schließen: „A great deal more work is needed to unravel the mechanisms involved“.

In den folgenden Kapiteln sollen einige weitergehende konkrete Fragestellungen untersucht werden, wobei hier sowohl auf neurokognitive als auch behaviouristische und kognitionspsychologische Studien zurückgegriffen wird.

### **3.4 Ist die räumliche Repräsentation egozentrisch oder allozentrisch?**

Sind die mentalen Repräsentationen, die für die Navigation und Orientierung verwendet werden egozentrisch, das heißt immer bezogen auf die aktuelle Position des Betrachters oder allozentrisch und damit unabhängig von dieser? Vielen Menschen erscheint Navigation in bekannten Umgebungen zumeist allozentrisch und somit unabhängig von ihrer eigenen Position – sie besitzen die Fähigkeit, zumindest Teile der Umgebung aus einer Vogelperspektive zu betrachten, was auf eine kognitive Karte schließen lässt. Ob solche allozentrischen mentalen Repräsentationen aber überhaupt existieren, ist keinesfalls unumstritten.

#### **3.4.1 „Karten“ als Kommunikationsmittel – eine egozentrische Perspektive**

[Wang & Spelke, 2003] gehören zu den „Systemkritikern“, welche die ihrer Meinung nach vorherrschende Meinung einer auf allozentrischen Repräsentationen basierenden Navigation für falsch halten. In [Wang & Spelke, 2003] stellen die Autoren einige Studien vor, die belegen, dass menschliche Navigation ebenso wie die von den meisten Tieren vornehmlich auf egozentrischen Repräsentationen basiert. Die hierfür zentralen Navigationsstrategien sind Path Integration, *Scene Recognition* und *Reorientation*. Ersteres wurde in dieser Arbeit bereits vorgestellt. Scene Recognition lässt sich am ehesten mit Landmarkenwissen gleich setzen und beschreibt die Fähigkeit eine komplexe Szenerie mittels abgespeicherter Sichten wieder zu erkennen. Reorientation ermöglicht es, unbekannte Perspektiven mit abgespeicherten in Einklang zu bringen. Dabei wird argumentiert, dass mit Hilfe dieser drei Systeme sämtliche Navigationsformen erklärt werden können, wobei allerdings nicht abschließend klar wird, wie beispielsweise Abkürzungen zu nicht besuchten Zielen gefunden werden können. Die Autoren kritisieren zudem stark den Begriff einer allozentrischen Karte, welche nach ihrer Auffassung einen permanenten, einheitlichen Charakter hat und somit nicht der Dynamik der menschlichen Navigation gerecht wird. Wang & Spelke schließen dann auch mit den Worten, dass ihrer Meinung nach kognitive Karten lediglich zur Weitergabe von Information notwendig sind, nicht jedoch für die eigentliche Navigation. Für diese seien sie äußerst ineffektiv, da aus der allozentrischen Repräsentation zunächst eine egozentrische gebildet werden muss und diese Transformation kognitiv sehr belastend ist und von Menschen wenn möglich vermieden wird.



Studien über das Verhalten beim Lesen von Karten unterstützen diese These – so ist beispielsweise bekannt, dass Menschen sich beim Lesen einer Karte deutlich leichter tun, wenn diese mit der momentanen Blickrichtung ausgerichtet ist [Warren & Scott, 1993].

### 3.4.2 Egozentrische & allozentrische Repräsentationen existieren gemeinsam

Dieser Sichtweise gegenüber stehen die Vertreter eines gemischten Modells, in welchem sowohl egozentrische als auch allozentrische Repräsentationen vorhanden sind. [Hartley et al., 2003a] argumentieren beispielsweise, dass eine Navigation welche einzig auf einer egozentrischen Repräsentation basiert aus ihrer Sicht nicht möglich wäre, da dies bedeuten würde, dass die Position von sämtlichen Objekten ständig relativ zum Betrachter aktualisiert werden müsste. Fehler würden sich dementsprechend kumulieren und bei längeren Bewegungen somit jegliche Genauigkeit in der Navigation unmöglich machen. In einer allozentrischen Repräsentation hingegen werden lediglich die Objekte relativ zueinander abgespeichert und damit unabhängig vom Betrachter. Ihrer Meinung nach ist somit zwar eine rein egozentrische Repräsentation zur Navigation über kurze Strecken oder zum kurzzeitigen Speichern von räumlichen Informationen durchaus denkbar – auf Jahre gesehen und für Strecken über mehrere Kilometer erscheint es aber sehr unwahrscheinlich. Eine Strategie wie das Scene Recognition, welches also lediglich auf dem Wiedererkennen von „Schnappschüssen“ basiert, erscheint ihnen zudem ungeeignet, Navigation zu kontrollieren, da hierüber beispielsweise das Finden von Abkürzungen oder Umwege über Plätze, die bislang noch nicht besucht wurden, nicht hinreichend erklärt werden können. Selbst wenn es unter gewissen Bedingungen möglich wäre, so erscheint es ihnen selbst dann äußerst ineffizient, da zum einen enorm viel Informationen abgespeichert werden müssten, welche eventuell niemals für die Navigation benötigt würden. Zum anderen müssten die Beziehungen zwischen den einzelnen Landmarken, Zielen und Hindernissen ständig aktualisiert und neu berechnet werden, selbst wenn diese über längere Zeit (allozentrisch gesehen) stabil bleiben. All dies wäre mit einer flexibleren Repräsentationsform im Langzeitgedächtnis möglich – einer allozentrischen, kognitiven Karte. Neben dieser logischen Argumentation untermauert auch eine größere Anzahl an Untersuchungen, dass eine allozentrische Repräsentation in irgendeiner Form im räumlichen Gedächtnis gespeichert wird. Ein Beispiel ist der Fall von Patienten, welche eine Beschädigung der rechten *Parietal Cortex* aufweisen und daher an einem *Hemispatial Neglect* genannten Phänomen leiden. Objekte, welche sich links des Körpers beziehungsweise des Sichtfeldes befinden werden hierbei gegenüber denen auf der rechten Seite „vernachlässigt“ [Thier & Karnath, 1997]. In manchen Fällen weitet sich dies auch auf das Langzeitgedächtnis aus, was dazu führt, dass beim mentalen Versetzen in eine Szene ein ähnliches Phänomen beobachtet werden kann: Im hierfür bekanntesten Beispiel fragten [Bisiach & Luzzatti, 1978] ihre Patienten, sich die Kathedrale Piazza in ihrer Heimatstadt Mailand von einem bestimmten Punkt aus vorzustellen und die von diesem aus sichtbaren Gebäude zu beschreiben. Dabei vernachlässigten sie die Gebäude und

Landmarken links bezüglich des gewählten Blickpunkts – stellten sie sich jedoch einen Blickpunkt genau gegenüber liegend vor, so konnten sie die zuvor vernachlässigten, nun auf der rechten Seite liegenden Landmarken exakt beschreiben. Es scheint somit, dass diese Patienten zwar eine korrekte mentale Repräsentation des Platzes unabhängig vom Blickpunkt besitzen – ihre Fähigkeit diese in eine Blickpunkt spezifische zu transformieren jedoch aufgrund ihres Hirnschadens eingeschränkt ist. Nach Ansicht von [Hartley et al., 2003a] zeigt dieses Phänomen, dass es unabdinglich ist, sowohl ego- als auch allozentrische Repräsentationen zu berücksichtigen, da je nach Aufgabe die eine oder die andere eingesetzt werden kann. Bei Tieren konnten zudem deutliche Hinweise darauf gefunden werden, dass die Place Fields zumindest in gewisser Weise allozentrisch sind und sich beispielsweise von Grenzen der Umgebung, also geometrischen Elementen stark beeinflussen lassen. Gemeinsam mit der Entdeckung von [Ekstrom et al., 2003], dass Place Cells auch im Menschen vorhanden sind und eine ähnliche Rolle spielen, sowie Untersuchungen, dass Beschädigungen am Hippocampus des Menschen insbesondere dann das Ortsgedächtnis für Objekte einschränken, wenn hierfür allozentrische Informationen notwendig sind (z.B. [Bohbot et al., 1998]), wird die Vermutung des Vorhandenseins einer allozentrischen Repräsentation auf neuronaler Ebene unterstützt. Kognitionspsychologische Experimente zeigten weiterhin, dass beim Testen des Ortsgedächtnis für Objekte Reaktionsvorteile zu beobachten sind, wenn beim Wechsel von Blickpunkten diese mit den Wänden des Testraums auf einer Linie liegen [Mou & McNamara, 2002] oder externe Landmarken vorhanden sind [Burgess et al., 2004]. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Repräsentationen der Orte von Objekten auch das Verhältnis dieser zu, relativ zur Welt gesehen, festen *Cues*, also visuelle Hinweise wie globale Landmarken oder die Beschränkungen des Versuchsraums, abspeichern – selbst wenn sich das Verhältnis der Person zu diesen Cues ändert. Diskrete Objekte innerhalb einer Umgebung spielen dabei allerdings für die allozentrische Repräsentation eine untergeordnete Rolle [Gouteux & Spelke, 2001].

[Hartley et al., 2004] unternahmen eine Studie in einer virtuellen Umgebung, welche Hinweise sowohl auf allozentrische als auch egozentrische Repräsentationen lieferte. In dieser wurden Probanden in einen virtuellen Raum mit halbhohen Wänden gesetzt. Über diesen Wänden war eine entfernte Landschaft sichtbar, welche einige Merkmale aufwies, die als globale Landmarken dienen konnten (siehe Abbildung 3.5). Innerhalb des Raumes wurde eine bestimmte Position markiert und den Probanden gezeigt. Daraufhin wurden diese in einen anderen Raum „gebeamt“, welcher dazu dienen sollte, Strategien wie Path Integration auszuschließen. Die Markierung wurde entfernt und nach kurzer Wartezeit ging es wieder zurück in den virtuellen Versuchsraum an eine zufällige neue Position. Nun wurden die Versuchspersonen angewiesen, die Stelle auszumachen, welche zuvor markiert gewesen war. Teilweise wurde zwischen Präsentation und Test die Geometrie des Raumes verändert in dem Sinn, dass aus dem Quadrat ein Rechteck wurde.

Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Versuchspersonen aufgrund der Landmarken zumindest den korrekten Quadranten bestimmen konnten. Wurde zudem die Geometrie des Raumes nicht verändert, war eine relativ hohe Genauigkeit erkennbar. Bei Änderun-

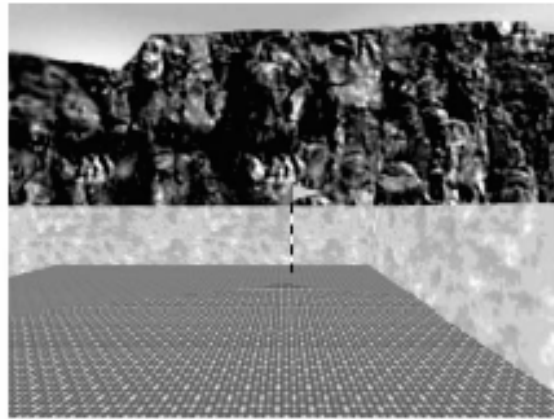


Abbildung 3.5: Die von [Hartley et al., 2004] verwendete virtuelle 3D Umgebung mit globalen Landmarken im Hintergrund und der markierten Stelle im Vordergrund.

gen der Geometrie traten erwartungsgemäß Abweichungen auf – die Autoren verglichen diese mit mehreren theoretischen Modellen, sowohl welche die von einer egozentrische Repräsentation ausgehen als auch solche, die eine allozentrische annehmen. Dabei konnte ein Modell, welches aufgrund der Untersuchungen mit Place Cells erstellt wurde und von einer allozentrischen Repräsentation ausgeht, die Abweichungen am besten erklären. Interessant war allerdings darüber hinaus, dass die Versuchspersonen beim erneuten Betreten des Raumes versuchten, die gleiche Orientierung wie zuvor einzunehmen. Um dies zu erreichen wurde kein exaktes view-matching durchgeführt, was aufgrund der veränderten Geometrie auch zu Fehlern geführt hätte. Vielmehr wurde anhand der globalen Landmarken ein landmark-matching vollzogen, was allerdings ebenfalls für eine egozentrische Repräsentation der Landmarken spricht, welche daraufhin mit der wahrgenommenen Darstellung abgeglichen wurden. Damit kann aber das Auffinden der markierten Stellen nicht vollständig erklärt werden, da dies scheinbar relativ zu den Grenzen der Umgebung im Gehirn festgehalten wird und nicht relativ zu der Position des Betrachters beim Kodieren. Somit kann die Repräsentation der *Cue Location*, also der Ort der markierten Stelle am besten als allozentrisch beschrieben werden. Diese Erkenntnisse stützen die These, dass je nach Aufgabe sowohl allozentrische als auch egozentrische Repräsentationen abgerufen werden können. Dies deutet auch darauf hin, dass im Gehirn viele verschiedene Repräsentationen sowie viele verschiedene Systeme an der Navigation und Orientierung beteiligt sind – fällt davon eines aus und ist somit eine Strategie nicht anwendbar, kann relativ problemlos auf eine Alternative zurückgegriffen werden.

## 3.5 Welche Struktur besitzt das räumliche Gedächtnis? Welchen Einfluss haben Regionen?

[van Asselen, 2005] bezeichnet das Spatial Memory als den essentiellen kognitiven Prozess, welcher für die Kodierung der Umwelt im Gehirn notwendig ist. Dieser Teil des Gedächtnisses ist somit für die Speicherung sämtlicher räumlicher Informationen zuständig, sei es Repräsentationen welche für die Navigation verwendet werden wie kognitive Karten oder Routeninformationen, aber auch das Wissen, dass man beispielsweise den Haustürschlüssel links auf dem Schreibtisch abgelegt hat. [Wiener, 2004] übersetzt dabei Spatial Memory mit Ortsgedächtnis – diese Übersetzung ist jedoch missverständlich, da sie leicht dazu führen kann, hier lediglich die Speicherung der Lokationen von Objekten zu vermuten. Da dies aber nur ein kleiner Teil des Spatial Memory ist, soll im Folgenden, um Missverständnisse zu vermeiden, weiter der englische Begriff verwendet werden. Eine gängige Unterteilung des Spatial Memory ist nach [van Asselen, 2005] jene, welche differenziert zwischen *Spatial Working Memory*, *Route Learning* und *Object-Location Memory*.

### 3.5.1 Working Memory

Im Working Memory, dem Arbeitsgedächtnis, oftmals auch als Kurzzeitgedächtnis bezeichnet, wird jene Information bereitgehalten, welche sofort verarbeitet oder manipuliert werden soll. Die Kapazität ist dabei sowohl zeitlich als auch bezüglich der Anzahl der gleichzeitig speicherbaren Objekte beschränkt. Generell geht man davon aus, dass es sich hierbei um ein Multi-Komponenten System handelt, welches zwei *Slave*-Systeme und ein Steuerungssystem vereint (siehe Abbildung 3.6). Die phonologische Schleife (*Phonological Loop*) verarbeitet dabei auditive und verbale Informationen, sowie auch visuell aufbereiteten Text in Form von Sprache. Die Verarbeitung erfolgt hierbei sequentiell. Im Gegensatz dazu kann visuell-räumliche Information im *Visuo-Spatial Sketchpad* parallelisiert verarbeitet werden [Baddeley, 2001]. Kontrolliert werden diese beiden Systeme von dem *Central Executive System*, welches für die effiziente Planung und Organisation zuständig ist.

Neuronal sind diese Systeme und weitere spezialisierte Prozesse verteilt im prefrontal cortex angesiedelt. Beispielsweise sind die ventral areas des lateral prefrontal cortex dafür zuständig, Objektinformationen aktiv im Arbeitsgedächtnis zu halten wohingegen die dorsal areas die räumliche Information abspeichern [Nelson et al., 2000] (siehe Abbildung 3.7).

[Woodman et al., 2001] sowie [Woodman & Luck, 2004] haben das visuo-spatial sketchpad näher untersucht. Ausgangspunkt war hierbei die Frage, ob in diesem System wirklich sowohl rein visuelle (z.B. Farben) als auch räumliche Information (z.B. der Ort

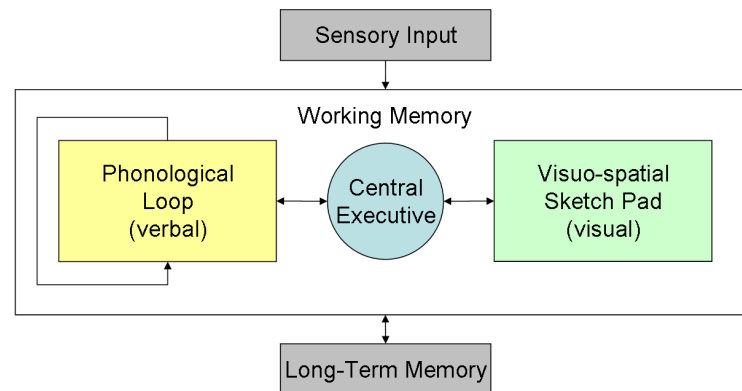


Abbildung 3.6: Die Struktur des Arbeitsgedächtnisses.

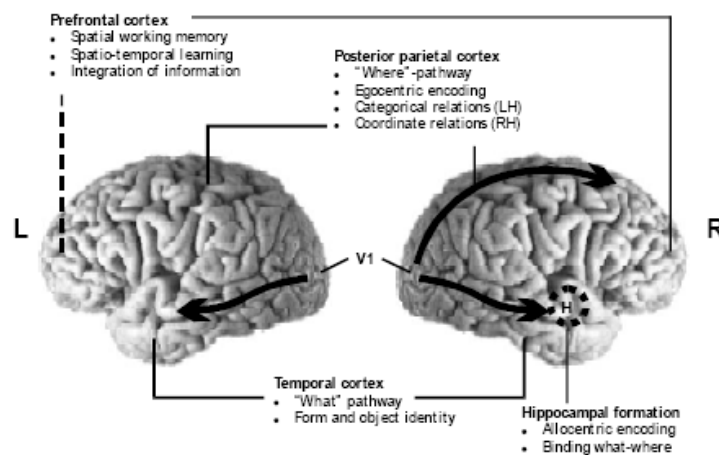


Abbildung 3.7: Die relevanten Gehirnstrukturen des Spatial Memory. Abbildung von [van Asselen, 2005]

von einem Objekt) gemeinsam verarbeitet werden. Hierzu wurden mehrere Experimente durchgeführt, bei welchen jeweils versucht wurde, das Arbeitsgedächtnis aufzufüllen um anschließend zu überprüfen, ob eine räumliche Aufgabe davon beeinträchtigt wird. Diese Aufgabe bestand in einer visuellen Suche, bei welcher in einer Anordnung von 4, 8 oder 12 Quadraten jeweils entschieden werden musste, ob ein Quadrat oben oder unten eine Lücke aufwies. In [Woodman et al., 2001] wurde das Arbeitsgedächtnis mit visuellen Informationen aufgefüllt, indem die Versuchspersonen sich die Farben von Objekten merken mussten. Daraufhin konnte festgestellt werden, dass die visuelle Suche beinahe uneingeschränkt durchgeführt werden konnte – die visuelle Information im Arbeitsgedächtnis hatte also offensichtlich keinen wesentlichen Einfluss hinsichtlich der Beschränkungen dieses Speichers für die visuelle Suche. Es ist also anzunehmen, dass hier unterschiedliche Systeme zum Einsatz kommen – was aber passiert, wenn das Arbeitsgedächtnis mit räumlicher Information aufgefüllt wird? Es gibt mittlerweile mehrere Studien sowohl

aus der Verhaltenspsychologie [eine Zusammenstellung findet sich in Baddeley & Logie, 1999] als auch aus der Neuropsychologie [Carlesimo et al., 2001], welche nahe legen, dass räumliche und nicht-räumliche Repräsentationen in verschiedenen Subkomponenten des Arbeitsgedächtnisses gespeichert werden. In [Woodman & Luck, 2004] wurde daher der Versuch aus [Woodman et al., 2001] wiederholt, mit dem Unterschied, dass nun mittels einer räumlichen Aufgabe das Arbeitsgedächtnis gefüllt wurde. Dabei zeigte sich, dass in der Tat sowohl die Sucheeffizienz als auch das Merken von räumlichen Repräsentationen in der Parallelaufgabe sich verschlechterten. Eine visuelle Suche sowie das Erkennen von räumlichen Veränderungen erfordern somit den gleichen kognitiven Prozess, wohingegen visuelle Suche und das Erkennen von Form und Farbänderungen auf getrennte Prozesse zurückgreifen können. Woran liegt es nun, dass hier eine Beeinträchtigung auftritt, sprich was ist der limitierende Faktor dieses Subsystems des Arbeitsgedächtnisses? Insbesondere die Arbeiten von Awh und Jonides [Awh & Jonides, 1998] lassen vermuten, dass die visuell-räumliche Aufmerksamkeit der entscheidende Grund sein könnte. Um Repräsentationen von den räumlichen Lokationen im Arbeitsgedächtnis zu halten, muss die Aufmerksamkeit auf diese Lokationen gelenkt werden. Die visuelle Suchaufgabe im Experiment von Woodman et al. benötigt nach deren Angabe ebenfalls mehrere Aufmerksamkeitsstufen, je nach steigender Komplexität. Hierdurch kann es sein, dass sich die Versuchspersonen nicht parallel auf die zu erinnernden Positionen konzentrieren konnten und letztlich beide Aufgaben beeinträchtigt wurden. Wie auch schon von [Baddeley & Logie, 1999] aufgezeigt, wird durch diese Ergebnisse die Vermutung gestützt, dass nicht-räumliche Objektinformationen getrennt von räumlichen Informationen wie dem Ort eines Objektes im Arbeitsgedächtnis gespeichert und verarbeitet werden.

Um Informationen für eine längere Zeit behalten zu können, müssen diese letztlich in das Langzeitgedächtnis übertragen werden. Hierfür scheint auf neuronaler Ebene der Hippocampus [Feigenbaum et al., 1996], [Abrahams et al., 1999] sowie der parahippocampal gyrus zuständig zu sein [Hayes et al., 2004]. Das Langzeitgedächtnis unterteilt [van Asselen, 2005] hierbei nochmals in einen dynamischen, welchen er Route-Learning nennt und einen statischen Aspekt, das Object-Location Memory.

