

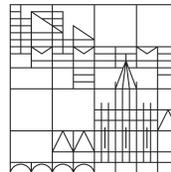
**Theorie und experimentelle Untersuchung
des Einflusses von Interaktionsdesign
auf das räumliche und inhaltliche Gedächtnis**

Diplomarbeit

vorgelegt von
Svenja Leifert

an der

Universität
Konstanz



Mathematisch-Naturwissenschaftliche Sektion

Fachbereich Mathematik und Statistik

1. Gutachter: Prof. Dr. Harald Reiterer
2. Gutachter: Prof. Dr. Michael Junk

Konstanz, Januar 2013

Zusammenfassung

Die Darstellung und Exploration großer Datenräume geschieht immer häufiger in pan- und zoombaren Benutzerschnittstellen, in denen sich der Anwender leicht „verläuft“, wenn er den Kontextbezug verliert. Durch den methodischen Einsatz bestimmter Interaktionsdesign-Komponenten kann versucht werden, solchen Orientierungsproblemen entgegenzuwirken, indem das räumliche Gedächtnis gezielt unterstützt wird.

Im Zentrum dieser Arbeit stehen die Planung und Durchführung eines vergleichenden Experimentes, welches den Einfluss von Gittern auf das räumliche und inhaltliche Gedächtnis analysiert. Untersucht wurden hierfür zum einen der Faktor Anordnung, der die strukturierte oder chaotische Verteilung von Objekten auf der Benutzeroberfläche betrachtet, zum anderen das Ein- beziehungsweise Ausblenden von Gitternetzlinien. Die Ergebnisse zeigten, dass diese zwei Arten der Strukturierung der Benutzeroberfläche beide einen positiven Einfluss auf die räumliche Gedächtnisleistung haben. Aber nur wenn Gitternetzlinien angezeigt werden, hat die strukturierte Anordnung auch einen positiven Einfluss auf das inhaltliche Erinnerungsvermögen. Sind keine Gitternetzlinien vorhanden, so werden inhaltliche Informationen zwar generell besser behalten, jedoch gibt es dann keine Unterschiede zwischen den beiden Anordnungen.

Zusammen mit zwei weiteren quantitativen Experimenten in panbaren beziehungsweise pan- und zoombaren Benutzerschnittstellen zum Einfluss des Eingabegerätes (Maus versus Multi-Touch) auf das räumliche Gedächtnis wird ein vollständigeres Bild der Unterstützungsmöglichkeiten gezeichnet. Darüber hinaus werden Anwendungen diskutiert sowie weiterführende und ergänzende Studien empfohlen.

Abstract

Presentation and exploration of huge data spaces do often take place in panning or zooming & panning user interfaces in which the user goes astray easily if he loses track of the surrounding context. By integrating certain interaction components to support spatial memory into interface design, one could try to counteract problems arising while navigating through huge data spaces.

The centre of this work is the planning and execution of a quantitative experiment which analyses the influence of grids on spatial and content memory. The study examined the factors “visibility of grid lines” and “alignment”, the structural or chaotic arrangement of objects on the canvas. Results suggest that both methods of structuring the canvas have a positive influence on spatial memory. But only if grid lines are visible, content memory is positively influenced by the structural alignment while, if they are hidden, there are no differences between the two alignments. However, in that case results for content memory are generally better than if grid lines are shown.

Together with two additional quantitative experiments exploring the influence of input devices (mouse versus multi-touch) in panning and panning & zooming interfaces, a more thorough picture of supporting spatial memory by prudent interaction design can be drawn. Suggestions for possible usage are made, and future work for further analysis of spatial memory in human-computer interaction is discussed.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theoretischer Hintergrund	9
2.1	Begriffserläuterung: Was ist Gedächtnis?	10
2.2	Forschungsfragen	13
2.3	Verwandte Untersuchungen	16
2.4	Hypothesen	21
2.5	Operationalisierung der Variablen	23
3	Versuchsaufbau und -ablauf	29
3.1	Versuchsdesign	29
3.2	Aufgabenstellung	32
3.3	Stimulidarstellung und -auswahl	37
4	Auswertung der Ergebnisse	41
4.1	Datenerhebung	42
4.2	Ergebnisse	43
4.2.1	Validierung der Hypothesen	44
4.2.2	Iterationseffekte und wiederholte Messungen	47
4.2.3	Aussagen aus den Fragebögen	50
4.2.4	Weitere Beobachtungen	54