### 3.5.2 Route-learning

Hierunter versteht [van Asselen, 2005] sämtliche Prozesse, welche mit Wayfinding und den hierfür notwendigen kognitiven Repräsentationen zusammenhängen, wobei sie diese als generell dynamisch betrachtet – sei es Landmarkenwissen, Routenwissen oder Überblickswissen im Sinne einer kognitiven Karte. Interessant hierbei ist, dass nach neusten Erkenntnissen mit Hilfe von so genannten *functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) Techniken entdeckt wurde, dass für Routenwissen nicht der Hippocampus, sondern der *Caudate Nucleus* aktiviert wird – für Überblickswissen aber wie schon vermutet der Hippocampus [Bohbot et al., 2004], [Hartley et al., 2003b]. Die verwendeten fMRI Scanner ermöglichen erstmals eine Untersuchung von Gehirnaktivitäten mit relativ

guter Genauigkeit bei gleichzeitig geringer Zeitauflösung – im Gegensatz zu den bislang verwendeten PET Techniken, die für die Erfassung von sich schnell ändernden Gehirnaktivitäten trotz ihrer sehr hohen Genauigkeit nahezu untauglich sind, da sie die entsprechende Region zu lange scannen müssen.

### 3.5.3 Object-Location Memory (Objekt-Lokations Gedächtnis)

Nach [van Asselen, 2005] ist dies ein statischer Aspekt des Spatial Memory, welcher es ermöglicht, sich an die festen Positionen von Objekten in der Umgebung zu erinnern. Hierzu gehört beispielsweise die Fähigkeit sich zu erinnern, dass eine Abbildung in einem Buch auf einer Seite links unten zu finden war. Dabei kann unterschieden werden zwischen dem Erinnern der Identität der Objekte und den Positionen dieser, wobei ein dritter Prozess die Integration dieser beiden im Gedächtnis ermöglicht [Moscovitch et al., 1995]. Dabei erscheint die von van Asselen hier vorgeschlagene Aufteilung des Spatial Memory mit dem Object-Location Memory als lediglich einem Teilaspekt nicht absolut eindeutig. Psychometrische Tests zur Messung des Visual-Spatial Memory scheinen sich beispielsweise lediglich auf das Object-Location Memory zu beziehen.

### 3.5.4 Aufbau des Spatial Memory

Bezüglich der Navigation und Orientierung stellt sich nach [Wiener, 2004] nicht nur die Frage, welche Strategien hier angewandt werden können, in welcher Form mentale Repräsentationen vorhanden sind und was hiervon die neuronalen Grundlagen sind, sondern auch das „WIE“ – also in welcher Art und Weise Informationen im Gedächtnis abgespeichert werden. Dabei existieren zwei gegensätzliche Theorien, welche im Folgenden vorgestellt werden sollen.

#### **Nicht-hierarchische Aufbau:**

Gemäß diesen Theorien werden Informationen im Spatial Memory holistisch, also ganzheitlich abgespeichert. Hierdurch bleiben metrische Relationen bestehen und werden nicht vereinfacht oder verzerrt. Als oft zitiertes Beispiel sei hier ein Bild genannt, welches sich nur schwer hierarchisch gliedern lässt und vom Menschen nachgewiesener Weise als ganzes wahrgenommen wird [Kosslyn et al., 1978] & [Thorndyke, 1981a].

### Hierarchischer Aufbau:

Demgegenüber stehen die Theorien, welche von einer hierarchischen Speicherung ausgehen. Hierbei werden Objekte auf mehreren Detailstufen unterschiedlich repräsentiert, sozusagen geschachtelt. Das bedeutet, dass abhängig von der subjektiven Wahrnehmung, sowie von physikalischen Eigenschaften der Umgebung Objekte oder geographische Elemente gemeinsam gruppiert werden und so in Oberkategorien zusammengefasst werden.

Die hierarchischen Theorien werden gemeinhin als tragfähiger angesehen, zudem es mittlerweile eine ganze Reihe von empirischen Studien gibt, die diese unterstützen. Dabei konnten die meisten systematische Verzerrungen in den mentalen Repräsentationen aufdecken, die sich am besten durch eine hierarchische Ordnung erklären lassen. [Stevens & Coupe, 1978] konnten beispielsweise zeigen, dass die geschätzten relativen Richtungen zwischen zwei Städten in den USA davon beeinflusst wurden, ob diese in demselben Staat liegen oder nicht. Die Stadt Reno in Nevada wurde dabei fast immer als nord-östlich von San Diego, California eingeschätzt, obwohl sie in Wirklichkeit nord-westlich von dieser Stadt liegt (siehe Abbildung 3.8. Die Autoren schlossen aus dem Umstand, dass Nevada aber insgesamt gesehen östlich von California liegt, dass die Versuchspersonen sich von diesem Wissen haben beeinflussen lassen und es in ihre Entscheidung mit einfließen ließen. Mit anderen Städtepaaren konnten diese Ergebnisse seitdem vielfach reproduziert werden.



Abbildung 3.8: Nevada liegt östlich von California, aber Reno (Nevada) nord-westlich von San Diego (California).



[Wilton, 1979] konnte zeigen, dass Distanzschätzungen zwischen zwei Orten innerhalb einer Region schneller möglich sind, als wenn diese in zwei unterschiedlichen Regionen zu finden sind. Zu Distanzschätzungen gibt es weitere allgemeinere Untersuchungen, die zumindest zeigen, dass Grenzen einen Einfluss auf die Wahrnehmung haben. So konnten [Kosslyn et al., 1974], [Cohen et al., 1978], [Thorndyke, 1981b] & [Newcombe & Liben, 1982] bereits zeigen, dass Distanzschätzungen über Grenzen hinaus systematisch überschätzt werden, wohingegen diese innerhalb einer Region unterschätzt werden. [McNamara, 1986] verwendete ein räumliches *Priming Paradigma* um die Struktur des Spatial Memory zu untersuchen. Dabei mussten die Versuchspersonen eine Umgebung mit Objekten lernen, welche in vier Regionen unterteilt war. Das Lernen erfolgte entweder durch aktive Navigation oder durch das Studium einer Karte. Anschließend wurde den Probanden auf einem Bildschirm Namen von Objekten präsentiert und diese mussten entscheiden, ob das entsprechende Objekt in der zuvor gelernten Umgebung vorhanden war oder nicht. Die Reaktionszeit war hierbei schneller, wenn das vorhergegangene Objekt in derselben Region war als in einer anderen. Die Objekte innerhalb einer Umgebung *primen* sich also gegenseitig mehr, das heißt es werden durch die Aktivierung eines Objekts bereits benachbarte Gehirnregionen aktiviert – in welchen das benachbarte Objekt gespeichert ist und wodurch der Zugriff effizienter gestaltet werden kann. Die Hierarchien basieren keinesfalls nur auf geographischen, also physikalischen Eigenschaften der Umgebung. Die genannten Studien gehen zumeist von einem *Spatial Encoding* aus, also dass räumliche Eigenschaften wie Nähe oder Grenzen die hierarchische Gliederung unterstützen. Physikalische Grenzen haben hier allerdings einen größeren Einfluss als räumliche Distanz. Zusammengehörigkeit kann auch durch perzeptuelle Muster entstehen, beispielsweise wenn Objekte auf einer Linie angeordnet sind. Weiterhin existiert auch ein *Semantic Encoding*. Hierbei werden Hierarchien auf einem semantischen Level gebildet. Beispielsweise könnten alle Museen in einer Stadt in einem Cluster zusammengefasst werden, obwohl sie geographisch weit verstreut sind. Aber auch gesellschaftliche oder subjektive Grenzen, wie beispielsweise die Unterscheidung zwischen Stadtzentrum und Innenstadt fallen unter diese Form der Kodierung [McNamara, 1991]. Semantisches Kodieren ermöglicht nach Aussage von [Sjölander, 1998] ein schnelleres Wiederauffinden im Gedächtnis als reines räumliches Kodieren.

### **Der Einfluss von Regionen auf die Navigation**

Aufgrund der Erkenntnisse bezüglich der hierarchischen Struktur des Spatial Memory stellt sich unter anderem die Frage, inwieweit Regionen einen Einfluss auf die Navigationsleistung haben – zum einen bezogen auf die Planung von Routen und zum anderen auf die Lernleistung einer neuen Umgebung. Hierzu hat [Wiener, 2004] eine Reihe von Untersuchungen angestellt, die an dieser Stelle vorgestellt werden sollen, da sie recht eindrucksvoll den konkreten Nutzen von Regionen belegen.

In dem ersten durchgeführten Experiment wurden Probanden in eine virtuelle Umge-

bung gesetzt, welche in mehrere Regionen unterteilt war (siehe Abbildung 3.9). In einer ausgiebigen Lernphase konnten die Teilnehmer die Umgebung inklusive der Regionen kennenlernen. Anschließend sollten sie Navigationsaufgaben durchführen, bei welchen jeweils einzelne Ziele innerhalb der Umgebung angesteuert werden mussten. Durch den Aufbau der Umgebung waren stets mehrere Routen möglich, die sich in der Anzahl der Regionen, welche sie durchquerten, unterschieden.

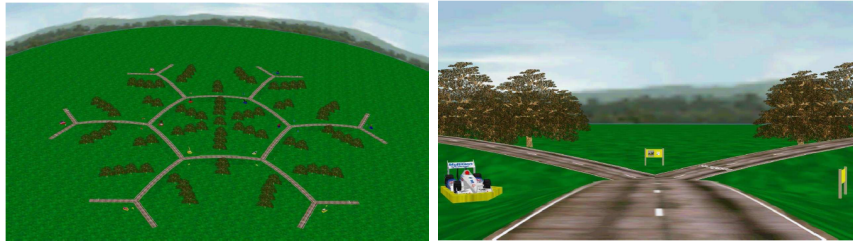


Abbildung 3.9: Die von [Wiener, 2004] verwendete virtuelle 3D Umgebungen, unterteilt in mehrere semantisch-räumliche Regionen. An den Kreuzungen waren jeweils Landmarken angebracht. Je vier benachbarte Landmarken hatten eine semantische Ähnlichkeit – beispielsweise vier Autos – und bildeten so insgesamt drei Regionen

Die Teilnehmer der Studie bevorzugten dabei systematisch die Routen, welche durch weniger Regionen führten und somit weniger Grenzen beinhalteten. [Wiener, 2004] kommt aufgrund dieser Ergebnisse zu drei möglichen Schlussfolgerungen, die dieses Verhalten erklären könnten:

- Zum einen könnte es sein, dass die Regionengrenzen im Ortsgedächtnis stärker oder überrepräsentiert werden und daraufhin Routen, welche diese kreuzen, als länger empfunden werden. Wiener nennt dies eine Distorted-Representation-Hypothese
- Zweitens könnte es sein, dass die Versuchspersonen versuchten, so lange wie möglich in ihrer Ausgangsregion zu bleiben, was sich über die spatial priming Erkenntnisse von [McNamara, 1986, wie oben bereits aufgeführt] erklären ließe. Objekte innerhalb der gleichen Region sind präsenter im Gedächtnis und werden daher eher in die Route mit einbezogen. Wiener nennt dies die Persistence-hypothese
- Drittens könnte es sein, dass die Teilnehmer versuchten, die Zielregion so schnell wie möglich zu betreten, also genau die entgegengesetzte Strategie anwandten als in der zweiten Theorie. Dies könnte daran liegen, dass räumliche Informationen lediglich in der Nähe, sprich in der gleichen Region in einer feinen Granularität vorliegen, Wiener spricht hier von place-connectivity, wohingegen entfernte Distanzen, wie das Ziel, lediglich über die Regionenzugehörigkeit repräsentiert sind (region connectivity). Dies ist die hierarchical-planning hypothesis.

Die zweite und dritte Hypothese geht jeweils von einer hierarchischen Struktur des Gedächtnisspeichers aus. Um letztlich entscheiden zu können, welche der Hypothesen

zutritt, wurde ein zweites Experiment gestaltet. Hierbei war die Umgebung in lediglich zwei Regionen unterteilt und bei jeder Aufgabe existierten mindestens zwei gleich lange Routen. Dabei wurde die Route, welche die Zielregion am schnellsten erreichte, bedeutsam häufiger gewählt, was somit die dritte Hypothese, also die hierarchical-planning hypothesis unterstützt.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Regionen im Spatial Memory explizit repräsentiert werden, was auch mit den bisherigen Ergebnissen bezüglich der hierarchischen Gliederung übereinstimmt. Basierend auf der *Hierarchical-Planning-Hypothesis* wurde ein Modell zur Navigation entwickelt, die *Fine-to-Coarse Planning Heuristic*. Diese besagt, dass im Arbeitsgedächtnis stets eine Repräsentation entsprechend dem Blickfeld basierend auf Informationen aus dem Langzeitgedächtnis generiert wird, eine *Focal Representation*. In dieser sind die momentane Position sowie die nahe Umgebung in einer fein-granularen Stufe repräsentiert, also mit vielen Details und so exakt wie möglich. Entfernte Orte sind hingegen lediglich auf einer grob-granularen Stufe repräsentiert und somit lediglich in Form der übergeordneten Regionen. Wird nun eine Route gestartet, wird zunächst ein detaillierter Plan für die nahe Umgebung entworfen, was die Möglichkeit eröffnet, sofort Bewegungsentscheidungen zu treffen. Während der Bewegung muss dann allerdings der Routenplan stets erneuert und erweitert werden. Um dies zu ermöglichen, wird die Focal Representation während der Bewegung ständig aktualisiert und entsprechend kann auch der Routenplan aktualisiert werden. Hierdurch wird Belastung für das Arbeitsgedächtnis reduziert, da dieses nicht die gesamte Route auf dem höchsten Detaillevel vorhalten muss. Der Routenplan benötigt hierdurch ebenfalls weniger Platz im Gedächtnis, da er nur für einen kleinen Teilbereich in der vollen Detailstufe erstellt und dann nach und nach aktualisiert wird (siehe Abbildung 3.10).

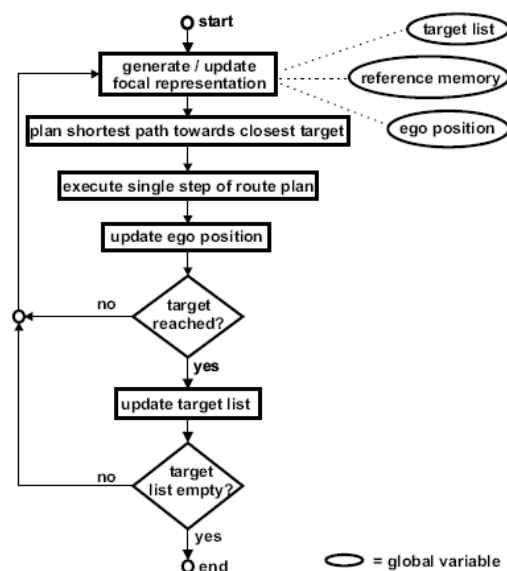


Abbildung 3.10: Die Fine-to-Coarse Planning Heuristic von [Wiener 2004].

Dieses Modell wurde mit zwei weiteren Modellen in Folgeexperimenten auf seine Tauglichkeit geprüft. Die Aufgabe in den Folgeexperimenten bestand darin, mehrere Ziele zu besuchen, wobei die Reihenfolge frei wählbar war:

**Cluster-strategy:** [Cramer & Gallistel, 1997] konnten diese erstmalig beobachten. Dabei wurden Affen untersucht, welche, wenn sie die Wahl hatten zwischen einer kleinen und einer großen Futterstelle, immer zunächst die große aufsuchten. In den hier durchgeführten Folgeexperimenten wurde vorhergesagt, dass Personen zunächst die Regionen aufsuchen würden, in welchen mehrere Ziele vorhanden sind.

**Least-decision strategy:** Diese besagt, dass bei einer Auswahl von mehreren möglichen Pfaden, zumeist der bevorzugt gewählt wird, welcher die Anzahl an Bewegungsentscheidungen minimiert, also zum Beispiel wenig Richtungsänderungen enthält – hierdurch, so wird vermutet, soll die Gefahr gemildert werden, die Orientierung zu verlieren und sich in der Umgebung zu verirren..

Letztlich zeigte sich hierbei, dass alle drei Strategien gemeinsam am besten das Verhalten der Versuchspersonen vorhersagen konnten, also keine Strategie alleinige Verwendung fand. Dies ist allerdings bei der Vielfalt an möglichen Navigationsstrategien und kognitiven Systemen, die diese unterstützen auch nur wahrscheinlich und bestätigt wiederum, dass Menschen nicht auf einzelne Navigationsstrategien angewiesen sind, sondern für jede Aufgabe aus einer Vielzahl schöpfen können.

In einem abschließenden fünften Experiment von Wiener sollte das Lernen einer Umgebung mit Hilfe von Regionen untersuchen. Dabei wurden Versuchspersonen wieder in eine virtuelle Umgebung gesetzt, dieses Mal jedoch ohne Trainingsphase. Dabei wurden die Versuchspersonen zwei Gruppen zugeteilt – die erste Gruppe wurde in eine Umgebung mit Regionen und die Zweite in eine Umgebung ohne Regionen gesetzt. In beiden Fällen mussten Objekte innerhalb der Umgebung gefunden werden, wobei mehrere Durchläufe gemessen wurden, um das Lernverhalten zu untersuchen. Die Hypothese lautete, dass die Unterteilung in Regionen sehr schnell den Lernprozess unterstützen und somit auch bereits nach kurzer Zeit in die räumliche Repräsentation kodiert werden würde. Zudem wurde vermutet, dass durch die Hierarchisierung etwaige noch fehlende Detailinformation besser ausgeglichen werden kann. Beispielsweise könnte man durch Regionenwissen die Suche nach einem Objekt zumindest auf eine Region einschränken, selbst wenn die exakte Position des Objekts innerhalb dieser Region völlig unbekannt ist. Die Ergebnisse konnten hierbei zeigen, dass bereits nach dem ersten Durchlauf die Personen, welche die Umgebung mit Regionen lernten, signifikant schneller zu ihren Zielen fanden, als jene ohne Regionen. Man kann daher davon ausgehen, dass die Vermutungen bestätigt wurden und die Regionen äußerst schnell kodiert wurden und daraufhin auch die Suche erleichterten.

Regionen scheinen also einen großen Einfluss sowohl auf das Erlernen einer neuen Um-

gebung als auch auf die Entscheidung für eine bestimmte Route zu haben.

### 3.6 Kann räumliches Wissen automatisch aufgenommen werden?

Navigation und Orientierung sind für jeden Menschen alltägliche Prozesse. Befindet man sich in einer gut bekannten Umgebung, so kann man sich zumeist mit minimalem kognitivem Aufwand in dieser bewegen. Der Vorteil liegt dabei darin, dass genügend kognitive Kapazitäten frei bleiben, um weitere Aktivitäten parallel auszuführen. Ein beliebtes Beispiel, um dies weiter zu illustrieren, ist das Autofahren. Auf bekannten Strecken und mit ausreichender Fahrerfahrung können die meisten Menschen sich problemlos mit ihrem Beifahrer unterhalten oder Radio hören. Sobald man sich aber in einer unbekanntem Umgebung wieder findet, stellen viele das Radio leiser oder bitten ihren Beifahrer kurz um Ruhe beziehungsweise um Unterstützung bei der Navigation. Die kognitiven Kapazitäten werden nun beinahe vollständig für die Verarbeitung der neuen Informationen benötigt. Da man sich aber trotzdem in den meisten Fällen nach einiger Zeit zurechtfindet, stellt sich die Frage, ob eventuell zumindest Teile der räumlichen Informationen durch das Gehirn automatisch verarbeitet werden um hier unterstützend zu wirken. Wenn dies wirklich so ist, dann stellt sich als nächstes die Frage, welche Information denn genau weitgehend automatisch verarbeitet wird?

[van Asselen, 2005] ist diesen Fragen im Detail nachgegangen. Als erstes muss hierfür allerdings genauer definiert werden, was „automatisch verarbeitet“ bedeutet und wie sich dies messen lässt. [Hasher & Zacks 1979] haben einige Kriterien vorgeschlagen, welche automatische von kognitiv belastenden Prozessen differenzieren. Nach dieser Theorie benötigen automatische Prozesse minimale mentale Beanspruchung um Informationen zu kodieren und zudem konkurrieren sie nicht mit anderen kognitiven Prozessen um freie Kapazität. Dementsprechend dürften nach [van Asselen, 2005] automatische Prozesse weder durch Übung, noch durch gleichzeitige Prozesse, Altern oder der Intention Informationen zu lernen, beeinflusst, sprich, verbessert oder verschlechtert werden. Im Gegensatz dazu werden kognitive beanspruchende Prozesse von diesen Aspekten beeinflusst. [Hasher & Zacks 1979] stellten in ihrer Arbeit zudem die Hypothese auf, dass Spatial Memory in diesem Sinne automatisch arbeitet, also Informationen automatisch kodiert werden.

Hinsichtlich des Einflusses von Übung konnten [Lindberg & Gärling 1983] bereits zeigen, dass diese die Navigation bezogen auf die Aneignung von Ortsinformationen inklusive Richtungs- und Distanzinformationen verbesserte. Dies lässt darauf schließen, dass für die Verarbeitung von Routeninformationen ein kognitiver Aufwand notwendig ist.

Die Frage, inwieweit eine parallele anspruchsvolle Aufgabe die Navigationsleistung be-

einflusst, wurde von [Allen & Willenborg 1998] untersucht. Eine Route wurde dabei in Form von einzelnen Folien präsentiert und anschließend der Einfluss der parallelen Aufgabe auf die Landmarkenerkennung, Distanzschätzungen sowie Kartenprüfung untersucht. Die Ergebnisse zeigten wiederum, dass die Navigationsleistung unter der parallelen Aufgabe litt. Auf ähnliche Art und Weise untersuchten [Albert, Reinitz, Beusmans & Gopal 1999] den Einfluss einer parallelen Aufgabe auf einzelne Aspekte des Routenlernens. Dabei verschlechterte sich die Leistung der Probanden hinsichtlich des Erinnerns einer Sequenz von Landmarken, dem Erinnern von Richtungsentscheidungen an Landmarken, der Fähigkeit Routen und Landmarken zu verknüpfen und der Fähigkeit ein Überblickswissen zu bilden. Nach [van Asselen, 2005] sollte hier allerdings Vorsicht angebracht sein, da nicht klar ist, ob die kognitiven Prozesse die für eine imaginäre Navigation mit Hilfe von Folien die selben sind wie für die Navigation in der realen Welt und dementsprechend mehr Aufmerksamkeit benötigen könnten. Allerdings konnte Lindberg & Gärling [1981] ähnliche Ergebnisse bei tatsächlicher Bewegung feststellen.

[Lipman, 1991] konnte zeigen, dass bezüglich des sich Erinnerns an Landmarken zwischen alten und jungen Menschen nur geringe Unterschiede bestehen – allerdings konnten alte Menschen die Reihenfolge von besuchten Landmarken weniger gut wiedergeben. [Wilkniss et al., 1997] konnten dies bestätigen und fanden zudem heraus, dass bei weiteren Navigationsaufgaben ältere Menschen im Gegensatz dazu schlechter abschnitten. Dies lässt die Vermutung zu, dass das Speichern von Landmarken weitgehend automatisch erfolgt, da es nicht, wie die anderen Navigationsleistungen, durch das Altern eingeschränkt wird [van Asselen, 2005].

[Magliano et al., 1995] untersuchten den Einfluss von Intention auf den Lernprozess. Sie gaben ihren Versuchspersonen die Aufgabe, bei der nachfolgenden Präsentation einer Route durch eine kleine Stadt mit Hilfe von einzelnen Folien auf spezielle Aspekte zu achten. Beispielsweise sollte besonders auf Landmarken geachtet werden oder auf Routen oder Konfigurationen von Routen. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich Landmarkenwissen und Routenwissen durch die Vorgaben nicht verbesserte, wohl aber Überblickswissen, also das Bilden einer kognitiven Karte. Bei [Magliano et al., 1995] könnte allerdings wiederum die Folienpräsentation kritisiert werden, welche vermuten lässt, dass die Probanden diese generell mit einer hohen Aufmerksamkeit betrachteten. [van Asselen, 2005] verwendete daher eine Methodik, bei welcher sichergestellt werden sollte, dass in der Vergleichsbedingung der Umgebung keine bewusste Aufmerksamkeit geschenkt wird. Auf Basis der bisherigen Literatur vermuteten die Autoren, dass das Speichern von Landmarken sowie das Speichern der Reihenfolge von Landmarken automatisch verarbeitet werden würde. Um ein Überblickswissen aufzubauen wurde jedoch vermutet, dass hier mehr kognitiver Aufwand notwendig ist und somit intentionales Lernen diesen Prozess verbessern würde.

In dem Experiment mussten die Versuchspersonen eine Route durch ein Gebäude laufen – im Falle der *incidental learning* Gruppe, in welcher die Versuchspersonen die Route beiläufig lernen sollten, wurde diesen gesagt, dass das Experiment in einem anderen

Raum stattfinden würde. Daraufhin folgten sie einer Person, welche sie zu dem neuen Raum bringen sollte, auf der Experimentalroute durch das Gebäude. Die *intentional learning* Gruppe, welche also bewusst die Route lernen sollte, wurde instruiert, genau das zu tun, also sich jegliche Elemente auf der Route genau einzuprägen. Beim Wiedererkennen von Landmarken wurden den Versuchspersonen 22 Bilder auf einem Bildschirm präsentiert, auf denen jeweils eine Landmarke abgebildet war. Diese waren auf der Route entweder an Pfaden oder an Entscheidungspunkten, beispielsweise ein Computer an einer Ecke, angebracht. Zwölf der präsentierten Landmarken waren tatsächlich entlang der Route positioniert gewesen, zehn weitere jedoch nicht. Die Versuchspersonen mussten entscheiden, ob die präsentierte Landmarke Teil der Route gewesen war oder nicht. Der *Landmark Ordering Task* sollte das Erinnern einer Sequenz von Landmarken prüfen. Dabei wurde den Personen sieben ausgedruckte Bilder von Landmarken auf der Route ausgehändigt, welche von den Personen in die korrekte zeitliche Abfolge gebracht werden mussten. Weitere Aufgaben waren das Zeichnen einer Karte der Route, die Route rückwärts erneut zu begehen sowie das Schätzen der Länge der Route. Die Hypothesen konnten dabei weitgehend bestätigt werden. So wurden bezüglich der Aufgaben zum Wiedererkennen und zeitlichen Ordnen von Landmarken keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt – für die anderen Aufgaben aber sehr wohl. Dies lässt darauf schließen, dass das Lernen einer einzelnen Route weitestgehend automatisch abläuft und erst das Bilden einer kognitiven Karte mental beanspruchend ist. Dies ist insofern überraschend, da es vermuten lässt, dass Landmarken- und Routenwissen früher entsteht als Übersichtswissen. Allerdings muss hierbei beachtet werden, dass eine kognitive Karte zu Beginn durchaus fehlerbehaftet und unvollständig sein kann. Dass mit Hilfe erhöhter Aufmerksamkeit dieser Umstand verbessert werden kann, ist daher keine Überraschung und widerspricht auch nicht einem Modell, bei welchem Routenwissen und Überblickswissen zeitlich parallel entstehen.

### **3.7 Welche Unterschiede existieren zwischen virtuellen Umgebungen und der realen Umwelt?**

Virtuelle Umgebungen, also per Computer simulierte dreidimensionale Umgebungen, werden seit Ende der 90er Jahre intensiv zur Erforschung von Wayfinding und räumlichen Verhalten im Allgemeinen verwendet. Die Gründe hierfür sind sowohl vielfältig als auch einleuchtend. Mittels einer virtuellen Umgebung lässt sich die Versuchssituation deutlich besser kontrollieren. Es können beispielsweise problemlos Eigenschaften der Umgebung verändert werden; es kann mit abstrakten sowie auch mit möglichst wirklichkeitsgetreuen Umgebungen experimentiert werden; für alle Teilnehmer herrschen die gleichen Voraussetzungen, das Vorwissen ist also kontrollierbar. Daraus folgt, dass deutlich besser untersucht werden kann, welche Elemente der Umgebung letztlich für die Navigationsprozesse notwendig sind und Verwendung finden. Die Schwierigkeit bei all diesen Vorteilen ist allerdings, dass hierfür auch gewährleistet sein muss, dass Ergeb-

nisse zwischen einer virtuellen Umgebung (im Folgenden mit VR für virtuelle Realität abgekürzt) und einer realen Umgebung (im Folgenden mit R für Realität abgekürzt) übertragbar sind. Konkret heißt das, dass die gleichen Navigationsstrategien verwendet werden und auch die Leistung zumindest im Verhältnis gesehen gleich bleibt – also nicht nur speziell eine Navigationsstrategie unter der VR schlechter abschneidet. Diese Übertragbarkeit ist keinesfalls selbstverständlich, wie eine Auflistung einiger der in diesem Ansatz inhärenten Probleme zeigt. So reduziert sich die Wahrnehmung oftmals auf den visuellen Sinn, da keine propriozeptiven oder vestibulären Sensoren angesprochen werden: Die Versuchsperson steuert ihr virtuelles Ego beispielsweise per Maus oder Joystick oder wird gar von einer dritten Person gesteuert. Immersion ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Der Proband sollte sich wenn möglich in der virtuellen Umgebung „verlieren“, also ganz in ihr eintauchen und die Tatsache, dass es sich um eine virtuelle Umgebung handelt, am besten vergessen. Hierzu gehört zum einen eine möglichst realitätsnahe Darstellung – zum anderen aber auch die Größe und Form des „Bildschirms“. Panoramawände wie jene im Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen<sup>2</sup> ermöglichen durch ihre Konstruktion ein fast vollständiges Eintauchen. Ein gewölbter 180° Halb-Zylinder wird hier von mehreren Projektoren angestrahlt, welche zudem auch den Boden vor und bis kurz hinter den Standpunkt der Versuchsperson anstrahlen. Hierdurch sind lediglich die Decke sowie die Umgebung hinter dem Benutzer nicht in die virtuelle Umgebung integriert. Dies hat den Vorteil, dass neben internen Referenzpunkten kaum noch externe Referenzsysteme auftreten, die mit den internen in Konflikt treten könnten. Im Vergleich hierzu können bei einem normalen 19” Bildschirm immer noch Objekte um den Bildschirm herum sowie dessen Begrenzung selbst ein Referenzsystem bilden, welches das Eintauchen erschwert, da bei Orientierungs- und Navigationsaufgaben eventuell auch dieses mit zur Lösung herangezogen wird.

An den Problemen wird auch deutlich, dass eine virtuelle Umgebung auf vielfache Art und Weise gestaltet werden kann. Teilweise unterliegen diese Möglichkeiten aber Machbarkeitsbeschränkungen – die oben genannte Panoramawand ist allein schon aus Kostengründen nicht für jeden Forscher erschwinglich. Eine generelle Schlussfolgerung, dass Ergebnisse zwischen VR und R übertragbar sind, wird hierdurch erschwert, wenn nicht sogar unmöglich gemacht. Oftmals wird diese Problematik „verschleiert“ indem vorgeschlagen wird, eine VR möglichst realitätsnah zu gestalten. Dementsprechend wurden beispielsweise auch Designrichtlinien für virtuelle Landmarken erstellt [Vinson, 1999], welche allerdings lediglich die Merkmale von Landmarken wiedergeben, wie sie von Lynch und anderen aufgestellt und in dieser Arbeit in Kapitel 3.2.1 vorgestellt wurden.

[Singer et al., 1997] haben mehrere virtuelle Umgebungen miteinander verglichen, welche sich in den folgenden Kriterien unterscheiden:

- Interaktivität: Hoch vs. Niedrig
- Landmarkeneigenschaften: Auffällig vs. Unauffällig sowie Nah vs. Fern

---

<sup>2</sup><http://www.kyb.mpg.de>



- Verweilzeit in der Umgebung: Kurz vs. Lang

Hierbei zeigte sich, dass diese unterschiedlichen Merkmale hochgradig Interaktionseffekte aufweisen. Beispielsweise beeinflusste eine hohe Interaktivität die Ergebnisse lediglich in der nicht-markanten Umgebung. Die Entfernung von Landmarken wiederum wies nur Einflüsse in der markanten Umgebung auf. Weiterhin wurden manche „Messgrößen“ beeinflusst und andere wiederum nicht. Mit längerer Verweildauer wurde zwar die Genauigkeit von Richtungsschätzungen zu Landmarken besser, allerdings nicht die Distanzschätzung zu diesen. Inwieweit die Ergebnisse dieser Studie zudem von einem eher niedrig auflösenden *Head-Mounted Display* (HMD) beeinflusst wurden, ist nur schwer abschätzbar.

Kleine Änderungen an einer VR können somit bereits große Auswirkungen auf die Übertragbarkeit haben – ebenso stellt sich aber auch die Frage, was gemessen wird, da manche Messgrößen beeinflusst werden und andere nicht. Es sind zudem noch weitere Unterschiede denkbar. Beispielsweise kann mit einem HMD auch in so genannten *Free Walking Areas* experimentiert werden, wodurch bewegungssensorische Informationen integriert werden können – dafür jedoch der eigene Körper nicht mehr als Referenzsystem verwendet werden kann, was die Bewegung für die Person letztlich trotzdem noch künstlich und unreal erscheinen lässt. Auch bei der Frage, wie eine VR präsentiert wird, werden viele Varianten verwendet. So steht die aktive Exploration, sei es zu Fuß per HMD oder mit Hilfe von Eingabegeräten einer passiven Exploration gegenüber, beispielsweise wenn der Versuchsleiter die Bewegung steuert, lediglich ein Film oder gar nur Folien gezeigt werden. Auch die Art der gewählten Umgebung spielt eine Rolle – beispielsweise ob innerhalb von Gebäuden, in einer Stadt oder der freien Natur.

[Ruddle et al., 1997] haben mit großformatigen Gebäuden experimentiert. Dabei wurde zwar eine VR auf einem Standard PC Bildschirm angezeigt (Desktop-VR), wodurch konstruktionsbedingt keine hohe Immersion geschaffen werden kann, trotzdem zeigten die Probanden gute Leistungen bezogen auf Richtungsschätzungen, Distanzschätzungen und Routenfinden, welche vergleichbar mit denen in realen Gebäuden waren. [Péruch et al., 2000] haben den Effekt untersucht, inwieweit Umfang und Qualität einer VR, welche als Kopie einer R erstellt wird, dazu beitragen, das virtuell erworbene Wissen auf die reale Umgebung zu übertragen. Hierbei wurde ebenfalls eine Desktop-VR verwendet. Insgesamt mussten drei VR gegeneinander antreten, wobei alle einen realen Universitäts-Campus abbildeten. Die *poor*-Umgebung stellte dabei nur einen Teil der Gebäude mit wenigen Details dar. Die *medium*-Umgebung erhöhte die Gebäudeanzahl und fügte noch zusätzliche Elemente wie große Straßen hinzu. In der *rich*-Umgebung waren dann letztlich noch mehr Details vorhanden, beispielsweise auch Vegetationselemente. Die Probanden lernten zunächst die virtuelle Umgebung, wobei jede Gruppe lediglich mit einer Variante konfrontiert wurde. Anschließend wurde dieses Wissen in der realen Umgebung getestet, wobei Richtungsschätzungen, Schätzungen der zurückgelegten Distanz sowie Distanzschätzungen zu anderen Orten auf dem Campus von sechs unterschiedlichen Positionen aus gemessen wurden. Dabei konnte festgestellt werden, dass die

Distanzschätzungen in allen drei Varianten nahezu unverändert blieben. Die Schätzung der zurückgelegten Distanz, sowie die Richtungsschätzungen konnten aber von der medium und der rich Umgebung signifikant im Vergleich zur poor Umgebung profitieren – zwischen medium und rich konnte allerdings kein weiterer Unterschied mehr festgestellt werden, was den Schluss zulässt, dass völlige Realitätstreue nicht zwangsläufig zu einer höheren Leistungsfähigkeit führt. Beachtenswert ist, dass selbst in der poor Umgebung noch einiges an Wissen aus der VR in die R transferiert werden konnte.

[Klatzky et al., 1990] testeten Kinder (9-12 Jahre), denen sie entweder einen Film von einer Umgebung zeigten oder die diese Umgebung real erfahren durften. Dabei gab es zwischen den beiden Gruppen keinen Unterschied was das Wiedererkennen von Szenen betrifft (*Scene Recognition Task* – also z.B. Landmarken wieder erkennen). Bei Routenwissen sowie Überblickswissen konnten allerdings deutliche Vorteile der Real-Gruppe gemessen werden. Hier benötigten die Video-Kinder fünf Videosessions, um in etwa die gleiche Leistungsfähigkeit zu erreichen.

[Sellen, 1998] verglich das Schätzen von Richtungen in einer bekannten Umgebung zwischen R und VR – der Innenstadt von Tübingen. Probanden, welche seit mehreren Jahren in Tübingen lebten, wurden in einer virtuellen Version von Tübingen oder in der realen Stadt gebeten, in die Richtung von spezifischen Orten zu zeigen. Dabei konnten nur minimal schlechtere Ergebnisse in der virtuellen Version festgestellt werden. Das Wissen aus der realen Umgebung kann nach dieser Untersuchung also weitestgehend problemlos in die virtuelle Umgebung transferiert werden.

[Péruch et al., 2000] verglichen in der oben bereits zitierten Studie in einem weiteren Experiment ebenfalls zwei Gruppen, welche denselben Campus entweder real oder virtuell erlernten. Anschließend mussten beide Gruppen in beiden Umgebungen Richtungs- und Distanzschätzungen durchführen – jeweils zuerst in der Realität und dann in der virtuellen Realität. Die Reihenfolge der Umgebungen wurde also nicht permutiert, was die Interpretation der Ergebnisse teilweise erschwert. Im Endeffekt konnte die Real-Gruppe in beiden Umgebungen bessere Ergebnisse erzielen, welche jedoch lediglich in der VR signifikant besser waren als die der VR-Gruppe. Zudem schnitt die R-Gruppe in beiden Umgebungen ungefähr gleich gut ab, wohingegen die VR-Gruppe in der R-Umgebung bessere Ergebnisse erzielte als in der VR-Umgebung. Hierbei wird dieser Effekt womöglich noch verstärkt, da davon ausgegangen werden kann, dass die Testaufgaben in der Realität den anschließenden Test in der VR noch beeinflussten, indem in der R noch weiteres Wissen erworben werden konnte. Insgesamt kann festgehalten werden, dass ein Transfer von Realität zu virtueller Realität möglich scheint, was die Ergebnisse von [Sellen, 1998] bestätigt. Weiterhin scheint auch ein Transfer von VR in die R möglich. Inwieweit aber die Leistungen zwischen beiden Umgebungen vergleichbar sind, ist schwerer abschätzbar, da die Reihenfolge der Testumgebungen nicht variiert wurde und somit die erwähnten Lerneffekte vermutet werden können.

[Platzer, 2005] ging ebenfalls der Frage nach, inwieweit VR auf R übertragbar ist. Dabei

wurden 58 Versuchspersonen sowohl einer realen Umgebung als auch einer VR ausgesetzt. Das besondere an dem Versuchsdesign war hierbei, dass zwischen Lernen der Umgebung in der Realität beziehungsweise virtueller Realität und dem Test eine Woche verging, um eine möglichst realistische Versuchssituation zu schaffen. Die Hälfte der Teilnehmer lernte die Umgebung in der Realität, die andere in der VR – während des Tests wurde dann die Reihenfolge von R und VR wiederum permutiert, was zu insgesamt vier Versuchsgruppen führte. Bei dem Versuch wurde auf eine Panoramawand zurückgegriffen, um die VR darzustellen. Untersucht wurden dabei zum einen die Navigationsleistung im Sinne von erfolgreichem Finden des gelernten Zieles sowie die Verwendung unterschiedlicher Navigationsstrategien mit Hilfe von Lautem Denken Methoden und Interviews nach Ende der Navigation. Dabei stellte sich wiederum heraus, dass die Probanden, welche die reale Umgebung gelernt hatten, zumindest in der Realität eine bessere Leistung erbrachten als jene, welche die Umgebung in der VR gelernt hatten. Die Leistung in der VR nahm allerdings auch bei der Real-Gruppe deutlich ab, im Gegensatz zu dem Experiment von [Péruch et al., 2000]. Bezüglich der Navigationsstrategien konnte allerdings festgestellt werden, dass in der virtuellen Realität hier keine Einschränkung vorliegt, sprich die Probanden auf die gleichen Strategien zurückgriffen, diese aber wohl nicht in qualitativ gleicher Weise umsetzen konnten. Dies ist insofern etwas überraschend, da in der VR lediglich visuelle Reize geboten wurden und somit auf andere Sinnesinformationen nicht zurückgegriffen werden konnte. Es stellt sich hier die Frage, ob eine Verwendung beispielsweise von Path Integration nur schwer durch Lautes Denken und Interviews erfasst werden kann, insbesondere wenn diese Navigationsstrategie nicht allein, sondern in Kombination mit anderen Verwendung findet.

Zusammenfassend gesehen deuten die bisherigen Studien darauf hin, dass eine Übertragbarkeit des erworbenen Umgebungswissens zwischen Realität und virtueller Realität als relativ gesichert angesehen werden kann, wohingegen in der anderen Richtung, also von virtueller Realität in die Realität noch weitere Fragen offen bleiben. Zumindest scheinen dieselben kognitiven Repräsentationen aufgebaut werden zu können, wenn auch nicht in gleicher Qualität wie in einer realen Umgebung. Aufgrund der vielen verschiedenen möglichen Varianten einer VR bleibt allerdings fraglich, ob hier jemals eine eindeutige Antwort möglich sein wird. Zu viele Experimente wären wohl notwendig, um hier jeglichen Zweifel auszuräumen beziehungsweise genau definieren zu können, welche Merkmale in welcher Ausprägung, welchen Einfluss auf die Übertragbarkeit haben.

### **3.8 Wie kann Orientierungs- und Navigationsleistung gemessen werden?**

Das Messen einer mentalen Repräsentation ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden, denn diese muss dabei in irgendeiner Form externalisiert werden. Ob das dann messbare Routen- oder Überblickswissen aber wirklich der mentalen Repräsentation entspricht

oder etwa fehlerbehaftet ist und beispielsweise nur einen Teilbereich dieses Wissens abdeckt, lässt sich wiederum kaum beurteilen. Das Messen von Navigation und Orientierungsleistung kann sowohl direkt aktiv im Feld als auch passiv durch verschiedenste retrospektive Tests geschehen. In beiden Fällen wird eine Umgebung zunächst entweder real oder virtuell erkundet. Real meint hier die aktive Erkundung der realen Umgebung. Virtuell schließt in diesem Fall auch die Präsentation von Videomaterial, Folien, verbalen Beschreibungen oder Karten ein.

### 3.8.1 Landmarkenwissen

Um Landmarkenwissen zu testen, gibt es nach [Satalich, 1995] drei gängige Verfahren. Das erste ist der *Landmark Recognition Task* bei welchem dem Proband sowohl Landmarken gezeigt bekommt, welche in der gelernten Umgebung vorhanden waren, als auch welche, die nicht vorkamen. Der Proband muss nun entscheiden, ob er die Landmarken gesehen hat oder nicht. Dadurch lässt sich beispielsweise auch Testen, ob gewisse Merkmale und Objekte in einer virtuellen Umgebung häufiger als Landmarken eingesetzt werden als andere und daher auch besser erinnert werden – beispielsweise abhängig von der Position oder den Landmarkeneigenschaften. Im *Landmark Placement Task* müssen die Probanden auf einer Karte der zuvor gelernten Umgebung Landmarken an die richtigen Stellen setzen. Vermutlich kann hierdurch in gewisser Weise auch das Vorhandensein einer kognitiven Karte geprüft wird, da die Landmarken in einer ungewohnten Überblicksperspektive platziert werden müssen. Als dritte Möglichkeit nennt [Satalich, 1995] den *Landmark Orientation Task*, welcher auch als *Directional Pointing Task* bezeichnet wird. Dabei müssen die Versuchspersonen auf entfernte Landmarken zeigen, während sie in der Umgebung unterwegs sind. Die Winkelabweichung kann daraufhin gemessen werden und somit die Genauigkeit bestimmt werden. [Sellen, 1998] führte derartige Richtungsschätzungen beispielsweise in der bereits genannten Studie in Tübingen sowohl in der Realität als auch in einer virtuellen Umgebung durch und verglich daraufhin die jeweiligen Abweichungen der Schätzungen von der korrekten Richtung – diese waren dabei in beiden Umgebungen nahezu identisch. Bei dieser Art von Test ist ebenfalls Überblickswissen notwendig, da das Zielobjekt ins Verhältnis zu anderen Objekten gesetzt werden muss, um die exakte Richtung zu bestimmen.