5	Folgeexperimente zum Einfluss des Eingabegerätes auf das räumliche Gedächtnis	59
5.1	Hintergrund	60
5.2	Ablauf einer Sitzung	62
5.3	Besonderheiten im Aufbau der beiden Experimente	63
5.3.1	Pan-Experiment	63
5.3.2	Zoom-Experiment	65
5.4	Ergebnisse des Pan-Experimentes	70
5.5	Ergebnisse des Zoom-Experimentes	72
6	Fazit	77
6.1	Rekapitulation und Anwendung der Ergebnisse	78
6.2	Reflexion und Ausblick	80
A	Versuchsmaterialien Gitter-Experiment	83
B	Ergebnisgraphen Gitter-Experiment	87
	Glossar	97
	Quellenverzeichnis	105

Kapitel 1

Einleitung

Die zunehmende Verwendung von zoombaren Benutzerschnittstellen (deren Funktionsweise kurz in *Abschnitt 5.1* beschrieben wird) zur flexiblen Darstellung großer und komplexer Datenräume stellt sowohl Nutzer als auch Entwickler vor völlig neue Probleme und wirft Fragen nach der möglichst benutzerfreundlichen Gestaltung dieser Systeme auf. Von herkömmlichen Anwendungen unterscheiden sich diese Umgebungen in vielfacher Hinsicht und durch unterschiedliche Design-Komponenten wird versucht, sich von älteren Systemen abzuheben. Dies geschieht zum einen rein optisch durch den Aufbau und die visuelle Gestaltung der Benutzerschnittstelle, aber auch durch die Verwendung neuer Interaktionstechniken zur Navigation im virtuellen Raum. Der Einsatz unterschiedlicher Eingabegeräte, wie vor allem die Maus oder (Multi-)Touch-Bedienung, dient der Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit und führt zu einer breiten Auswahl an möglichen Kombinationen, die verwendet werden können, um innovative Interfaces zu gestalten. Was aber sind die größten Unterschiede zwischen alten und neuen Systemen und wie können die Interface-Design-Komponenten eingesetzt werden, um die Benutzbarkeit komplexer Systeme zu erleichtern?

Bei der Betrachtung verschiedener, vor allem herkömmlicher, Anwendungen kommt man nicht umhin zu bemerken, wie viele von ihnen ihre Objekte in einem Gitter anordnen oder dem Benutzer die Möglichkeit geben, eine entsprechende Einstellung zu nutzen. Ein klassisches Beispiel dafür ist der *Windows*-Desktop, der sich in der Default-Einstellung an einer unsichtbaren Gitterstruktur orientiert. Legt der Nutzer Objekte dort ab, werden sie automatisch in das nächste freie Feld gezogen (*snap to grid*). Dabei passt jedes

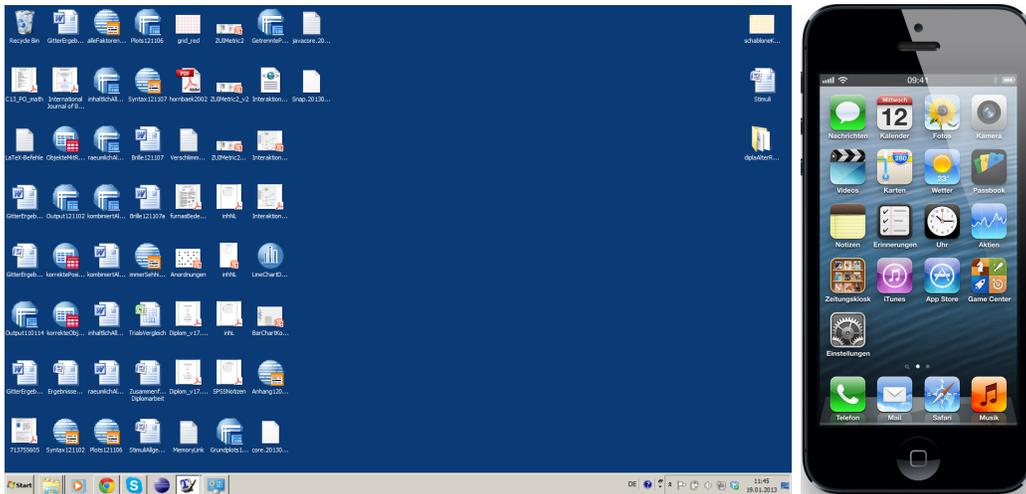


Abbildung 1.1:
 Beispiele für strukturierte Benutzeroberflächen. Screenshot eines Desktops in Windows 7 (links) und Menü eines iPhone 5 ([Apple], rechts).