### 3.8.2 Routenwissen

Um Routenwissen zu testen, werden nach [Satalich, 1995] vornehmlich zwei Verfahren herangezogen. Das erste verlangt von den Probanden das Schätzen der Distanz einer zurückgelegten Route und nennt sich *Route distance Estimation Task*. Dabei kann unterschieden werden zwischen der aktuellen Position und einer zuvor passierten Landmarke oder zwischen zwei Landmarken. In beiden Fällen geht es allerdings um die wirkliche

Route, also nicht um Luftlinienschätzungen. Trotzdem erscheint es denkbar, dass auch hier Überblickswissen die Aufgabe erleichtern kann, insbesondere wenn die Distanz der Route zwischen zwei Objekten geschätzt werden soll. Das zweite Verfahren nennt sich *Landmark Sequencing* und verlangt vom Probanden, zumeist auf Bildern präsentierte Landmarken in die zeitliche Reihenfolge des Auftretens auf einer Route zu bringen. Weiterhin ist es aber auch möglich, Routenwissen im Feld zu messen, indem beispielsweise eine gelernte Route von den Probanden ohne Hilfe wiederholt werden muss. Dabei kann dann die benötigte Zeit oder die Anzahl der Fehler an Entscheidungspunkten gemessen werden.

### 3.8.3 Überblickswissen

Um Überblickswissen zu testen nennt [Satalich, 1995] den *Euclidean Distance Estimation Task*, bei welchem die Luftlinien-Distanz zwischen zwei Objekten oder zwischen Betrachter und Objekt geschätzt werden soll. Da hierzu beispielsweise auch Schätzungen der Distanz zwischen zwei Landmarken erfolgen, welche keine direkte Routenverbindung aufweisen, ist Überblickswissen erforderlich. Eine weitere Möglichkeit im Feld zu messen besteht darin, die Personen anzuweisen, eine neue Route zu einem bekannten Ziel zu finden (z.B. eine Abkürzung). Retrospektiv kann Überblickswissen getestet werden, indem Probanden gebeten werden, eine Karte der gelernten Umgebung anzufertigen oder beispielsweise mit Legosteinen, diese „nachzubauen“. Das „Messen“ wird hierbei allerdings erschwert, da dies zumeist zu sehr vielfältigen und kaum vergleichbaren Resultaten von unterschiedlichen Personen führt.

In allen drei Fällen kann auch versucht werden, über Befragungen, sei es direkt bei der Erkundung (z.B. über Lautes Denken) oder im Nachhinein, Informationen über Aufbau und Struktur der mentalen Repräsentation zu erfahren. Insbesondere die Frage, welche Art von Navigationsstrategien in einzelnen Aufgaben verwendet wurde, beispielsweise beim Finden von neuen Routen zu bekannten Landmarken, ist hier von Interesse.

### 3.8.4 Schwierigkeiten des Messens

Ein Problem, welches [Platzer, 2005] anspricht und *Focus of Attention* nennt, basiert auf der Vermutung, dass mentale Repräsentationen sehr unterschiedlich sein können, je nach den momentanen Zielen und Aufgaben, die eine Person bei der Erstellung dieser hat. Beispielsweise werden manche Personen ihre mentale Repräsentation mit Hilfe von Straßen strukturieren während andere hierzu fast ausschließlich U-Bahn Netze verwenden – je nach bevorzugter Fortbewegungsweise. Dementsprechend bleiben hierdurch andere Landmarken im Gedächtnis oder es werden überhaupt unterschiedliche Objekte als Landmarken verwendet. Wenn in einem Experiment den Versuchspersonen eine Umgebung präsentiert wird, so kann der Aufbau eines mentalen Modells entscheidend

davon abhängen, welche Motivation den Probanden mit auf den Weg gegeben wird. Weiterhin beeinflusst die Messmethode in gewisser Weise auch die Ergebnisse [Platzer, 2005]. Die Probanden versuchen dabei, ihr räumliches Wissen der Fragestellung entsprechend aufzubereiten und wiederzugeben. Falls die Untersuchung allerdings zum Ziel hatte, herauszufinden, wie genau Informationen im Gehirn repräsentiert sind, sind hier leicht Fehlinterpretationen möglich. Denn letztlich besteht die Gefahr, dass die verwendete Messmethoden lediglich überprüft, inwieweit die Repräsentationen flexibel an eine bestimmte Fragestellung anpassbar sind. Bei der Messung von Überblickswissen durch das Zeichnen einer Karte kommt noch hinzu, dass die meisten Menschen schon mit topographischen Karten gearbeitet haben und somit eventuell versuchen, diese in Form und Aufbau zu kopieren. Da eine kognitive Karte nicht die Form einer topografischen Papierkarte besitzt, ist hier in jedem Fall eine Transferleistung notwendig. Zudem spielen hier noch Dinge wie die Zeichenfähigkeit und auch Aspekte wie Kultur und sozialer Status eine Rolle [Sellen, 1998]. Eine eingeschränkte Zeichenfähigkeit könnte beispielsweise dazu führen, dass schwer zu zeichnende Objekte weggelassen werden, obwohl sie mental repräsentiert sind. Ähnlich haben Befragungstechniken das Problem, dass die Probanden manche Zusammenhänge vielleicht nicht klar formulieren können oder sich beispielsweise über manche Navigationsstrategien nicht wirklich bewusst sind. Insbesondere wenn mehrere Strategien gleichzeitig angewendet werden, neigen Versuchspersonen eventuell dazu, lediglich visuelle Strategien anzugeben.

Letztlich sollte man bei einer Messmethode, wie in jeder empirischen Forschung, hinterfragen, ob diese wirklich das misst, was man messen möchte. Also beispielsweise ob Distanzschätzungen dazu dienen, die Qualität einer kognitiven Karte zu messen oder vielleicht vielmehr die Fähigkeit, überhaupt eine Distanz abschätzen zu können, obwohl exakte Distanzen im Alltag kaum gebraucht werden und beispielsweise eher in Gehminuten als in Metern kommuniziert werden. Valider scheinen daher Methoden zu sein, welche die tatsächliche Navigationsleistung beobachten und daraufhin versuchen, deren Qualität zu beurteilen, beispielsweise indem die Zeit gemessen wird, die für eine Route benötigt wurde oder die Anzahl der Fehler.

### **3.8.5 Navigationsleistung erfassen durch psychometrische Tests?**

Die bisherigen Messmethoden erforderten immer, dass die Versuchspersonen eine Umgebung entweder real oder virtuell erkunden konnten beziehungsweise präsentiert bekamen. In Anbetracht von Kapitel 3.1 stellt sich natürlich die Frage, ob nicht ein einfacher psychometrischer Papier & Bleistift Test ausreichen könnte, um die Fähigkeit zu Orientierung und Navigation einer Person zu messen. Ähnlich wie bei den in Kapitel 2.1.5 genannten Untersuchungen zu dem Zusammenhang zwischen Spatial Ability und Mensch-Computer Performance wurde auch in Wayfinding und Cognitive Map Studien untersucht, ob derartige Tests mit den realen Leistungen korrelieren und diese somit in gewisser Weise vorhersagen können. Die Ergebnisse sind hierbei allerdings sehr ge-

mischt und von den Problemen geprägt, die bezüglich des Konstrukts der Spatial Ability schon in Kapitel 3.1.1 erwähnt wurden. Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Subkomponenten und dementsprechend auch hierfür passenden Tests – aber von diesen auf reale Aufgaben zu schließen gestaltet sich äußerst schwierig, zumal verschiedene Autoren teilweise Tests entwickelt haben, die Komponenten, welche andere Autoren getrennt betrachten, zusammenfassen. Zudem sind zum Lösen der Aufgaben in vielen Fällen unterschiedliche Strategien möglich, weswegen gerade bei den einfacheren Komponenten der Spatial Ability nicht immer zweifelsfrei geschlossen werden kann, dass wirklich ein Teil dieser gemessen wurde. Im Endeffekt führt dies daher dazu, dass in vielen Fällen [Allen, 1999] kein oder nur minimale Zusammenhänge gefunden wurden – der Vergleich der Studien aber ungemein schwer ist, da eben vielfach unterschiedliche Tests Verwendung fanden.

In einigen Studien welche auf VR zurückgriffen, konnten allerdings wiederum Zusammenhänge festgestellt werden [z.B. [Platzer, 2005], [Riecke, 2003] & Infield [1991]]. Dabei bleibt aber offen, ob der verwendete psychometrische Test eventuell nur besser die spezifischen Navigations- und Orientierungsaufgaben abgebildet hat – allerdings im Gegenzug weniger gut das Konstrukt der Spatial Ability. Aufgrund der Vielzahl an möglichen Wegfindungsaufgaben ist auf dieser Seite der Vergleichbarkeit, wie oben bereits deutlich wurde, natürlich ebenfalls ein Fehler möglich. Sprich es könnte den kuriosen Umstand geben, dass die Ergebnisse aus Spatial Ability Test und Navigations- oder Orientierungstest sehr gut miteinander korrelieren – keins von beidem aber wirklich das misst, was es messen soll – also Spatial Ability respektive Navigations- oder Orientierungsleistung.

Eine Subkomponente, welche nach [Allen, 1999] als einzige relativ konstant gute Zusammenhangsmaße bezüglich der Navigations- und Orientierungsleistung aufweist, ist das Visual Memory, welches zumeist auch als Visual-Spatial Memory bezeichnet wird. Bezogen auf das Spatial Memory Kapitel, kann darunter am ehesten der von [van Asselen, 2005] als Object-Location Memory bezeichnete Teil des Spatial Memory verstanden werden und somit die Fähigkeit, sich die Lokation oder die Identität von Objekten merken zu können. Bislang wurde ein derartiger Test allerdings nicht in Untersuchungen zu Navigation und Orientierung in der Mensch-Computer Interaktion eingesetzt. Beispieltests sind hierbei auch online verfügbar<sup>3</sup> und zumeist ähnlich wie das bekannte Memory Spiel aufgebaut.

[Platzer, 2005] verwendete einen Embedded Figures Test und konnte mit diesem recht gute Korrelationen zwischen Navigationsleistung (gemessen in benötigter Zeit, sowie Fehler) und den Testergebnissen erzielen. Bei diesem Test muss in einer komplexen Figur eine andere entdeckt werden, sozusagen das Rauschen gefiltert werden, um das eigentliche Objekt erkennen zu können. Inwieweit sich dieser Zusammenhang aber auch theoretisch begründen lässt und ob sich ähnliche Ergebnisse auch in weiteren Studien einstellen, muss sich noch zeigen. Eventuell besteht eine kognitive Hauptaufgabe bei der Navigation darin, in der überaus komplexen Umwelt die Elemente zu extrahieren, welche

---

<sup>3</sup>[http://discoveryhealth.queendom.com/visual\\_memory.html](http://discoveryhealth.queendom.com/visual_memory.html)

bei der Navigation und Orientierung helfen. Wer dies schneller kann, könnte eventuell auch bei einem derartigen Papier & Bleistift Test besser abschneiden.

Neben diesen empirischen Erkenntnissen sprechen auch einige weitere Punkte schon prinzipiell dagegen, dass psychometrische Tests problemlos auf die Navigations- und Orientierungsleistung übertragen werden können. So merken z.B. [Maguire et al., 1999] an, dass die meisten Tests schon in der Perspektive sich von realem Verhalten unterscheiden, indem sie im Gegensatz zu einer egozentrischen in der realen Umwelt, eine Überblicksperspektive bieten. Zudem ist die Information in einem Blickfeld erfassbar – großräumige Umgebungen zeichnen sich aber gerade dadurch aus, dass viele Objekte nicht im direkten Blickfeld sind, weil sie verdeckt werden oder hierzu die Perspektive verändert werden müsste. Zudem gibt es Untersuchungen von Patienten, mit Schädigungen am topographischen Gedächtnis, welche in solchen psychometrischen Tests keine Einschränkungen aufzeigen, jedoch bei der Navigation in der realen Umwelt durch diese Schädigung behindert werden [McCarthy et al., 1996] & [Habib & Sirigu, 1987]. [Maguire & Cipolotti, 1998] konnten dieses Phänomen auch anders herum beobachten – sprich ein Patient wurde durch seine Hirnschädigungen in psychometrischen Spatial Ability Tests eingeschränkt, konnte aber problemlos in der Umwelt navigieren und sich orientieren.

Es scheint, als dass auch hier noch weitere Forschung notwendig ist, um eindeutige Aussagen bezüglich des Zusammenhangs zwischen Spatial Ability und Navigations- und Orientierungsleistung treffen zu können. Die von [Rosch & Mervis, 1975] bereits vorgeschlagene und in Kapitel 3.1 kurz erwähnte Herangehensweise, Spatial Abilities mehr nach den Funktionen, wozu sie im Alltag konkret dienen, zu klassifizieren, könnte hier eventuell mehr Licht ins Dunkel bringen, da sie den Transfer zwischen der im Test zu lösenden Aufgabe und der konkreten Anwendung erleichtert.



## 4 Zusammenfassung & Fazit

In diesem Kapitel sollen die Erkenntnisse dieser Arbeit zunächst nochmals kompakt zusammengefasst werden, bevor anschließend ein abschließendes Fazit sowie ein Ausblick auf weitere interessante Aspekte erfolgen, welche in dieser Arbeit nicht näher behandelt werden konnten.

### 4.1 Zusammenfassung

#### 4.1.1 Teil 1: Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen

Im ersten Teil der Arbeit wurde das Konzept von zoombaren Benutzerschnittstellen (ZUI) vorgestellt, zum einen anhand des Zoomable Object-orientated Information Landscape Paradigmas und zum anderen anhand des konkreten Anwendungsbeispiels ZuiScat. Ersteres schlägt eine prinzipiell unendliche Informationslandschaft vor, in welcher Informationsobjekte direkt verortet werden – sowohl manuell als auch über automatische Zuordnung in Bereiche. Der Benutzer kann in dieser Informationslandschaft mittels Zoom- und Pan-Interaktionen navigieren und so sowohl in einer Überblicksdarstellung sämtliche Informationsobjekte in der Informationslandschaft präsentiert bekommen oder durch Zoom-In direkt auf Bereiche oder einzelne Objekte zugreifen. Hierbei wird eine Kombination aus geometrischem und semantischem Zoom verwendet, welche die Informationsobjekte zum einen vergrößert und zum anderen deren Informationsgehalt entsprechend der Darstellungsgröße anpasst. In einem Szenario mit persönlichen Dokumenten würde hierbei beispielsweise die Darstellung von einem kleinen Symbol, über das Anzeigen von Metadaten wie Autor und Titel des Dokuments bis zum vollständigen Dokument wechseln. Dieses kann daraufhin direkt in der Darstellung bearbeitet werden – ein Starten einer Applikation entfällt. Um eine gewisse Ordnung in der Informationslandschaft zu ermöglichen, sind die Informationsobjekte über unterschiedliche Metaphern zugänglich, die sich aufgrund der Metadaten ergeben. Im Falle des Dokumentenmanagement könnte beispielsweise eine Landkarte dazu verwendet werden, die jeweiligen Urlaubsfotos in den entsprechenden Ländern zu verorten. Oder eine Zeitstrahlvisualisierung könnte verwendet werden, um die Dokumente hinsichtlich ihres Erstellungsdatums anzuordnen.

Zoombare Benutzerschnittstellen ermöglichen es dem Benutzer somit in einer natürlichen, visuell-räumlichen Art und Weise zu navigieren. Da das menschliche Gehirn auf derartige Navigationsformen spezialisiert ist, können bezüglich der kognitiven Belastung Vorteile vermutet werden. Inwieweit aber mögliche Nachteile, wie z.B. der Verlust der Orientierung in diesem komplexen Raum, verhindert werden können, sollte anhand des Beispiels ZuiScat in den folgenden zwei Experimenten untersucht werden.

### ZuiScat Experimente

Das konkrete Anwendungsbeispiel ZuiScat basiert ebenfalls auf einer zoombaren Benutzerschnittstelle und wurde speziell für kleine Bildschirme, beispielsweise auf PDAs entwickelt. In diesem werden die Informationsobjekte jedoch in einem Punktdiagramm anhand von zwei Achsen positioniert, auf welchen entsprechende Metadaten abgebildet sind. Beispielsweise können hier persönliche Dokumente über Attribute wie Erstellungsdatum und Zugriffshäufigkeit abgetragen werden. Die hier zugängliche Informationslandschaft hat also nicht wie bei ZOIL einen unendlichen Charakter, sondern besitzt einen festen Rahmen und eine gewisse Struktur. Ähnlich wie bei ZOIL besteht jedoch die Gefahr, in der Tiefe des Informationsraums die Orientierung zu verlieren. Mit Hilfe von zwei Experimenten sollte am Beispiel des ZuiScat überprüft werden, inwieweit Techniken wie Overview+Detail oder Focus+Context diesen Umstand verbessern können.

Die Ergebnisse der Studien deuten daraufhin, dass zumindest in dem Falle eines abstrakten Informationsraumes wie er in einem Punktdiagramm abgebildet ist, eine Focus+Context Technik im Sinne einer Fischaug-Verzerrung am viel versprechendsten erscheint. Bei diesem kann ein interessanter Bereich des Punktdiagramms durch Zeichnen eines Rechtecks hervorgehoben werden, welches sich daraufhin vergrößert und etwa 75% des verfügbaren Platzes einnimmt. Daraufhin wird der Kontext, also der Teil des Informationsraumes, welcher nicht innerhalb des gezeichneten Rechtecks liegt, verkleinert und verzerrt um dieses Rechteck herum dargestellt. Hierdurch ist es dem Benutzer möglich, weiterhin zu erkennen, in welchem Bereich des Punktdiagramms er sich befindet und wo eventuell weitere interessante Informationsobjekte relativ hierzu platziert sein könnten. Die beiden anderen Varianten basieren auf einem geometrisch-semanticen Zoom, bei welchem ähnlich wie in ZOIL geometrisch auf die Informationsobjekte gezoomt wird, welche daraufhin ihren Inhalt entsprechend des zur Verfügung stehenden Platzes ändern (semantic Zoom). Hierbei wurde unterschieden zwischen einer Variante mit Übersichtsfenster und einer ohne. Das Übersichtsfenster sollte dabei eine ähnliche Funktion wie das Fischaug-Interface erfüllen – es dem Benutzer ermöglichen jederzeit zu erkennen, in welchem Bereich des Punktdiagramms er sich befindet und wo weitere Informationsobjekte platziert sind. Aufgrund des kleinen Bildschirmplatzes auf einem PDA und einem verbesserungsfähigen Interaktionsdesign konnte diese Variante allerdings nicht überzeugen. Für Desktopsysteme oder noch größere Bildschirme wie eine Powerwall, könnte es aber die ihm zugeordnete Rolle eventuell deutlich besser ausfüllen.

Zudem sollte auch untersucht werden, inwieweit kognitive Fähigkeiten, im Speziellen die räumliche Vorstellungsfähigkeit, Einfluss auf die Benutzbarkeit haben. Dabei konnten jedoch lediglich Tendenzen festgestellt werden, die vermuten lassen, dass Personen mit einer guten räumlichen Vorstellungsfähigkeit durch ein zusätzliches Übersichtsfenster eher behindert werden, wohingegen Personen mit einer niedrigen räumlichen Vorstellungsfähigkeit sowohl mit als auch ohne Übersichtsfenster in etwa die gleiche Leistung zeigen.

Abschließend ist zu den beiden Experimenten zu sagen, dass die Ergebnisse nur in Teilen auf andere zoombare Benutzerschnittstellen übertragbar sind, für das weitere Design des ZuiScat aber wertvolle, wenn auch nicht endgültige Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Ein Grund für die schlechte Generalisierbarkeit ist darin zu sehen, dass bereits sehr kleine Unterschiede in den Benutzerschnittstellen dazu beitragen können, dass Effekte überlagert werden oder nicht mehr eindeutig zuordenbar sind. Obwohl in beiden Experimente darauf geachtet wurde, die jeweils zu vergleichenden Varianten nur in wenigen Punkten voneinander abweichen zu lassen, um Unterschiede dann auch auf diese Abweichungen eindeutig zurückführen zu können, muss abschließend doch gesagt werden, dass hier, trotz aller Sorgfalt, jeweils zu viele Einflüsse unkontrolliert blieben. So ist beispielsweise nicht klar, inwieweit die in dem Übersichtsfenster angebotenen zusätzlichen Interaktionstechniken sowohl die Bearbeitungszeiten als auch die Präferenzwahl beeinflussten. Im Falle der Fischauge-Verzerrung lässt sich der Nutzen dieser ebenfalls nicht eindeutig auf die Darstellung des Kontextbereichs zurückführen, da bereits die Möglichkeit, Bereiche mittels Rechteck schnell eingrenzen zu können, die Benutzerpräferenz möglicherweise entscheidend beeinflussen könnte. Für zukünftige Untersuchungen bleibt daher festzuhalten, dass es eventuell sinnvoll sein könnte, von Anfang an anstelle einer großen mehrere kleine, aufeinander aufbauende Studien zu planen, welche sich dann jeweils auf ein spezifisches Element konzentrieren können.

Bei der Frage nach der Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen und wie diese besser unterstützt werden können, erscheint ein Blick über die Grenzen der Gestaltung von Benutzerschnittstellen sinnvoll. Auch wenn es sich bei einem ZUI nicht um eine virtuelle 3D Umgebung handelt, so können doch Parallelen zur realen Umgebung festgestellt werden. Beispielsweise verliert man auch in der realen Welt den Überblick, wenn man nahe vor einem Objekt steht. Daraufhin muss auf Basis des Gedächtnisses die eigene Position im Verhältnis zur Umgebung und den Objekten in dieser bestimmt werden. Ebenso vergleichbar ist die Frage, wie man sich im Falle des Verlustes der Orientierung wieder neu orientieren kann und welche Merkmale der Umgebung hierfür hilfreich sind. Somit erscheint es ratsam, einige Konzepte der Orientierung und Navigation im realen Raum näher zu betrachten und somit auf das Wissen von Psychologen, Neuropsychologen und Geographen zurückzugreifen. Der zweite Teil dieser Arbeit befasste sich daher mit den psychologischen Konzepten zu Orientierung und Navigation im realen Raum. Die zentralen Erkenntnisse sollen im Folgenden zusammengefasst werden.