Objekt genau in ein Feld, sodass es keine Überlappungen gibt. Ein anderes Beispiel ist das *iPhone*-Menü, in welchem die Unterpunkte ebenfalls in einem Gitter angeordnet sind. (Abbildung 1.1)

Insbesondere in umfassenderen Datenräumen und auf größeren Bildschirmen gibt es aber auch Gegenbeispiele. So arbeiten viele der Anwendungen auf (Multi-)Touch-Geräten mit vollkommen freien Anordnungen, in denen eine beliebige räumliche Organisation von Objekten durchaus zugelassen ist. Als Beispiele lassen sich hier visuelle Suchsysteme wie *WeSearch* ([Morris et al.]), *MedioVis 2.0* ([Reiterer et al.]) oder Beispielprogramme auf dem *Microsoft Surface 1.0** ([Microsoft Surface], siehe Abbildung 1.2) nennen. In Anwendungen wie diesen versucht man, Parallelen zwischen der realen und der virtuellen Welt zu schaffen, um dem Benutzer die Navigation im Datenraum zu erleichtern und so intuitiv wie möglich zu gestalten. Die Metapher besteht dabei darin, dass die Objekte ähnlich Realwelt-Dokumenten beliebig auf dem Tisch herumgeschoben und angeordnet werden können. Dazu gehört, dass

*In diesem Fall ist der Multi-Touch-Tisch gemeint, der mittlerweile vom Hersteller als *Microsoft PixelSense* bezeichnet wird, um den ursprünglichen Namen für ein anderes Produkt verwenden zu können. In dieser Arbeit wird jedoch die alte Bezeichnung beibehalten, da sie zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchungen gültig war.

nicht nur eine freie Verteilung der Elemente im Raum zugelassen ist, sondern oft auch Überlappungen oder sogar Stapel auftreten dürfen.

Diese gegensätzlichen Herangehensweisen – Hilfestellung bei der Navigation durch Ordnung beziehungsweise Realitätsnähe – werfen die Frage auf, ob die Anordnung von Objekten auf einer Benutzeroberfläche tatsächlich einen Einfluss auf den Orientierungssinn des Benutzers im Datenraum hat. Da Orientierung durch das Wissen um die strukturelle Umwelt der virtuellen Landschaft bedingt wird, spielt die Erinnerung an zuvor gesehene Elemente eine große Rolle. Die Behaltens-



Abbildung 1.2:
Beispiel für eine „chaotische“ Benutzeroberfläche. Foto-Anwendung auf dem Microsoft Surface 1.0 ([Microsoft Surface]).

leistung für Position und Inhalt von Objekten könnte also ausschlaggebend für das Orientierungsvermögen innerhalb der virtuellen Landschaft sein. Sie kann jedoch durch diverse Faktoren, wie zum Beispiel den Aufbau der Benutzerschnittstelle, beeinflusst werden. So spielt sicher nicht nur die Anordnung von Objekten in der Landschaft eine Rolle, sondern auch weitere strukturelle Hilfsmittel, wie etwa ein besonderer Bildschirmhintergrund oder die Anwesenheit von Landmarken. Dies kann sowohl der inhaltliche Bezug oder die Lage der Objekte zueinander sein, als auch von den Objekten unabhängige visuelle Hilfestellungen, zum Beispiel die Anzeige von Gitternetzlinien, welche die Oberfläche in kleinere Bereiche unterteilen. Obwohl der Anordnung von Objekten auf Benutzeroberflächen oft Gitterstrukturen zugrunde liegen, wird dieses jedoch selten durch entsprechende Markierungen auf dem Hintergrund veranschaulicht. Es stellt sich also die Frage, warum auf diese möglicherweise unterstützend wirkende Hilfestellung verzichtet wird, wenn es darum geht, die Navigation und Orientierung in solchen Systemen zu erleichtern.

Durch eine systematische Untersuchung der oben genannten Einflüsse können Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie Struktur gezielt in graphischen

Anwendungen eingesetzt werden kann, um das Gedächtnis für inhaltliche und räumliche Informationen zu unterstützen. Insbesondere in zoombaren Benutzerschnittstellen, bei denen oft das Risiko besteht, sich in großen Datenräumen zu „verlaufen“, wenn man den Kontext verliert (siehe Phänomen des *desert fog*, [Jul, Furnas]), ist die Erleichterung von Orientierung und Navigation ein wichtiges Streben. Sie könnten von einer bestimmten Art der Anordnung der Objekte oder dem gezielten Einsetzen oder Weglassen von Gittern oder anderen Landmarken profitieren.