## 4.1.2 Teil 2: Orientierung und Navigation in der realen Umwelt

### Spatial Ability

Das Konstrukt der Spatial Ability setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Dabei existieren allerdings unterschiedliche Modelle, wobei eine weitgehend anerkannte Unterteilung folgende Subkomponenten identifiziert:

- Spatial Orientation
- Speeded Rotation (Mental Rotation)
- Visualization

Spatial Orientation misst dabei die Fähigkeit, mental eine Szene aus einer anderen Perspektive betrachten zu können. Speeded Rotation hingegen bedeutet, bestimmen zu können, ob ein Objekt eine rotierte Variante eines anderen Objektes ist, wobei hier zumeist von Rotationen einfacher 2D oder 3D Objekte ausgegangen wird. Visualization ist die Fähigkeit, das Erscheinungsbild von komplexen Figuren oder Objekten nach einer vorgegebenen Transformation sich mental vorstellen zu können. Dabei sind die notwendigen kognitiven Fähigkeiten nicht komplett distinkt voneinander trennbar – in vielen Fällen sind Aufgaben sogar mit mehreren unterschiedlichen Fähigkeiten lösbar. Zusätzlich zu diesen drei Hauptkomponenten wurden zudem noch weitere Subkomponenten gefunden, die teilweise ebenfalls zu Spatial Abilities gezählt werden, so etwa Visual-(Spatial) Memory (Speicherung von Ort und Orientierung von Objekten) und auch dynamische Spatial Abilities (die Fähigkeit beispielsweise die Flugbahn eines geworfenen Balls mental vorberechnen zu können). Mittlerweile geht man davon aus, dass diese unterschiedlichen Fähigkeiten hierarchisch aufeinander aufbauen, was auch durch kognitionspsychologische Experimente bestätigt werden konnte.

Das Hauptproblem bei den verwendeten psychometrischen Tests liegt aber wohl in ihrer sehr abstrakten Gestaltung. Somit sind die Testaufgaben oftmals nur schwer auf reale Aufgaben übertragbar und bei der Vielzahl unterschiedlicher Testaufgaben stellt sich die Frage, ob hiermit wirklich alle Aspekte der räumlichen Vorstellungsfähigkeit getestet werden können. Diese These wird noch unterstützt durch den Umstand, dass nur in seltenen Fällen Zusammenhänge zwischen Spatial Ability Tests und der Navigations- und Orientierungsleistung in der realen Welt gefunden werden konnte, obwohl dies wohl mit die natürlichste Form von räumlichen Verhalten ist.

Wurden Zusammenhänge entdeckt, dann oftmals bei unterschiedlichen Testtypen, beispielsweise in einem Fall bei dem Guilford-Zimmerman Spatial Orientation Test [Infield, 1991] und in einem anderen Fall bei einem Embedded Figures Test [Platzer, 2005], wobei beide völlig unterschiedliche Fähigkeiten messen. Nur selten wird zudem die Frage gestellt, welche konkrete Fähigkeit sowohl bei dem Test als auch bei der realen Aufgabe notwendig ist, die diesen Zusammenhang erklären könnte.

Aufgrund der Fähigkeit des Menschen, auf eine Vielzahl von Strategien zurückzugreifen, ist zudem generell nicht gesagt, dass jemand mit „besserer“ Spatial Ability sich überhaupt merklich besser in der alltäglichen Umgebung zurechtfindet. Möglicherweise bietet beispielsweise eine städtische Umgebung schon genügend Hinweise und Hilfsmittel, um individuelle Unterschiede teilweise ausgleichen zu können.

Ebenfalls fraglich ist die Testmethodik mittels Papier & Bleistift Tests, da angenommen werden kann, dass in großflächigen Umgebungen andere Fähigkeiten benötigt werden als in dieser kleinen Skalierung. Diese Vermutung untermauern auch neurowissenschaftliche Studien, die zeigen konnten, dass bei der Bearbeitung von Papier & Bleistift Tests andere Hirnregionen belastet werden als bei der Navigation im realen Raum.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit für ZUIs erscheint somit der Nutzen, solche Tests einzusetzen eher fragwürdig. Die viel versprechendste Variante sollte sich auf derartige Tests beschränken, bei denen die zu lösenden Spatial Ability Aufgaben konkret in Bezug zu Aufgaben mit dem System gesetzt werden können. Dies könnte beispielsweise bei Visual-Spatial Memory Tests der Fall sein. Bei diesen müssen Objektinformationen beziehungsweise Lokationen erinnert werden, was sich in gewisser Weise übertragen lässt auf eine Anwendung wie ZuiScat oder auch ZOIL, in welchen es für den Benutzer Vorteile bieten kann, wenn er direkt weiß, wo sich andere Objekte in der Informationslandschaft befinden.

## Wayfinding & kognitive Karten

Wayfinding als Prozess, welcher Orientierung und Navigation im Raum umfasst, hat wie die meisten in dieser Arbeit vorgestellten Begrifflichkeiten auf Grund der Interdisziplinarität des Feldes ein Definitionsproblem, da es je nach konkretem Anwendungsfall etwas anders interpretiert wird. Trotzdem lassen sich einige zentrale Navigationsstrategien identifizieren:

- **Path Integration:** Hierbei speichert das Gehirn einen Bewegungsvektor, welcher es ermöglicht, auf direktem Weg zu einem Startpunkt zurückzukehren – im einfachsten Fall beispielsweise ein Dreieck zu vervollständigen. Dies erfordert bewegungssensitive Reize wie vestibuläre oder propriozeptive Informationen, aber auch optischer Fluss kann als visueller Reiz Path Integration ermöglichen. Bei Menschen ist allerdings eine hohe Fehleranfälligkeit gegeben, wenn einzig diese Strategie verwendet werden kann. Daher scheint sie lediglich unterstützenden Charakter zu haben und mit weiteren Strategien im Verbund aufzutreten.
- **Landmarken Navigation:** Mit auffälligen Objekte, so genannten Landmarken, können Bewegungs- und Richtungsentscheidungen verknüpft werden. Landmarken erfüllen zudem die Funktion, die Umgebung zu strukturieren und beispielsweise auch Routen zu markieren. Sie sind daher für sämtliche Navigation auf visueller Ebene

von entscheidender Bedeutung. Die zentralen Merkmale einer Landmarke lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine Landmarke muss sich von der Umgebung abheben. Nicht zwangsläufig visuell, sondern auch über semantische Informationen, beispielsweise das Haus eines Freundes. Dieses Kriterium kann somit sowohl objektiven als auch subjektiven Charakter haben.
- Eine Landmarke sollte gut sichtbar (bzw. hörbar oder fühlbar, je nach Sinnesorgan) sein.
- Eine Landmarke sollte wenn möglich stationär, beziehungsweise relativ zu anderen Objekten stationär sein. Ebenfalls möglich sind Objekte, welche sich vorhersehbar bewegen, wie beispielsweise die Sonne oder Gestirne.
- Eine Landmarke wird nur zu einer Landmarke, wenn sie einen subjektiven Nutzen hat – sprich zum Beispiel als Orientierungshilfe dient oder mit persönlichen Dingen verknüpft ist.

Zudem kann zwischen lokalen und globalen Landmarken unterschieden werden. Erstere sind beispielsweise entlang einer Route angeordnet oder dienen als Entscheidungspunkte an Kreuzungen. Letztere sind zumeist weiter entfernte, gut sichtbare Objekte, welche ein globales Referenzsystem bieten und somit die Orientierung im Gesamten stützen können – beispielsweise wenn man sich momentan in einer Umgebung aufhält, welche weitgehend unbekannt ist, in der Entfernung aber der Kirchturm die Bestimmung der eigenen Position ermöglicht. Dabei verlassen sich manche Menschen generell eher auf lokale und andere auf globale Landmarken.

- Routen Navigation: Durch das Verbinden von Landmarken entstehen Routen. Für die Routennavigation sind prinzipiell nur lokale Landmarken notwendig, welche beispielsweise Entscheidungspunkte kennzeichnen oder unterwegs die Gewissheit geben, noch auf der richtigen Route zu sein.
- Kognitive Karte: Unter einer kognitiven Karte darf keine Karte im herkömmlichen Sinne verstanden werden. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine mentale Repräsentation der Umwelt, in welcher relative Zusammenhänge gespeichert sind. Die Repräsentation wird somit als allozentrisch betrachtet, sprich sie ist unabhängig von der Position des Betrachters, im Gegensatz zu den egozentrischen Repräsentationen für Landmarkennavigation und Routennavigation. Somit kann eher eine graphenähnliche Repräsentationsform vermutet werden, welche auch metrische Information speichert. Allerdings ist eine kognitive Karte durchaus fehlerbehaftet und unvollständig. Winkel werden beispielsweise oftmals vereinfacht abgespeichert und ebenso werden Distanzen fehlerhaft eingeschätzt. Manche Personen verlassen sich zudem ungern auf diese Form der Repräsentation und bevorzugen generell eine Routennavigation. Theorien, nach welchen eine kognitive Karte erst basierend auf Routenwissen aufgebaut werden kann, gelten mittlerweile als überholt. Vielmehr scheint sich diese Form einer mentalen Repräsentation gleichzeitig mit den anderen zu bilden – durch das Lernen einer physischen Karte kann sie diesen sogar vorausgehen. Die Modelle für kognitive Karten unterstützen zudem die Theorie einer

hierarchischen Speicherung, worauf auf den folgenden Seiten unter dem Aspekt Spatial Memory nochmals genauer eingegangen werden soll. Ebenso kann Vorwissen einen Einfluss darauf haben, wie schnell und wie gut eine solche Repräsentation aufgebaut wird – dabei kann es durchaus vorkommen, dass erwartete aber nicht vorhandene Objekte auch nach einiger Zeit noch in der Repräsentation verankert sind.

Für die Entwicklung von ZUIs lassen sich aus diesen Erkenntnissen einige Richtlinien oder Ideen generieren. So scheint zu aller erst das Design von Landmarken von entscheidender Bedeutung zu sein. Der Vorteil bei einer Umgebung wie ZOIL oder ZuiScat ist dabei, dass die Perspektive, aus welcher die Landmarke visuell erfasst wird, immer identisch ist, da keine dreidimensionale Drehung um ein Objekt herum möglich ist. Die Gestaltung von Landmarken kann auf Basis der in dieser Arbeit vorgestellten Kriterien für Landmarken und kognitiven Karten erfolgen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Integration von sowohl globalen als auch lokalen Landmarken. Im ZuiScat können die Achsen als eine abstrakte Form einer globalen Landmarke gesehen werden, da sie ein globales Referenzsystem vorgeben. In ZOIL in seiner bisherigen Form sind derartige Landmarken noch nicht enthalten. Eine globale Landmarke könnte beispielsweise ein Hintergrundbild sein, welches genügend Merkmale bietet, um an diesem die Position von lokalen Landmarken wiederum festmachen zu können. Ebenfalls sollte beachtet werden, dass in jeder Skalierung Landmarkeninformationen vorhanden sind. So sollte beispielsweise ein Herauszoomen nur soweit möglich sein, dass zumindest noch die globalen Landmarken zu erkennen sind. Auf höchster Zoomstufe sollten ebenfalls weiterhin Hinweise vorhanden sein, um die momentane Position zu bestimmen. Landmarken können ebenfalls dazu genutzt werden, die Umgebung in Regionen aufzuteilen, was weitere Vorteile bietet. Hierzu folgen unter dem Aspekt des Spatial Memory noch weitere Überlegungen.

Die Berücksichtigung des Vorwissens eines Benutzers hat sich bereits in der ISO 9241-10 unter dem Kriterium der Erwartungskonformität niedergeschlagen – die Studien unterstützen hierbei lediglich nochmals die Wichtigkeit.

Eine Studie, die bislang unerwähnt blieb, soll an dieser Stelle noch kurz vorgestellt werden, da sie hinsichtlich der möglichen Adaptivität eines ZUIs interessant ist. [Waller et al., 2002] untersuchten in dieser, welche Informationen verwendet werden, wenn Menschen den Ort eines Objekts oder eines Platzes im Gedächtnis speichern. Dabei konzentrierten sie sich auf den Einfluss von Distanz- und Winkelinformationen relativ zur Umgebung. In dem Experiment musste die Position eines Platzes in einer virtuellen Umgebung gelernt werden, welcher von drei Säulen umgeben war. Beim erneuten Betreten der Umgebung wurde die Position der Säulen verändert. Dabei konnte festgestellt werden, dass die relativen Distanzen eine größere Rolle spielten als die Winkel, die Versuchspersonen sich somit mehr auf diese verließen. Zudem konnten  $90^\circ$  beziehungsweise  $180^\circ$  Winkel scheinbar leichter im Gedächtnis gespeichert werden, was dazu führte, dass die Versuchspersonen sich bei Vorhandensein dieser Winkel ebenso an diesen orientierten. Für ein ZUI bedeutet dies möglicherweise, dass die relativen Distanzen zwischen

Objekten möglichst konstant bleiben sollten. Das generelle Layout sollte sich, beispielsweise bei einem adaptiven ZOIL, also möglichst nicht ändern, um Desorientierung zu vermeiden. Zudem scheint das Anordnen von Objekten im rechten Winkel vorteilhaft für die Speicherung zu sein.

Die bisherigen Konzepte von ZOIL und auch ZuiScat ermöglichen ein Lernen der Umgebung lediglich auf Basis von Überblickswissen und Landmarkeninformation. Eventuell könnte aber auch eine Form von Routenlernen integrierbar sein, um Personen, die speziell diese Form der Navigation bevorzugen, besser zu unterstützen. Navigiert der Benutzer von einem Objekt zum anderen, sei es über Pan- oder Zoom-Navigation, so könnte sich hierdurch eine Route zwischen den Objekten bilden. Diese Route könnte dann in gezoomten Zustand betreten werden und in gewisser Weise ein automatisches Pannen ermöglichen – bis zu einer Kreuzung zweier Routen oder zum Ende der Route. Häufig benutzte Routen könnten relativ zu weniger benutzten visuell hervorgehoben werden. Um das Ziel einer Route besser zu vermitteln zu, könnte zu Beginn der Route ein verkleinertes Abbild, ein *Thumbnail* des Zielobjekts angebracht sein. Diese Art der Navigation könnte insbesondere für eine unendliche Informationslandschaft wie ZOIL eine Alternative darstellen, welche verhindert, dass der Benutzer immer wieder Herauszoomen muss, um sich neu zu orientieren – er benötigt kein Überblickswissen sondern navigiert lediglich auf Basis der Routen. Aber auch für Benutzer, welche ein Überblickswissen aufgebaut haben, könnten derartige Hilfestellungen die Navigation in manchen Situationen erleichtern und beschleunigen.

## Neuronale Erkenntnisse

Als ein zentrales System für räumliches Verhalten bzw. das Speichern einer räumlichen Repräsentation konnte der Hippocampus ausgemacht werden. In Ratten und mittlerweile auch in Menschen wurden hierbei Place Cells entdeckt, die feuern, sobald die Ratte oder Person sich in einem bestimmten Bereich eines Raumes aufhält. Dabei sind allerdings einige Einschränkungen zu beachten. So kann eine Place Cell an mehreren Repräsentationen beteiligt sein, also in unterschiedlichen Bereichen feuern. Zudem ist ihr Verhalten in gewisser Weise auch abhängig von der Bewegungsrichtung/Orientierung. In einer weiteren Gehirnregion, dem Postsubiculum, wurden Head-Direction Cells entdeckt, die feuern, wenn das Tier in eine gewisse Richtung blickt. Gemeinsam mit den Place Cells, so wird vermutet, könnten sie eine mentale Repräsentation, eine kognitive Karte bilden. Diese ist aber gemäß den bisherigen Erkenntnissen keine rein allozentrische Repräsentation, sondern beinhaltet auch egozentrische Informationen. Eine Vermutung ist hierbei, dass die Place Cells eine egozentrische Repräsentation höherer Ordnung bilden, welche über alle Place Cells hinweg ein allozentrisches Gesamtbild ergeben.

Allerdings existieren auch noch viele Unstimmigkeiten, beispielsweise ist das Remapping, also die Neustrukturierung des Feuermusters der Place Cells noch nicht vollständig erklärt, denn dieses schränkt überraschenderweise die Navigationsleistung nicht ein. Wird



das Muster mittels Stimuli hingegen künstlich verändert, so leidet darunter zumeist auch die Navigationsleistung. Dabei deuten manche Experimente auch daraufhin, dass dies insbesondere dann der Fall ist, wenn auf eine allozentrische Repräsentation zurückgegriffen werden muss, beispielsweise wenn die Orientierung an globalen Landmarken erfolgen soll. Objekte sowie die Geometrie der Umgebung scheinen ebenfalls einen Einfluss auf die Place Cells zu haben, wobei dieser ebenfalls noch weitgehend unklar ist. Zudem weisen immer mehr Studien daraufhin, dass im Hippocampus auch nicht-räumliche Informationen repräsentiert werden und beispielsweise das episodische Gedächtnis dort beheimatet scheint.

Teilweise wird auch noch bezweifelt, dass im Gehirn überhaupt eine allozentrische Repräsentation vorhanden ist. Am wahrscheinlichsten erscheint es jedoch, dass beide Formen gebildet werden, wobei unter einer allozentrischen Repräsentation keine statische, metrisch korrekte zu verstehen ist, sondern diese durchaus dynamisch und zumeist auch fehlerbehaftet zu sein scheint. Die Experimente von [Hartley et al., 2004] lassen vermuten, dass bei der Navigation sowohl auf ego- als auch allozentrische Repräsentationen zurückgegriffen wird. Je nach Aufgabe kann der Mensch hier flexibel entscheiden, welche Informationen er benötigt, um diese besser bewältigen zu können.

Die Quintessenz aus diesem Forschungsgebiet lautet daher, dass das menschliche Gehirn wohl über eine Vielzahl von Systemen verfügt, welche die Navigation und Orientierung unterstützen und deren jeweilige Rolle noch weitgehend unklar ist. Die gefundenen Place Cells und Head-Direction Cells scheinen also nur einen Teil dieses komplexen neuronalen Netzwerkes auszumachen. Dies wird auch durch Erkenntnisse bestätigt, die zeigen, dass bei der Anwendung von Routenwissen nicht der Hippocampus aktiviert wird, sondern eine andere Gehirnregion, der caudate nucleus [Bohbot et al., 2004]. Für die Entwicklung von ZUIs bedeutet dies aber auch, dass bislang noch keine Erkenntnisse und Gestaltungsrichtlinien hieraus abgeleitet werden können. Interessant wären Untersuchungen, inwieweit beispielsweise Place Cells überhaupt bei der Navigation in einer zoombaren Benutzerschnittstelle aktiviert werden, oder ob hier gänzlich andere Gehirnregionen Verwendung finden.

## **Spatial Memory**

Das Konstrukt des Spatial Memory lässt sich in drei Subkomponenten unterteilen: Spatial Working Memory, Route Learning und Object-Location Memory. Das Working Memory, also das Arbeitsgedächtnis ist hierbei unterteilt in eine phonologische Schleife sowie ein Visuo-Spatial Sketchpad. Nach neueren Erkenntnissen ist dieses wiederum in zwei Subsysteme aufgespalten, wobei eines für visuelle und das andere für räumliche Informationen zuständig ist. [Woodman & Luck, 2004] haben beispielsweise herausgefunden, dass eine visuelle Suchaufgabe durch das gleichzeitige Merken von Farben von Objekten, also rein visuellen Informationen, diese nicht beeinträchtigte, wohingegen das Merken von Objektpositionen sowohl die visuelle Suche als auch die Positionsspeicherung schmälert.

Dies lässt zudem auch den Schluss zu, dass es sich bei einer visuellen Suchaufgabe um eine räumliche Aufgabe handelt. Für ein ZUI könnte dies bedeuten, dass, wenn möglich, verhindert werden sollte, dass sich der Benutzer sowohl Objektlokation als auch visuelle Information merken muss, wenn er sich auf die Suche nach einem weiteren Objekt begibt. Dies tritt beispielsweise auf, wenn zwei Objekte miteinander verglichen werden sollen. In den ZuiScat Experimenten führte dies oftmals zu dem kuriosen Phänomen, dass der Benutzer zunächst das erste Objekt aufsuchte, die benötigte Information wahrnahm, dann das zweite Objekt suchte und anschließend nochmals zurück zum ersten Objekt navigieren musste, da er sich bezüglich der gespeicherten Information nicht mehr sicher war. Eventuell kann dies verhindert werden, indem dem Benutzer die Sicherheit gegeben wird, sich beim Vergleich mehrere Objekte die Positionen dieser nicht merken zu müssen. Erreicht werden könnte dies durch eine Art Bookmark-Funktion, welche visuell durch das Befestigen einer „Bandschnur“ realisiert werden könnte. Anhand dieser kann er sich somit bei Bedarf bequem zu einem Objekt zurückhangeln – die Last sich dessen Lokation merken zu müssen, entfällt somit.

Das Object-Location Memory ist ein statischer Teil des Spatial Memory, welcher die Lokation von Objekten speichert, wobei sowohl eine absolute Speicherung als auch eine relative möglich ist. Dabei wird eine hierarchische Struktur vermutet, welche mittlerweile durch eine Vielzahl von Experimenten bestätigt werden konnte. So wird beispielsweise die relative Position von zwei Städten falsch eingeschätzt, wenn die beiden Bundesstaaten, in denen diese liegen, eine davon abweichende relative Position zueinander aufweisen. Im Gedächtnis wurde hierbei also ein Vergleich zwischen den beiden in der Hierarchie höher angesiedelten Objekten, den Bundesstaaten, durchgeführt. Derartiges Unterteilen der Umgebung in Regionen konnte auch bereits von [Lynch, 1960] festgestellt werden, indem er die mentalen Modelle von Städten zeichnen ließ. [Wiener, 2004] untersuchte auf Basis dieser Erkenntnisse den Einfluss von Regionen auf die Navigation und konnte dabei die hierarchischen Theorien untermauern. Somit sind Regionen entscheidend dafür verantwortlich, welche Routen bei der Navigation ausgewählt werden – vereinfacht gesagt wird versucht, die Zielregion möglichst schnell zu erreichen. Außerdem erleichtern sie auch das Erlernen einer neuen Umgebung signifikant. Für ZUIs ergibt sich hieraus die Konsequenz, diese natürliche Form der hierarchischen Speicherung besser zu unterstützen, indem die Informationslandschaft stärker in Regionen unterteilt wird. In einem ZuiScat wäre eine sehr einfache Variante beispielsweise, vier Quadranten zu bilden und diese jeweils unterschiedlich einzufärben. Daraufhin könnte auch evaluiert werden, ob sich die Fähigkeit, die Position von Orten zu speichern, erhöht hat. In einer Umgebung wie ZOIL wären ähnliche Regionalisierungen, beispielsweise im Zusammenhang mit globalen Landmarken denkbar. So könnte im Hintergrund eine Deutschlandkarte oder ähnliches verwendet werden, welche sich auf die Details der Bundesländergrenzen beschränkt. Die lokalen Landmarken, also die jeweiligen Metaphern für die Informationsobjekte könnten dann innerhalb der einzelnen Bundesländer angeordnet werden. Durch das Verwenden von bereits bekannten Regionen (Bundesländer), könnte hierbei der Nutzen eventuell noch gesteigert werden. Auch innerhalb von Landmarken könnte verstärkt auf eine hierarchische Gliederung gesetzt werden, um die Umgebung besser zu

strukturieren und leichter ins Gedächtnis übertragbar zu machen.

### **Automatische Speicherung**

Eine weitere interessante Frage betrifft den notwendigen kognitiven Aufwand zur Speicherung räumlicher Informationen. Frühe Hypothesen vermuteten gar, dass sämtliche räumliche Informationen nahezu automatisch gespeichert werden würden. Aktuelle Studien haben jedoch gezeigt, dass zumindest für das Bilden einer kognitiven Karte sehr wohl auch kognitiver Aufwand erforderlich ist. [van Asselen, 2005] konnte allerdings in Experimenten zeigen, dass sowohl das Speichern von Landmarken als auch die temporäre Abfolge (somit sowohl Landmarkenwissen als auch Routenwissen), in welcher diese wahrgenommen wurden, tatsächlich automatisch gespeichert werden. Die Speicherung profitiert somit nicht davon, wenn sich die Versuchsperson auf das Lernen der Landmarken konzentriert. Bezogen auf ZUIs könnte dies ein weiterer Hinweis darauf sein, dass routenbasierte Navigationsstrategien besser unterstützt werden sollten. Zudem stellt sich die Frage, ob es eventuell Unterschiede hinsichtlich der Gestaltung von Landmarken und der automatischen Speicherung dieser gibt. Existieren Landmarken, die leichter im Gedächtnis haften bleiben als andere? Haben diese spezifische Eigenschaften? Diesen Fragen könnte im Rahmen von Experimenten nachgegangen werden.

### **Unterschiede zwischen virtuellen Umgebungen und der realen Welt**

Immer mehr Untersuchungen zu Navigation und Orientierung finden in virtuellen Umgebungen statt. Ob die Ergebnisse allerdings direkt übertragbar sind auf die Navigationsleistung in der realen Welt bleibt weiterhin in einigen Aspekten fraglich. So existieren sehr viele verschiedene Varianten von virtuellen Umgebungen, angefangen bei dem verwendeten Bildschirm (Folien, Monitor, Leinwand, Panoramawand, Head-Mounted Display, etc.), über die Form der Eingabe (aktiv, passiv, laufend, stehend, etc.) bis hin zu unzähligen Möglichkeiten, die virtuelle Umgebung selbst zu gestalten. Die Vorteile liegen in der deutlich größeren Flexibilität und der daraus folgenden Möglichkeit, gezielt einzelne Aspekte zu ändern und somit auch testen zu können. Die bisherigen Studien lassen den Schluss zu, dass in der realen Welt erworbenes Wissen wohl auf eine virtuelle Umgebung übertragbar ist. Umgekehrt scheint auch in einer virtuellen Umgebung sich eine ähnliche mentale Repräsentation aufzubauen. Allerdings konnte beispielsweise [Platzer, 2005] zeigen, dass im direkten Vergleich die Leistung von Personen, welche eine Umgebung virtuell erlernten, jenen, die diese real erfahren konnten, unterlegen ist. Aufgrund von Interviews wurde darauf geschlossen, dass die Navigationsstrategien aber weitestgehend dieselben sind. Aufgrund der unzähligen möglichen Faktoren wird man aber wohl nicht zu einer generellen Antwort kommen können sondern immer lediglich Aussagen treffen, die unter bestimmten Voraussetzungen bezüglich der Gestaltung einer virtuellen Umgebung gelten. Für ZUIs bedeutet das aber auch, dass es sehr schwer

sein wird, empirisch zu bestätigen oder zu widerlegen, dass die Navigation in diesen Gemeinsamkeiten mit der Navigation im realen Raum aufweist.

### **Messen von Navigation & Orientierung**

Die Messung von Navigation und Orientierung ist ebenfalls nicht unproblematisch. So haben viele Methoden den Nachteil, dass sie in gewisser Weise indirekt messen, von dem Probanden also einen Transfer seines Wissens erfordern – beispielsweise wenn eine Karte der Umgebung gezeichnet werden soll um die Qualität der kognitiven Karte zu überprüfen. Wenn diese im Gehirn anders repräsentiert ist, so erscheint es wahrscheinlicher, dass der Proband versucht, ihm bekannte topographische Karten zu imitieren, nicht aber seine mentale Repräsentation zu Papier bringt. Ähnliches gilt auch für Aspekte wie Distanzschätzungen. Es könnte vermutet werden, dass gerade größere Distanzen im Gehirn weniger metrisch als viel mehr in Gehminuten oder ähnlichem repräsentiert sind.

Für ZUIs könnte eventuell eine Abwandlung des Kartenziehens dennoch interessant sein, um die Fähigkeit, sich die Positionen von Objekten zu merken, abfragen zu können. Um den Einfluss von Zeichenfähigkeiten auszuschließen könnten die Versuchsperson stattdessen auf einer Legoplatte bestimmte Objekte in der Positionierung platzieren, wie sie in der Informationslandschaft angeordnet waren. Hierbei könnte dann zudem noch untersucht werden, inwieweit globale Landmarken, die bereits platziert sind, diese Positionierung erleichtern.

## **4.2 Fazit**

Die vorliegende Arbeit hat zwei sehr unterschiedliche Herangehensweisen an die Fragestellung der Orientierung und Navigation in zoombaren Benutzerschnittstellen vorgestellt.

Im ersten Teil sollte empirisch der Nutzen von konkreten Interaktionstechniken am Beispiel des zoombaren Punktdiagramms ZuiScat überprüft werden, die aufgrund der existierenden Literatur die Vermutung nahe legen, die Orientierung und Navigation in Informationsräumen zu verbessern. Dabei konnten einige wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, welche sowohl auf konkrete Probleme des Interaktionsdesigns aufmerksam machten als auch Ideen für das weitere Design des ZuiScat lieferten, die dessen Usability nachhaltig verbessern könnten. Eindeutige Erkenntnisse, die generell für oder gegen den Einsatz von einer der Interaktionstechniken sprechen würden, konnten jedoch nicht gewonnen werden. Offen bleibt zudem, inwieweit kognitive Fähigkeiten, wie die Spatial Ability, die Leistung mit einem System wie ZuiScat beeinflussen und inwieweit Interaktionstechniken dazu geeignet sind, eventuell vorhandene individuelle Unterschiede

bezüglich dieser Fähigkeiten auszugleichen.

Hier zeigt sich wiederum ein bekanntes Problem von Experimenten innerhalb der Disziplin Mensch-Computer Interaktion: Eindeutige Kausalschlüsse sind oftmals nur schwer möglich, da kaum alle möglichen Einflussfaktoren kontrolliert werden können. Interaktionstechniken setzen sich zumeist aus mehreren Teilaspekten zusammen – wie beispielsweise die vorgestellte Fischauge-Verzerrung. Bei dieser lässt sich das Interaktionskonzept unterteilen in den Teilaspekt der Verzerrung des Informationsraumes sowie den Zugriff auf einen spezifischen Bereich des Informationsraums durch das Ziehen eines Rechtecks. Klare Rückschlüsse darauf, welchen Einfluss diese jeweiligen Teilaspekte haben, ermöglichen nur Experimente, die sämtliche Aspekte einzeln überprüfen.

Hinzu kommt, dass bei der realen Produktnutzung noch sehr viele weitere Faktoren einen Einfluss haben, insbesondere aus dem jeweiligen Nutzungskontext. Gerade bei mobilen Geräten kann der Anwender oftmals nur einen Teil seiner Aufmerksamkeit dem Gerät widmen. Diese Faktoren sind in einem Experiment nahezu nicht zu berücksichtigen, da ein solches durch seine Standardisierung nur schwer einen realen Nutzungskontext simulieren kann. In gewisser Weise stellt sich somit die Frage nach dem praktischen Nutzen solcher Experimente im Hinblick auf allgemeingültige Aussagen. An dieser Stelle ist eine interessante Analogie zu der Entwicklung der Kartographie in den letzten 60 Jahren herzustellen. [Lloyd, 2000] bietet in seinem Artikel „Understanding and learning maps“ hierzu eine recht gute Übersicht, welche an dieser Stelle kurz wiedergegeben werden soll. Arthur Robinson wird demnach zumeist als derjenige genannt, welcher zuerst versuchte, das Design von Karten entsprechend den menschlichen kognitiven Fähigkeiten zu optimieren [Robinson, 1952]. Er wollte damit eine wissenschaftliche Basis für das Design von Karten schaffen und entwickelte dementsprechende Designprinzipien, welche auf psychologischen Erkenntnissen hinsichtlich des Einfluss von Farben und Typographie basierten. In den darauf folgenden 30 Jahren wurde intensiv versucht, mittels umfangreicher empirischer Untersuchungen diese Gestaltungsrichtlinien zu validieren und zu erweitern. Dabei basierten diese aber zumeist rein auf Stimulus-Response Untersuchungen und lieferten somit wenig bis keine Informationen über die theoretischen Hintergründe der Interaktion zwischen Karte und Leser. Zudem wurde zunehmend in Frage gestellt, inwieweit diese theoretischen Erkenntnisse tatsächlich nützlich für das Design von Karten waren. Denn die Experimente vereinfachten und abstrahierten die Karten zumeist sehr stark, um einzelne Aspekte testen zu können und Kausalschlüsse zuzulassen. Komplexe, reale Karten erlauben aber zumeist nicht, generalisierende Aussagen zu treffen, sondern können lediglich Auskunft über die Benutzbarkeit dieses einen Kartentyps geben.

Nach Ansicht von Lloyd ist das Erstellen einer Karte letztlich aber ein Handwerk und der Kartograph ist der Handwerker. Das Wissen, welches verwendet wird um eine Karte zu erstellen, ist vielfach implizit und informell. [Medyckyj-Scott & Board, 1991] fassen die Aufgabe der Disziplin Kartographie demnach wie folgt zusammen: „it solves the problems of map design by carrying out design and evaluation, the latter generally informally“.

Lloyd geht noch einen Schritt weiter. Letztlich schreibt er, dass auf Basis langjähriger Erfahrung im Erstellen von Karten Konventionen und Heuristiken entstanden sind, die dazu dienen, spezifische Probleme lösen zu können und deren Effektivität im Lösen dieser Probleme empirisch geprüft werden kann. Heuristiken, die sich dabei als wertlos entpuppen, werden wieder verworfen. Dabei sind allerdings nur schwer generalisierende Aussagen möglich, weswegen die Effektivität der Konventionen und Heuristiken nicht garantiert werden kann. Eine „general theory of map design“ sei somit nicht möglich.

Zudem geht Lloyd auch auf das Verhältnis zwischen Kartographen und Kognitionspsychologen ein. Erstere sind zunächst daran interessiert, einfache Heuristiken und Tools zu erhalten, die ihnen konkret Hilfestellung dabei geben, eine optimale Karte zu designen. Dabei steht also das Erstellen der Karte im Vordergrund und nicht das Verständnis der kognitiven Prozesse beim Lesen einer Karte. Bei Kognitionspsychologen auf der anderen Seite liegt der Fokus gerade darauf zu verstehen, wie der Leser einer Karte die wahrgenommenen Informationen verarbeitet und wie sich ihm die Bedeutung dieser erschließt. Die Frage der Kartographen, wie die Ergebnisse der kognitions-psychologischen Studien übertragen werden können, lassen sich dabei zumeist nicht leicht beantworten. Oder um es mit den Worten von Lloyd zu sagen: „The goals of the craftsman [der Kartograph] and the goals of the cognitive scientist are not the same. The map stands in the middle waiting to be constructed and used.“

Aus der Sicht des Autors der vorliegenden Arbeit sind hier sehr deutliche Parallelen zu der Gestaltung von Benutzerschnittstellen und der Disziplin der Mensch-Computer Interaktion sichtbar. Auch in dieser wurde zu einem Zeitpunkt der Geschichte vermehrt auf psychologische Erkenntnisse bezüglich der Wahrnehmung zurückgegriffen und auch hier gab es eine Phase Anfang der achtziger Jahre, in welcher Evaluationen streng nach den Regeln psychologischer Experimente durchgeführt wurden. Die Generalisierbarkeit dieser Ergebnisse war und ist aber, wie auch in dieser Arbeit aufgezeigt, oftmals nur eingeschränkt möglich. Letztlich ist aber auch die Gestaltung von Benutzerschnittstellen eine Form von Handwerk, welches ein Produkt für einen Benutzer herstellen möchte. Dabei können wissenschaftliche Erkenntnisse durchaus sinnvoll und nützlich sein. Es sollte aber zumindest in Erwägung gezogen werden, ob ein praxisnaher Ansatz, welcher das Produkt, welches entstehen soll, in den Vordergrund stellt, einer Forschung vorzuziehen ist, die vornehmlich versucht, allgemeingültige Leitsätze und Erkenntnisse zu gewinnen. Vor diesem Hintergrund wird auch der Nutzen des zweiten Teils dieser Arbeit deutlich – der Untersuchung der psychologischen Grundlagen zu Orientierung und Navigation im realen Raum. Es kann und darf hierbei nicht das Ziel sein, auf allgemeingültige Aussagen der Kognitionspsychologie zu warten, denn hierzu ist der Unterschied in den Zielen der beiden Disziplinen einfach zu groß. Vielmehr können und sollten die Erkenntnisse der Psychologie als ein Informationspool für neue Ideen verwendet werden. Dabei kann die Betrachtung einer Problemstellung aus einer völlig neuen Perspektive möglicherweise dazu beitragen, neue Herangehensweisen und Lösungswege zu identifizieren.

# 5 Anhang

## **Kontaktinformation**

Jens Gerken

Email: [mail@jens-gerken.de](mailto:mail@jens-gerken.de)

Tel: +49 7531 389755

Web: <http://hci.uni-konstanz.de>

AG Mensch-Computer Interaktion

Universität Konstanz

# Literaturverzeichnis

- [Abrahams et al. 1999] ABRAHAMS, S. ; MORRIS, R. G. ; POLKEY, C. E. ; JAROSZ, J. M. ; COX, T. C. ; GRAVES, M. ; PICKERING, A.: Hippocampal involvement in spatial and working memory: a structural MRI analysis of patients with unilateral mesial temporal lobe sclerosis. In: *Brain Cogn* 41 (1999), Oct, Nr. 1, 39–65. <http://dx.doi.org/10.1006/brcg.1999.1095>. – DOI 10.1006/brcg.1999.1095
- [Aginsky et al. 1996] AGINSKY, V. ; HARRIS, C. ; RENSINK, R. ; BEUSMAN, J.: Two Strategies for learning a route in a driving simulator. / Cambridge Center, Cambridge, USA. 1996. – Technical Report CBR TR 96-6, Cambridge Basic Research
- [Ahlberg 1996] AHLBERG, Christopher: Spotfire: an information exploration environment. In: *SIGMOD Rec.* 25 (1996), Nr. 4, S. 25–29. <http://dx.doi.org/10.1145/245882.245893>. – DOI 10.1145/245882.245893. – ISSN 0163–5808
- [Ahlberg & Shneiderman 1994a] AHLBERG, Christopher ; SHNEIDERMAN, Ben: The alphaslider: a compact and rapid selector. In: *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1994. – ISBN 0–89791–650–6, S. 365–371
- [Ahlberg & Shneiderman 1994b] AHLBERG, Christopher ; SHNEIDERMAN, Ben: Visual information seeking: tight coupling of dynamic query filters with starfield displays. In: *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1994. – ISBN 0–89791–650–6, S. 313–317
- [Allen 1998] ALLEN, Bryce: Information space representation in interactive systems: relationship to spatial abilities. In: *DL '98: Proceedings of the third ACM conference on Digital libraries*. New York, NY, USA : ACM Press, 1998. – ISBN 0–89791–965–3, S. 1–10
- [Allen & Kirasic 1985] ALLEN, G. L. ; KIRASIC, K. C.: Effects of the cognitive organization of route knowledge on judgements of macrospatial distance. In: *Memory and Cognition* 13 (1985), Nr. 3, S. 218–227
- [Allen et al. 1978] ALLEN, G. L. ; SIEGEL, A. W. ; ROSINSKI, R. R.: The role of perceptual context in structuring spatial knowledge. In: *Journal of Experimental Physiology: Human Learning and Memory* 4 (1978), Nr. 6, S. 617–630



- [Allen 1999] ALLEN, Gary L.: Spatial abilities, cognitive maps, and wayfinding: Bases for individual differences in spatial cognition and behavior. In: GOLLEDGE, R. (Hrsg.): *Wayfinding behavior: Cognitive maps and other spatial processes*. Baltimore, USA : Johns Hopkins University Press, 1999, S. 46–80
- [Anderson & Jeffery 2003] ANDERSON, M. I. ; JEFFERY, K. J.: Heterogeneous modulation of place cell firing by changes in context. In: *J Neurosci.* 23 (2003), S. 8827–35
- [van Asselen 2005] ASSELEN, Marieke van: *The neurocognitive basis of spatial memory*. Utrecht, Helmholtz Institute, Utrecht University, Diss., 2005
- [Awh & Jonides 1998] AWH, Edward ; JONIDES, John: Spatial working memory and spatial selective attention. In: PARASURAMAN, Raja (Hrsg.): *The attentive brain*. Cambridge, MA, US : The MIT Press, 1998
- [Baddeley 2001] BADDELEY, A. D.: Is working memory still working? In: *Am Psychol* 56 (2001), Nov, Nr. 11, S. 851–864
- [Baddeley & Logie 1999] BADDELEY, A. D. ; LOGIE, R. H.: Working memory: The multiple component model. In: *A. Miyake & P. Shah (Eds.) Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York, NY, USA : Cambridge University Press, 1999, S. 28–61
- [Baudisch et al. 2004] BAUDISCH, Patrick ; LEE, Bongshin ; HANNA, Libby: Fishnet, a fisheye web browser with search term popouts: a comparative evaluation with overview and linear view. In: *AVI '04: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2004. – ISBN 1–58113–867–9, S. 133–140
- [Bederson 2001] BEDERSON, Benjamin B.: PhotoMesa: a zoomable image browser using quantum treemaps and bubblemaps. In: *UIST '01: Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 2001. – ISBN 1–58113–438–X, S. 71–80
- [Bederson & Boltman 1999] BEDERSON, Benjamin B. ; BOLTMAN, Angela: Does Animation Help Users Build Mental Maps of Spatial Information? In: *INFOVIS '99: Proceedings of the 1999 IEEE Symposium on Information Visualization*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1999. – ISBN 0–7695–0431–0, S. 28
- [Bederson et al. 2004a] BEDERSON, Benjamin B. ; CLAMAGE, Aaron ; CZERWINSKI, Mary P. ; ROBERTSON, George G.: DateLens: A fisheye calendar interface for PDAs. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 11 (2004), Nr. 1, S. 90–119. <http://dx.doi.org/10.1145/972648.972652>. – DOI 10.1145/972648.972652. – ISSN 1073–0516
- [Bederson et al. 2004b] BEDERSON, Benjamin B. ; GROSJEAN, Jesse ; MEYER, Jon: Toolkit Design for Interactive Structured Graphics. In: *IEEE Trans. Softw. Eng.* 30 (2004), Nr. 8, S. 535–546. <http://dx.doi.org/10.1109/TSE.2004.44>. – DOI 10.1109/TSE.2004.44. – ISSN 0098–5589

- [Berendt & Jansen-Osmann 1997] BERENDT, Bettina ; JANSEN-OSMANN, Petra: Feature Accumulation and Route Structuring in Distance Estimations - An Interdisciplinary Approach. In: *COSIT '97: Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory*. London, UK : Springer-Verlag, 1997. – ISBN 3-540-63623-4, S. 279–296
- [Böhme 2003] BÖHME, H.-J.: *Kognitive Robotik*. 2003. – Web-Präsentation: [http://cortex.informatik.tu-ilemnau.de/hans/kogrob\\_vl\\_ss03\\_5\\_voll.pdf](http://cortex.informatik.tu-ilemnau.de/hans/kogrob_vl_ss03_5_voll.pdf)
- [Bisiach & Luzzatti 1978] BISIACH, E. ; LUZZATTI, C.: Unilateral neglect of representational space. In: *Cortex* 14 (1978), Mar, Nr. 1, S. 129–133
- [Bohbot et al. 1998] BOHBOT, V. D. ; KALINA, M. ; STEPANKOVA, K. ; SPACKOVA, N. ; PETRIDES, M. ; NADEL, L.: Spatial memory deficits in patients with lesions to the right hippocampus and to the right parahippocampal cortex. In: *Neuropsychologia* 36 (1998), Nov, Nr. 11, S. 1217–1238
- [Bohbot et al. 2004] BOHBOT, Véronique D. ; IARIA, Giuseppe ; PETRIDES, Michael: Hippocampal function and spatial memory: evidence from functional neuroimaging in healthy participants and performance of patients with medial temporal lobe resections. In: *Neuropsychology* 18 (2004), Jul, Nr. 3, 418–425. <http://dx.doi.org/10.1037/0894-4105.18.3.418>. – DOI 10.1037/0894-4105.18.3.418
- [Brewer & Treyens 1981] BREWER, W. F. ; TREYENS, J. C.: Role of Schemata in Memory for Places. In: *Cognitive Psychology* 13 (1981), S. 207–232
- [Büring 2006] BÜRING, Thorsten: Interaktionsstrategien für Punktdiagramm-Visualisierungen auf kleinen Bildschirmen. In: *i-com, Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien* (2006)
- [Büring et al. 2006a] BÜRING, Thorsten ; GERKEN, Jens ; REITERER, Harald: Usability of overview-supported zooming on small screens with regard to individual differences in spatial ability. In: *AVI '06: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. New York, NY, USA : ACM Press, 2006. – ISBN 1-59593-353-0, S. 233–240
- [Büring et al. 2006b] BÜRING, Thorsten ; GERKEN, Jens ; REITERER, Harald: User Interaction with Scatterplots on Small Screens - A Comparative Evaluation of Geometric-Semantic Zoom and Fisheye Distortion. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 12 (2006), Nr. 5, S. 829–836. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2006.187>. – DOI 10.1109/TVCG.2006.187. – ISSN 1077-2626
- [Büring & Reiterer 2005] BÜRING, Thorsten ; REITERER, Harald: ZuiScat: querying and visualizing information spaces on personal digital assistants. In: *MobileHCI '05: Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction with mobile devices & services*. New York, NY, USA : ACM Press, 2005. – ISBN 1-59593-089-2, S. 129–136

- [Burgess et al. 2004] BURGESS, Neil ; SPIERS, Hugo J. ; PALEOLOGOU, Eleni: Orientational manoeuvres in the dark: dissociating allocentric and egocentric influences on spatial memory. In: *Cognition* 94 (2004), Dec, Nr. 2, 149–166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2004.01.001>. – DOI 10.1016/j.cognition.2004.01.001
- [Byrne 1979] BYRNE, R.: Memory for urban geography. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 31 (1979), S. 147–154
- [Carlesimo et al. 2001] CARLESIMO, G. A. ; PERRI, R. ; TURRIZIANI, P. ; TOMAIUOLO, F. ; CALTAGIRONE, C.: Remembering what but not where: independence of spatial and visual working memory in the human brain. In: *Cortex* 37 (2001), Sep, Nr. 4, S. 519–534
- [Cartwright & Collett 1983] CARTWRIGHT, B. A. ; COLLETT, T. S.: Landmark learning in bees. In: *Journal of Comparative Physiology* 151 (1983), S. 521–543
- [Chen 2000] CHEN, Chaomei: Individual differences in a spatial-semantic virtual environment. In: *Journal of the American Society of Information Science* 51 (2000), Nr. 6, S. 529–542
- [Chen et al. 2000] CHEN, Chaomei ; CZERWINSKI, Mary ; MACREDIE, Robert: Individual differences in virtual environments-introduction and overview. In: *Journal of the American Society of Information Science* 51 (2000), Nr. 6, S. 499–507. – ISSN 0002–8231
- [Chen & Czerwinski 1997] CHEN, Chaomei ; CZERWINSKI, Mary P.: Spatial Ability and Visual Navigation: An Empirical Study. In: *The New Review for Hypertext and Multimedia* 3 (1997), S. 40–66
- [Cohen et al. 1978] COHEN, Robert ; BALDWIN, Lawrence M. ; SHERMAN, Richard C.: Cognitive Maps of a Naturalistic Setting. In: *Child Development* 49 (1978), Dec, S. 1216–1218. <http://dx.doi.org/10.2307/1128763>. – DOI 10.2307/1128763
- [Couclelis et al. 1987] COUCLELIS, H. ; GOLLEDGE, R. ; TOBLER, W.: Exploring the anchorpoint hypothesis of spatial cognition. In: *Journal of Environmental Psychology* 7 (1987), S. 99–122
- [Cramer & Gallistel 1997] CRAMER, A. E. ; GALLISTEL, C. R.: Vervet monkeys as travelling salesmen. In: *Nature* 387 (1997), May, Nr. 6632, 464. <http://dx.doi.org/10.1038/387464a0>. – DOI 10.1038/387464a0
- [Czerwinski & Larson 1997] CZERWINSKI, Mary P. ; LARSON, K.: The New Web Browsers: They're Cool but Are They Useful? In: THIMBLEBY, B. O. (Hrsg.) ; THOMAS, P. (Hrsg.): *People and Computers XII: Proceedings of HCI'97*. Berlin : Springer Verlag, 1997

- [Dahlbäck et al. 1996] DAHLBÄCK, N. ; HÖÖK, K. ; SJÖLINDER, M.: Spatial cognition in the mind and in the world: The case of hypermedia navigation. In: *Proceedings of the 18th Annual Meeting of the Cognitive Science Society University of California, San Diego*, 1996
- [Dang et al. 2001] DANG, Gunjan ; NORTH, Chris ; SHNEIDERMAN, Ben: Dynamic Queries and Brushing on Choropleth Maps. In: *IV*, 2001, S. 757–764
- [Donelson 1978] DONELSON, William C.: Spatial management of information. In: *SIG-GRAPH '78: Proceedings of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1978, S. 203–209
- [Downs & Stea 1973] DOWNS, R. M. ; STEA, D.: Cognitive Maps and Spatial Behaviour: Process and Products. In: *Image and Environment (1973)*, S. 8–26
- [Downs & Stea 1982] DOWNS, R. M. ; STEA, D.: *Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen*. New York, USA : Harper & Row, 1982
- [Egan 1988] EGAN, Daniel E.: Individual Differences in Human-Computer Interaction. In: HELANDER, M. (Hrsg.): *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier Science Publishers B.V, 1988
- [Egan & Gomez 1985] EGAN, Dennis E. ; GOMEZ, Louis M.: Assaying, Isolating and Accomodating Individual Differences in Learning a Complex Skill. In: F., Dillon R. (Hrsg.): *Individual Differences In Cognition* Bd. 2. New York : Academic Press, 1985
- [Eichenbaum 1996] EICHENBAUM, H.: Is the rodent hippocampus just for 'place'? In: *Cur Opin Neurobiol* 6 (1996), S. 187–195
- [Ekstrom et al. 2003] EKSTROM, Arne D. ; KAHANA, Michael J. ; CAPLAN, Jeremy B. ; FIELDS, Tony A. ; ISHAM, Eve A. ; NEWMAN, Ehren L. ; FRIED, Itzhak: Cellular networks underlying human spatial navigation. In: *Nature* 425 (2003), Sep, Nr. 6954, 184–188. <http://dx.doi.org/10.1038/nature01964>. – DOI 10.1038/nature01964
- [Eysenck 1967] EYSENCK, H. J.: Intellectual assessment: A theoretical and experimental approach. In: *Journal of Educational Psychology* 37 (1967), S. 81–98
- [Feigenbaum et al. 1996] FEIGENBAUM, J. D. ; POLKEY, C. E. ; MORRIS, R. G.: Deficits in spatial working memory after unilateral temporal lobectomy in man. In: *Neuropsychologia* 34 (1996), Mar, Nr. 3, S. 163–176
- [Fekete & Plaisant 2002] FEKETE, Jean-Daniel ; PLAISANT, Catherine: Interactive Information Visualization of a Million Items. In: *INFOVIS '02: Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis'02)*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2002, S. 117

- [Furnas 1986] FURNAS, G. W.: Generalized fisheye views. In: *CHI '86: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 1986. – ISBN 0–89791–180–6, S. 16–23
- [Gallistel 1978] GALLISTEL, C.: *The Organisation of Learning*. Cambridge, USA : MIT Press, Bradford Books, 1978
- [Gerken et al. 2005] GERKEN, Jens ; JETTER, Hans-Christian ; KÖNIG, Werner A.: PsiTop - A Zoomable Workspace for Visual Document Search and Browsing. In: *Course Interactive Visualization, Robert Spence, University of Konstanz (2005)*
- [Gillner 1997] GILLNER, S.: *Untersuchungen zur bildbasierten Navigationsleistung in virtuellen Welten*. Tübingen, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Diss., 1997
- [Gluck 1991] GLUCK, M.: Making sense of human wayfinding: review of cognitive and linguistic knowledge for personal navigation with a new research direction. In: MARK, D. (Hrsg.) ; FRANK, A. (Hrsg.): *Cognitive and linguistic aspects of geographic space*. Dordrecht, 1991, S. 117–136
- [Golledge 1999] GOLLEDGE, R.: *Wayfinding behavior: Cognitive maps and other spatial processes*. Baltimore, USA : Johns Hopkins University Press, 1999
- [Golledge et al. 1993] GOLLEDGE, R. ; RUGGLES, A. ; PELLEGRINO, J. ; GALE, N.: Integrating Route Knowledge in an Unfamiliar Neighborhood Along and Across Route Experiments. In: *Journal of Environmental Psychology* 13 (1993), S. 293–297
- [Golledge & Spector 1978] GOLLEDGE, R. ; SPECTOR, A.: Comprehending the urban environment: Theory and practice. In: *Geographical Analysis* 10 (1978), S. 403–426
- [Golob et al. 2001] GOLOB, E. J. ; STACKMAN, R. W. ; WONG, A. C. ; TAUBE, J. S.: On the behavioral significance of head direction cells: neural and behavioral dynamics during spatial memory tasks. In: *Behav Neurosci* 115 (2001), Apr, Nr. 2, S. 285–304
- [Gothard et al. 1996] GOTHARD, K. M. ; SKAGGS, W. E. ; MOORE, K. M. ; MCNAUGHTON, B. L. ; BARNES, C. A. ; O'KEEFE, J.: Binding of hippocampal CA1 neural activity to multiple reference frames in a landmark-based navigation task. In: *J Neurosci*. 16 (1996), S. 23–35
- [Gouteux & Spelke 2001] GOUTEUX, S. ; SPELKE, E. S.: Children's use of geometry and landmarks to reorient in an open space. In: *Cognition* 81 (2001), Sep, Nr. 2, S. 119–148
- [Gärbling et al. 1991] GÄRLING, T. ; BÖÖK, J. ; LINDBERG, E. ; ARCE, C.: Evidence of a response-bias explanation of noneuclidean cognitive maps. In: *The Professional Geographer* 42 (1991), S. 143–149

- [Grün et al. 2005] GRÜN, Christian ; GERKEN, Jens ; JETTER, Hans-Christian ; KÖNIG, Werner ; REITERER, Harald: MedioVis - A User-Centred Library Metadata Browser. In: *ECDL*, 2005, S. 174–185
- [Guilford 1967] GUILFORD, J. P.: *The nature of human intelligence*. New York, USA : McGraw-Hill, 1967
- [Gutwin & Fedak 2004] GUTWIN, Carl ; FEDAK, Chris: Interacting with big interfaces on small screens: a comparison of fisheye, zoom, and panning techniques. In: *GI '04: Proceedings of the 2004 conference on Graphics interface*. School of Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada : Canadian Human-Computer Communications Society, 2004. – ISBN 1–56881–227–2, S. 145–152
- [H. A. Colle 1998] H. A. COLLE, G. B. R.: The room effect: Metric spatial knowledge of local and separated regions. In: *Teleoperators and virtual environments 7* (1998), Nr. 2, S. 116–128
- [Habib & Sirigu 1987] HABIB, M. ; SIRIGU, A.: Pure topographical disorientation: a definition and anatomical basis. In: *Cortex* 23 (1987), Mar, Nr. 1, S. 73–85
- [Hartley et al. 2003a] HARTLEY, T. ; KING, J.A. ; BURGESS, N.: studies of the neural basis of human navigation and memory. In: JEFFERY, K. J. (Hrsg.): *The Neurobiology of Spatial Behaviour*. Oxford : Oxford University Press, 2003
- [Hartley et al. 2004] HARTLEY, T. ; TRINKLER, I. ; BURGESS, N.: Geometric Determinants of Human Spatial Memory. In: *Cognition* 94 (2004), S. 39–75
- [Hartley et al. 2003b] HARTLEY, Tom ; MAGUIRE, Eleanor A. ; SPIERS, Hugo J. ; BURGESS, Neil: The well-worn route and the path less traveled: distinct neural bases of route following and wayfinding in humans. In: *Neuron* 37 (2003), Mar, Nr. 5, S. 877–888
- [Hassenzahl et al. 2003] HASSENZAHL, M. ; BURMESTER, M. ; KOLLER, F.: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: *Mensch und Computer 2003 - Interaktion in Bewegung*. Stuttgart, 2003
- [Hayes et al. 2004] HAYES, Scott M. ; RYAN, Lee ; SCHNYER, David M. ; NADEL, Lynn: An fMRI Study of Episodic Memory: Retrieval of Object, Spatial, and Temporal Information. In: *Behavioral Neuroscience* 118 (2004), Nr. 5, S. 885–896
- [Hermer & Spelke 1994] HERMER, L. ; SPELKE, E. S.: A geometric process for spatial reorientation in young children. In: *Nature* 370 (1994), S. 57–59
- [Herrmann & Schweizer 1998] HERRMANN, T. ; SCHWEIZER, K.: *Sprechen über Raum. Sprachliches Lokalisieren und seine kognitiven Grundlagen*. Bern : Hans Huber, 1998

- [Hirtle & Heidorn 1993] HIRTLE, S. C. ; HEIDORN, P. B.: The structure of cognitive maps: representations and processes. In: GÄRLING, T. (Hrsg.) ; GOLLEDGE, R. G. (Hrsg.): *Behaviour and Environment*. Amsterdam : Elsevier Science Publications, 1993, S. 170–192
- [Holding & Holding 1989] HOLDING, C. S. ; HOLDING, D. E.: Acquisition of route network knowledge by males and females. In: *Journal of General Psychology* 116 (1989), S. 29–41
- [Horn 1983] HORN, W.: *Leistungspruefsystem*. Göttingen : Hogrefe Verlag für Psychologie, 1983
- [Hornbaek et al. 2002] HORNBAEK, Kasper ; BEDERSON, Benjamin B. ; PLAISANT, Catherine: Navigation patterns and usability of zoomable user interfaces with and without an overview. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 9 (2002), Nr. 4, S. 362–389. <http://dx.doi.org/10.1145/586081.586086>. – DOI 10.1145/586081.586086. – ISSN 1073–0516
- [Hornbæk & Frøkjær 2001] HORNBAEK, Kasper ; FRØKJÆR, Erik: Reading of electronic documents: the usability of linear, fisheye, and overview+detail interfaces. In: *CHI '01: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2001. – ISBN 1–58113–327–8, S. 293–300
- [Hunt et al. 1988] HUNT, E. ; PELLEGRINO, J. W. ; FRICK, R. W. ; FARR, S. A. ; ALDERTON, D.: The ability to reason about movement in the visual field. In: *Intelligence* 12 (1988), S. 77–100
- [Infield 1991] INFELD, S.E.: *An Investigation into the Relationship Between Navigation Skill and Spatial Abilities*, University of Washington, Diss., 1991
- [Jansen-Osmann 1998] JANSEN-OSMANN, Petra: *Kognition von Distanzen – laborexperimentelle Untersuchungen in virtuellen Umgebungen*. Duisburg, Universität Duisburg, Diss., 1998
- [Jeffery et al. 1997] JEFFERY, K. J. ; DONNETT, J. G. ; BURGESS, N. ; O'KEEFE, J.: Directional control of hippocampal place fields. In: *Exp. Brain Res.* 117 (1997), S. 131–142
- [Jeffery 2003] JEFFERY, Kathryn J.: *The Neurobiology of Spatial Behaviour*. New York, USA : Oxford University Press, 2003
- [Jetter et al. 2005] JETTER, Hans-Christian ; GERKEN, Jens ; KÖNIG, Werner ; GRÜEN, Christian ; REITERER, Harald: HyperGrid - Accessing Complex Information Spaces. In: *People and Computers XIX - The Bigger Picture, Proceedings of HCI 2005* Bd. 1. Edinburgh, UK : Springer Verlag, 2005

- [Jul & Furnas 1998] JUL, Susanne ; FURNAS, George W.: Critical zones in desert fog: aids to multiscale navigation. In: *UIST '98: Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA : ACM Press, 1998. – ISBN 1-58113-034-1, S. 97–106
- [Kitchin & Freundschuh 2000] KITCHIN, R. M. ; FREUNDSCHUH, S.: *Cognitive Mapping: Past, Present and Future*. London : Routledge, 2000
- [Klatzky et al. 1990] KLATZKY, R. L. ; LOOMIS, J. M. ; GOLLEDGE, R. G. ; CICINELLI, J. G. ; DOHERTY, S. ; PELLEGRINO, J. W.: Acquisition of route and survey knowledge in the absence of vision. In: *J Mot Behav* 22 (1990), Mar, Nr. 1, S. 19–43
- [Kluver & Bucy 1939] KLUVER, H. ; BUCY, P. C.: Preliminary analysis of the function of temporal lobe in monkeys. In: *Arch Neurol Psychiatry* 42 (1939), S. 979–1000
- [König 2006] KÖNIG, Werner A.: *Referenzmodell und Machbarkeitsstudie für ein neues Zoomable User Interface Paradigma*. Konstanz, Universität Konstanz, Masterarbeit, 2006
- [Kosslyn et al. 1978] KOSSLYN, S. M. ; BALL, T. M. ; REISER, B. J.: Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of image scanning. In: *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 4 (1978), Feb, Nr. 1, S. 47–60
- [Kosslyn et al. 1974] KOSSLYN, S. M. ; PICK, H. L. ; FARIELLO, G. R.: Cognitive maps in children and men. In: *Child Dev* 45 (1974), Sep, Nr. 3, S. 707–716
- [Lever et al. 2002] LEVER, C. ; WILLS, T. ; CACUCCI, F. ; BURGESS, N. ; O'KEEFE, J.: Long-term plasticity in the hippocampal representation of environmental geometry. In: *Nature* 416 (2002), S. 90–94
- [Lindberg & Gärling 1981] LINDBERG, E. ; GÄRLING, T.: Acquisition of locational information about reference points during blindfolded and sighted locomotion: effects of a concurrent task and locomotion paths. In: *Scand J Psychol* 22 (1981), Nr. 2, S. 101–108
- [Linn & Petersen 1985] LINN, M. C. ; PETERSEN, A. C.: Emergence and characterisation of gender differences in spatial abilities: A meta-analysis. In: *Child Development* 56 (1985), S. 1479–1498
- [Lipman 1991] LIPMAN, P. D.: Age and exposure differences in acquisition of route information. In: *Psychol Aging* 6 (1991), Mar, Nr. 1, S. 128–133
- [Lloyd 2000] LLOYD, R. E.: Understanding and Learning Maps. In: KITCHIN, R. (Hrsg.) ; FREUNDSCHUH, S. (Hrsg.): *Cognitive Mapping: Past, Present, and Future*. London : Routledge, 2000, S. 84–107



- [Lohman 1979] LOHMAN, D. F.: Spatial Ability: A review and reanalysis of the correlational literature. / Stanford University School of Education, Stanford, USA. 1979. – Technical Report No. 8, Aptitude Research Project
- [Lohman 1988] LOHMAN, D. F.: Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In: STERNBERG, R. J. (Hrsg.): *Advances in the psychology of human intelligence* Bd. 4. Hillsdale, NJ, USA : Lawrence Erlbaum, 1988, S. 181–248
- [Loomis et al. 1999] LOOMIS, J. M. ; GOLLEDGE, R. ; KLATZKY, R. L. ; PHILBECK: Human Navigation by Path Integration. In: GOLLEDGE, R. (Hrsg.): *Wayfinding behavior: Cognitive maps and other spatial processes*. Baltimore, USA : Johns Hopkins University Press, 1999, S. 125–151
- [Lynch 1960] LYNCH, K.: *The image of the city*. Cambridge, USA : MIT Press, 1960
- [Magliano et al. 1995] MAGLIANO, J. P. ; COHEN, R. ; ALLEN, G. L. ; RODRIGUEZ, J. R.: The impact of wayfinder's goals on learning a new environment: different types of spatial knowledge as goals. In: *Journal of Environmental Psychology* 15 (1995), S. 65–75
- [Maguire et al. 1999] MAGUIRE, E. A. ; BURGESS, N. ; O'KEEFE, J.: Human spatial navigation: cognitive maps, sexual dimorphism, and neural substrates. In: *Curr Opin Neurobiol* 9 (1999), Apr, Nr. 2, S. 171–177
- [Maguire & Cipolotti 1998] MAGUIRE, E. A. ; CIPOLOTTI, L.: Selective sparing of topographical memory. In: *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 65 (1998), Dec, Nr. 6, S. 903–909
- [Marks et al. 2005] MARKS, L. ; HUSSELL, J. A. ; MCMAHON, T. M. ; LUCE, R. E.: A digital library visualization tool. In: *International Journal on Digital Libraries, Special Issue on Information Visualization Interfaces for Retrieval and Analysis* (2005)
- [May 1992] MAY, M.: *Mentale Modelle von Städten: Wissenspsychologische Untersuchungen am Beispiel der Stadt Münster*. Münster : Waxmann, 1992
- [McCarthy et al. 1996] MCCARTHY, R. A. ; EVANS, J. J. ; HODGES, J. R.: Topographic amnesia: spatial memory disorder, perceptual dysfunction, or category specific semantic memory impairment? In: *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 60 (1996), Mar, Nr. 3, S. 318–325
- [McFarlane 1925] MCFARLANE, M.: A study of practical ability. In: *British Journal of Psychology Monograph Supplement* 8 (1925)
- [McHugh et al. 1996] MCHUGH, T. J. ; TSIEN, K. I. ; BLUMAND J. Z. ; TONEGAWA, S. ; WILSON, M. A.: Impaired hippocampal representation of space in CA1-specific NMDAR1 knockout mice. In: *Cell* 87 (1996), S. 1339–1349

- [McNamara 1986] MCNAMARA, T. P.: Mental representations of spatial relations. In: *Cognit Psychol* 18 (1986), Jan, Nr. 1, S. 87–121
- [McNamara 1991] MCNAMARA, T. P.: Memory's View of Space. In: *The Psychology of Learning and Motivation* 27 (1991), S. 147–186
- [McNaughton et al. 1983] MCNAUGHTON, B. L. ; BARNES, C. A. ; O'KEEFE, J.: The contributions of position, direction and velocity to single unit activity in the hippocampus of freely-moving rats. In: *Exp. Brain Res.* 52 (1983), S. 41–49
- [Medyckyj-Scott & Board 1991] MEDYCKYJ-SCOTT, D. ; BOARD, C.: Cognitive cartography: A new heart for a lost soul. In: MUELLER, J. (Hrsg.): *Advances in Cartography*. London : Elsevier, 1991
- [Moar & Carleton 1982] MOAR, I. ; CARLETON, L. R.: Memory for routes. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 35A (1982), S. 381–394
- [Montello 2001] MONTELLO, D.: Spatial Cognition. In: *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Pergamon Press, 2001, S. 14771–14775
- [Moscovitch et al. 1995] MOSCOVITCH, C. ; KAPUR, S. ; KÖHLER, S. ; HOULE, S.: Distinct neural correlates of visual long-term memory for spatial location and object identity: a positron emission tomography study in humans. In: *Proc Natl Acad Sci U S A* 92 (1995), Apr, Nr. 9, S. 3721–3725
- [Mou & McNamara 2002] MOU, Weimin ; MCNAMARA, Timothy P.: Intrinsic frames of reference in spatial memory. In: *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 28 (2002), Jan, Nr. 1, S. 162–170
- [Muller & Kubie 1987] MULLER, R. U. ; KUBIE, J. L.: The effects of changes in the environment on the spatial firing of hippocampal complex-spike cells. In: *Journal of Neuroscience* 7 (1987), S. 1951–1968
- [Nelson et al. 2000] NELSON, C. A. ; MONK, C. S. ; LIN, J. ; CARVER, L. J. ; THOMAS, K. M. ; TRUWIT, C. L.: Functional neuroanatomy of spatial working memory in children. In: *Dev Psychol* 36 (2000), Jan, Nr. 1, S. 109–116
- [Newcombe & Liben 1982] NEWCOMBE, N. ; LIBEN, L. S.: Barrier effects in the cognitive maps of children and adults. In: *J Exp Child Psychol* 34 (1982), Aug, Nr. 1, S. 46–58
- [O'Keefe & Burgess 1996] O'KEEFE, J. ; BURGESS, N.: Geometric determinants of the place fields of hippocampal neurons. In: *Nature* 381 (1996), S. 425–428
- [O'Keefe & Dostrovsky 1971] O'KEEFE, J. ; DOSTROVSKY, J.: The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. In: *Brain Res.* 34 (1971), S. 171–175

- [O'Keefe & Speakman 1987] O'KEEFE, J. ; SPEAKMAN, A.: Single unit activity in the rat hippocampus during a spatial memory task. In: *Exp Brain Res* 68 (1987), S. 1–27
- [O'Keefe & Nadel 1978] O'KEEFE, John ; NADEL, Lynn: *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford : Oxford University Press, 1978
- [Pellegrino & Goldman 1983] PELLEGRINO, J. W. ; GOLDMAN, S. R.: Development and Individual Differences in Verbal and Spatial Reasoning. In: *Individual differences in Cognition* 1 (1983), S. 137–180
- [Perlin & Fox 1993] PERLIN, Ken ; FOX, David: Pad: an alternative approach to the computer interface. In: *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1993. – ISBN 0–89791–601–8, S. 57–64
- [Plaisant et al. 1995] PLAISANT, Catherine ; CARR, David ; SHNEIDERMAN, Ben: Image-Browser Taxonomy and Guidelines for Designers. In: *IEEE Softw.* 12 (1995), Nr. 2, S. 21–32. <http://dx.doi.org/10.1109/52.368260>. – DOI 10.1109/52.368260. – ISSN 0740–7459
- [Platzer 2005] PLATZER, Edna: *Spatial Cognition research: The human navigation process and its comparability in complex real and virtual environments*. München, Universität der Bundeswehr München, Diss., 2005
- [Poucet 1993] POU CET, B.: Spatial cognitive maps in animals: new hypotheses on their structure and neural mechanisms. In: *Psychological Review* 100 (1993), Nr. 2, S. 163–182
- [Poucet et al. 2003] POU CET, Bruno ; LENCK-SANTINI, Pierre-Pascal ; SAVE, Etienne: Drawing parallels between the behavioural and neural properties of navigation. In: JEFFERY, Kathryn J. (Hrsg.): *The Neurobiology of Spatial Behaviour*. Oxford University Press, 2003, Kapitel 10, S. 187–198
- [Presson & Montello 1988] PRESSON, C. ; MONTELLO, D.: Points of reference in spatial cognition: Stalking the elusive landmark. In: *British Journal of Developmental Psychology* 6 (1988), S. 378–381
- [Péruch et al. 2000] PÉRUCH, Patrick ; BELINGARD, Loïc ; THINUS-BLANC, Catherine: Transfer of Spatial Knowledge from Virtual to Real Environments. In: *Spatial Cognition II, Integrating Abstract Theories, Empirical Studies, Formal Methods, and Practical Applications*. London, UK : Springer-Verlag, 2000. – ISBN 3–540–67584–1, S. 253–264
- [Quaiser-Pohl 1998] QUAISER-POHL, Claudia: *Die Fähigkeit zur räumlichen Darstellung: Zur Bedeutung von kognitiven und motivationalen Faktoren für geschlechtsspezifische Unterschiede*. Münster : Waxmann Verlag GmbH, 1998

- [Raskin 2000] RASKIN, Jef: The humane interface (book excerpt). In: *Ubiquity* 1 (2000), Nr. 14, S. 3. <http://dx.doi.org/10.1145/341845.342022>. – DOI 10.1145/341845.342022
- [Restat et al. 2004] RESTAT, J. ; STECK, S. D. ; MOCHNATZKI, H. F. ; MALLOT, H. A.: Geographical slant facilitates navigation and orientation in virtual environments. In: *Perception* 33 (2004), S. 667–687
- [Riecke 2003] RIECKE, Bernhard E.: *How far can we get with just visual information? Path integration and spatial updating studies in Virtual Reality*. Tübingen, Max Planck Institut für Biologische Kybernetik, Diss., 2003
- [Robinson 1952] ROBINSON, A.: *The Look of Maps: An Examination of Cartographic Design*. Madison : University of Wisconsin Press, 1952
- [Rosch & Mervis 1975] ROSCH, Eleanor ; MERVIS, C. B.: Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. In: *Cognitive Psychology* 7 (1975), S. 573–605
- [Ruddle et al. 1997] RUDDLE, R. A. ; PAYNE, S. J. ; JONES, D. M.: Navigating buildings in „desk-top“ virtual environments: Experimental investigations using extended navigational experience. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied* 3 (1997), S. 143–159
- [Sadalla et al. 1980] SADALLA, E. K. ; BURROUGHS, W. J. ; STAPLIN, L. J.: Reference points in spatial cognition. In: *Human Learning and Memory* 5 (1980), S. 516–528
- [Satalich 1995] SATALICH, Glenna A.: *Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: Finding the Proper Tools and Cues to Enhance Navigational Awareness*, University of Washington, Masterarbeit, 1995
- [Schaffer et al. 1996] SCHAFFER, Doug ; ZUO, Zhengping ; GREENBERG, Saul ; BARTRAM, Lyn ; DILL, John ; DUBS, Shelli ; ROSEMAN, Mark: Navigating hierarchically clustered networks through fisheye and full-zoom methods. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 3 (1996), Nr. 2, S. 162–188. <http://dx.doi.org/10.1145/230562.230577>. – DOI 10.1145/230562.230577. – ISSN 1073–0516
- [Schiff & Oldak 1990] SCHIFF, W. ; OLDAK, R.: Accuracy of judging time to arrival: Effects of modality, trajectory, and gender. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 16 (1990), S. 303–316
- [Schölkopf & Mallot 1995] SCHÖLKOPF, B. ; MALLOT, H. A.: View-Based Cognitive Mapping and Path Planning. In: *Adaptive Behavior* 3 (1995), Nr. 3, S. 311–348
- [Schweizer et al. 1998] SCHWEIZER, K. ; HERRMANN, T. ; JANZEN, G. ; KATZ, S.: The route direction effect and its constraints. In: FREKSA, C. (Hrsg.) ; HABEL, C. (Hrsg.) ; WENDER, K. F. (Hrsg.): *Spatial Cognition, an interdisciplinary approach to representing and processing spatial knowledge*. Berlin : Springer, 1998, S. 19–38

- [Sellen 1998] SELLEN, Kirsten: *Schätzen von Richtungen in realen und virtuellen Umgebungen*. Tübingen, Universität Tübingen, Masterarbeit, 1998
- [Shneiderman 1996] SHNEIDERMAN, Ben: The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. In: *VL '96: Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*, IEEE Computer Society, 1996. – ISBN 0-8186-7508-X, S. 336-343
- [Siegel & White 1975] SIEGEL, A. W. ; WHITE, S. H.: The development of spatial representations of large-scale environments. In: *Advances in Child Development and Behavior* 10 (1975), S. 9-55
- [Singer et al. 1997] SINGER, Michael J. ; ALLEN, Robert C. ; McDONALD, Daniel P. ; GILDEA, John P.: *Terrain Appreciation in Virtual Environments: Spatial Knowledge Acquisition / Army Research Inst for the Behavioral and Social Sciences Alexandria VA. 1997. – Technical rept. Jul 94-Jan 97*
- [Sjölinder 1998] SJÖLINDER, Marie: *Spatial Cognition and Environmental Descriptions*. In Dahlbäck (ed.) *Exploring Navigation: Towards a Framework for Design and Evaluation of Navigation in Electronic Spaces*. / SICS, Stockholm. 1998. – SICS Technical Report T98:01
- [Snow et al. 1984] SNOW, R. E. ; KYLLONEN, P. C. ; MARSHALEK, B.: The topography of ability and learning correlations. In: STERNBERG, R. J. (Hrsg.): *Advances in the psychology of human intelligence* Bd. 2. Hillsdale, NJ, USA : Lawrence Erlbaum, 1984, S. 47-103
- [Stanney & Salvendy 1995] STANNEY, K. M. ; SALVENDY, G.: Assisting low spatial individuals with information access tasks through the use of visual mediators. In: *Ergonomics* 38 (1995), Nr. 6, S. 1184-1198
- [Steck & Mallot 1998] STECK, S. ; MALLOT, H.: *The role of global and local landmarks in virtual environment navigation*. [citeseer.ist.psu.edu/steck98role.html](http://citeseer.ist.psu.edu/steck98role.html). Version: 1998
- [Steck & Mallot 2000] STECK, S. ; MALLOT, H.: The role of global and local landmarks in virtual environment navigation. In: *Teleoperators* 9 (2000), S. 9-83
- [Steck et al. 2003] STECK, S. D. ; MOCHNATZKI, H. F. ; MALLOT, H. A.: The role of geographical slant in virtual environment navigation. In: *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 2685 (2003), S. 62-76
- [Stevens & Coupe 1978] STEVENS, A. ; COUPE, P.: Distortions in Judged Spatial Relation. In: *Cognitive Psychology* 10 (1978), S. 422-437
- [Sutherland & Rudy 1989] SUTHERLAND, R. J. ; RUDY, J. W.: Configural association theory: the role of the hippocampal formation in learning, memory, and amnesia. In: *Psychobiology* 17 (1989), S. 17-129

- [Taube et al. 1990] TAUBE, J. S. ; MULLER, R. U. ; RANCK, J. B.: Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. I. Description and quantitative analysis. In: *Journal of Neuroscience* 10 (1990), S. 420–435
- [Tellevik 1992] TELLEVIK, J. M.: Influence of spatial exploration patterns on cognitive mapping by blindfolded sighted persons. In: *Journal of Visual Impairment and Blindness* 86 (1992), S. 221–224
- [Thier & Karnath 1997] THIER, P. ; KARNATH, O.: *Parietal lobe contributions to orientation in 3D space*. Heidelberg : Springer, 1997
- [Thinus-Blanc 1988] THINUS-BLANC, C.: Animal spatial cognition. In: WEISKRANTZ, L. (Hrsg.): *Thought without language*. Clarendon, 1988, S. 371–395
- [Thorndyke 1981a] THORNDYKE, P.: Distance estimation from cognitive maps. In: *Cognitive Psychology* 13 (1981), S. 526–550
- [Thorndyke 1981b] THORNDYKE, P. W.: Spatial cognition and reasoning. In: HARVEY, J. D. (Hrsg.): *Cognition, social behaviour and the environment*. Hillsdale, NJ, USA : Lawrence Erlbaum, 1981, S. 137–149
- [Thurstone 1938] THURSTONE, L. L.: *Primary mental abilities*. Chicago, USA : University of Chicago Press, 1938
- [Tlauka & Wilson 1994] TLAUKA, M. ; WILSON, P. N.: The effect on landmarks on route-learning in a computer-simulated environment. In: *Journal of Environmental Psychology* 14 (1994), S. 305–313
- [Tolman 1948] TOLMAN, E. C.: Cognitive Maps in Rats and Man. In: *Psychological Review* 55 (1948), S. 189–208
- [Tonegawa et al. 1996] TONEGAWA, S. ; TSIEN, J. Z. ; MCHUGH, T. J. ; HUERTA, P. ; BLUM, K. I. ; WILSON, M. A.: Hippocampal CA1-region-restricted knockout of NMDAR1 gene disrupts synaptic plasticity, place fields, and spatial learning. In: *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 61 (1996), S. 225–38
- [Tufte 1983] TUFTE, Edward R.: *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, Connecticut, U.S.A. : Graphics Press, 1983. – ISBN 096139210X
- [Vicente et al. 1987] VICENTE, Kim J. ; HAYES, Brian C. ; WILLIGES, Robert C.: Assaying and isolating individual differences in searching a hierarchical file system. In: *Hum. Factors* 29 (1987), Nr. 3, S. 349–359. – ISSN 0018–7208
- [Vinson 1999] VINSON, Norman G.: Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments. In: *SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Pittsburgh, Pennsylvania, United States, Dec 1999, 278-285

- [Waller et al. 2002] WALLER, David ; MONTELLO, Daniel R. ; RICHARDSON, Anthony E. ; HEGARTY, Mary: Orientation specificity and spatial updating of memories for layouts. In: *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 28 (2002), Nov, Nr. 6, S. 1051–1063
- [Wang & Spelke 2003] WANG, Ranxiao F. ; SPELKE, Elisabeth: Comparative approaches to human navigation. In: JEFFERY, Kathryn J. (Hrsg.): *The Neurobiology of Spatial Behaviour*. Oxford University Press, 2003, Kapitel 7, S. 119–143
- [Ware 2004] WARE, Colin: *Information visualization: perception for design*. 2nd. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2004
- [Warren & Scott 1993] WARREN, David H. ; SCOTT, Teres E.: Map Alignment in Traveling Multisegment Routes. In: *Environment and Behavior* 25 (1993), Nr. 4, S. 643–666. <http://dx.doi.org/10.1177/0013916593254006>. – DOI 10.1177/0013916593254006
- [Wehner & Menzel 1990] WEHNER, R. ; MENZEL, R.: Do insects have cognitive maps? In: *Annual review of neuroscience* 13 (1990), S. 403–414
- [Werner et al. 1997] WERNER, S. ; KRIEG-BRÜCKNER, B. ; MALLOT, H. A. ; SCHWEIZER, K. ; FREKSA, C.: Spatial Cognition: The Role of Landmark, Route, and Survey Knowledge in Human and Robot Navigation. In: *Informatik'97. Informatik als Innovationsmotor*. Berlin : Springer Publishers, 1997
- [Wiener 2004] WIENER, Jan M.: *Places and regions in perception, route planning , and spatial memory*. Tübingen, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Diss., 2004
- [Wilkniss et al. 1997] WILKNISS, S. M. ; JONES, M. G. ; KOROL, D. L. ; GOLD, P. E. ; MANNING, C. A.: Age-related differences in an ecologically based study of route learning. In: *Psychol Aging* 12 (1997), Jun, Nr. 2, S. 372–375
- [Williamson & Shneiderman 1992] WILLIAMSON, Christopher ; SHNEIDERMAN, Ben: The dynamic HomeFinder: evaluating dynamic queries in a real-estate information exploration system. In: *SIGIR '92: Proceedings of the 15th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. New York, NY, USA : ACM Press, 1992. – ISBN 0–89791–523–2, S. 338–346
- [Wilton 1979] WILTON, R. N.: Knowledge of spatial relations: the specification of the information used in making inferences. In: *Q J Exp Psychol* 31 (1979), Feb, Nr. 1, S. 133–146
- [Wood 2003] WOOD, E.: Place cells: a framework for episodic memory? In: JEFFERY, K. J. (Hrsg.): *The Neurobiology of Spatial Behaviour*. Oxford : Oxford University Press, 2003
- [Woodman et al. 2001] WOODMAN, G. F. ; VOGEL, E. K. ; LUCK, S. J.: Visual search remains efficient when visual working memory is full. In: *Psychol Sci* 12 (2001), May, Nr. 3, S. 219–224

- 
- [Woodman & Luck 2004] WOODMAN, Geoffrey F. ; LUCK, Steven J.: Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. In: *Psychon Bull Rev* 11 (2004), Apr, Nr. 2, S. 269–274
- [Yan et al. 2002] YAN, J. ; ZHANG, Y ; JIA, Z ; TAVERNA, F. A. ; McDONALD, R. J. ; MULLER, R. U. ; Roder, J. C.: Place-Cell Impairment in Glutamate Receptor 2 Mutant Mice. In: *J Neurosci* 22 (2002)
- [Zimring & Gross 1991] ZIMRING, C. ; GROSS, M.: The environment in environmental cognition research. In: GÄRLING, T. (Hrsg.) ; EVANS, W. (Hrsg.): *Environment, Cognition and Action*. New York, USA : Oxford University Press, 1991, S. 78–95



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Geometrischer Zoom (anhand von ZOIL illustriert) – links Überblicksdarstellung, rechts Zoom auf Bereich „Projects“ [König, 2006]. . . . .	11
2.2	Illustration des semantischen Zooms anhand von ZOIL [König, 2006]. . .	12
2.3	Jef Raskins ZoomWorld Idee [Raskin, 2000]. . . . .	13
2.4	Die HyperGrid eingebettet in das System MedioVis [Jetter et al., 2005]. .	14
2.5	Ein typisches Punktdiagramm. Hier ist die Eruptionsdauer des „Old Faithful“ im Yellowstone Nationalpark gegen die Zeit zwischen den Eruptionen abgetragen. Man kann hierbei zwei Cluster erkennen, wobei klar ersichtlich ist, dass längere Eruptionen nur auftreten, wenn zuvor längere Zeit keine stattgefunden hat. . . . .	19
2.6	Der Filmfinder von [Ahlberg & Shneiderman, 1994] . . . . .	20
2.7	Der ZuiScat in der ersten Entwicklungsstufe, wie in [Buering & Reiterer, 2005] vorgestellt . . . . .	22
2.8	Die geometrisch-semantische Zoom Variante des ZuiScats . . . . .	24
2.9	Die geometrisch-semantische Zoom Variante des ZuiScats inklusive Übersichtsfenster . . . . .	26
2.10	Die Fische- Variante des ZuiScats: In (a) und (b) wird rekursiv jeweils eine Region definiert durch das Ziehen eines Rechtecks; in (c) tippt der Benutzer auf ein Informationsobjekt woraufhin ihm die in (d) dargestellte Detailansicht präsentiert wird. . . . .	28
2.11	Die verwendeten Subtests des LPS. Von links nach rechts: Speeded Rotation, Visualization, Visualization/Spatial Orientation & Embedded Figures.	32
2.12	Ein Vergleich der durchschnittlichen Aufgaben-Bearbeitungszeit für alle 12 Aufgaben zwischen den beiden Interface-Varianten . . . . .	37
2.13	(Pan-Distanz (links) & Zoom-Distanz (rechts) innerhalb des Detailfensters.	38
2.14	ein Vergleich der durchschnittlichen Bearbeitungszeit pro Interface-Typ zwischen Low-Spatial und High-Spatial Versuchspersonen . . . . .	40
2.15	Die im zweiten Experiment verwendete Variante des geometrisch-semantischen ZUI. . . . .	43
2.16	Das Wacom Board auf welchem die ZuiScat Applikation in einem PDA Interface simuliert wurde. . . . .	45
2.17	Vergleich der Gesamtbearbeitungszeit . . . . .	49
2.18	Vergleich der unterschiedlichen Aufgabentypen Visual Scan (links), Information Access (Mitte) und Comparison (rechts). . . . .	50
2.19	Ein Vergleich der Attrakdiff PQ-Bewertungen . . . . .	51

---

3.1	Eine Speeded-Rotation Aufgabe (links) und eine Visualization Aufgabe (rechts). Links ist lediglich das rotieren der Objekte notwendig wohingegen rechts eine komplexe Transformation + Rotation notwendig ist. . . .	55
3.2	Der Guilford-Zimmerman Spatial Orientation Test – der Perspektiven-Wechsel zwischen den zwei Bildern muss am linken Rand richtig angekreuzt werden - in diesem Fall Option Nr. 5, da die neue Perspektive leicht nach vorne und nach links versetzt ist [Guilford & Zimmerman, 1948]. . . . .	56
3.3	Der Hippocampus innerhalb des limbischen Systems (dunkelgrauer „Schlauch“).	75
3.4	Das Feuermuster der Place Cells, welches relativ zum Stimulus gleich bleibt. Aus „The neurobiology of spatial behaviour“ von [Jeffery, 2003]. .	77
3.5	Die von [Hartley et al., 2004] verwendete virtuelle 3D Umgebung mit globalen Landmarken im Hintergrund und der markierten Stelle im Vordergrund. . . . .	83
3.6	Die Struktur des Arbeitsgedächtnisses. . . . .	85
3.7	Die relevanten Gehirnstrukturen des Spatial Memory. Abbildung von [van Asselen, 2005] . . . . .	85
3.8	Nevada liegt östlich von California, aber Reno (Nevada) nord-westlich von San Diego (California). . . . .	88
3.9	Die von [Wiener, 2004] verwendete virtuelle 3D Umgebungen, unterteilt in mehrere semantisch-räumliche Regionen. An den Kreuzungen waren jeweils Landmarken angebracht. Je vier benachbarte Landmarken hatten eine semantische Ähnlichkeit – beispielsweise vier Autos – und bildeten so insgesamt drei Regionen . . . . .	90
3.10	Die Fine-to-Coarse Planning Heuristic von [Wiener 2004]. . . . .	91