Außer diesen statischen, den Aufbau der Benutzeroberfläche betreffenden, Designelementen können noch andere Komponenten einen Einfluss auf die Erinnerungsleistung haben, etwa die Interaktionsmöglichkeiten mit dem System. Zu den wichtigsten Aspekten gehören dabei verschiedene Eingabegeräte (etwa Maus, Touch- oder Stifterkennung), aber auch die Navigationsmöglichkeiten innerhalb der Schnittstelle (zum Beispiel Scrollen, Pannen oder Zoomen). Eine theoretische Betrachtung dieser Faktoren soll im Folgenden nicht stattfinden, doch können Ergebnisse ihrer Untersuchung gemeinsam mit jenen zur Struktur der Oberfläche genutzt werden, um die Gedächtnisunterstützung in der Informatik weiter zu optimieren.

Diese Arbeit wird sich detailliert mit der Frage beschäftigen, welchen Einfluss die beiden Faktoren Anordnung von Objekten auf der Oberfläche und Sichtbarkeit von Gitternetzlinien auf das menschliche Gedächtnis haben. Nach der Erläuterung der theoretischen Hintergründe werden auf Basis verwandter Untersuchungen und Erkenntnisse Hypothesen generiert, die in einem Experiment vorläufig bestätigt oder falsifiziert werden sollen. Dem Abschnitt über Aufbau und Ablauf der Untersuchung folgt eine ausführliche Darlegung der Ergebnisse. Anschließend werden außerdem zwei weitere, verwandte, Experimente vorgestellt, die in den Jahren 2010 und 2011 in der Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Konstanz durchgeführt wurden. Sie betrachten den Einfluss von Eingabegeräten (Maus versus Touch) in panbaren beziehungsweise pan- und zoombaren Benutzerschnittstellen auf das räumliche Gedächtnis. Der Schlussteil rekapituliert die Ergebnisse der drei Experimente, bietet konkrete Handlungsanweisungen, die aus den Resultaten folgen, und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsmöglichkeiten im Gebiet der Gedächtnisuntersuchungen der Mensch-Computer-Interaktion.

Ein Teil der hier vorgestellten Informationen zum Einfluss von Gittern wurde bereits im Rahmen der *Student Research Competition* auf der *Conference*

on *Human Factors in Computing Systems (CHI)* 2011 veröffentlicht, wo die Einreichung beim studentischen Forschungswettbewerb den ersten Platz belegte ([Leifert 2011]). Ausführliche Erläuterungen zur Auswahl der Stimuli finden sich außerdem im zugehörigen Projektbericht ([Leifert 2012]). Eine Masterarbeit ([Schubert]) und eine weitere Publikation, die 2012 auf der *AVI-Konferenz (Applied Visual Interfaces)* vorgestellt wurde ([Jetter et al.]), beschäftigen sich mit den beiden Folgeexperimenten.

Kapitel 2

Theoretischer Hintergrund

In der Mensch-Computer-Interaktion wird zwar viel über den Einfluss, den der Aufbau von Benutzeroberflächen auf die Leistung des Anwenders hat, geforscht, doch geht es dabei meist nur um Geschwindigkeit oder Verständnis. Selten wird auch untersucht, welche Rolle das Gedächtnis spielt, obwohl es Effektivität und Effizienz direkt beeinflussen kann. Um sich mit diesem Thema detaillierter zu befassen, ist es deshalb ratsam, sich der entsprechenden Forschung aus der Kognitionspsychologie zu bedienen, die sich unter anderem mit der Wahrnehmung und dem Lernen beschäftigt.

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Gedächtnisforschung erläutert und die verwendeten Begrifflichkeiten definiert. Des Weiteren werden verwandte Studien aus den Bereichen der Psychologie und der Mensch-Computer-Interaktion vorgestellt und aus dem daraus erhaltenen Vorwissen die in diesem Experiment zu prüfenden Hypothesen gewonnen.

Während der theoretischen Betrachtung sowie Planung und Durchführung der Untersuchung im nächsten Kapitel werden einige Fachbegriffe verwendet, wie sie bei der Studienplanung und -auswertung in der Mensch-Computer-Interaktion benutzt werden. Am Ende dieser Arbeit gibt es für diese Termini ein Glossar, in dem ihre Bedeutung kurz erklärt wird.

2.1 Begriffserläuterung: Was ist Gedächtnis?

Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei unterschiedliche Aspekte des Gedächtnisses betrachtet. Das inhaltliche Gedächtnis bezeichnet hier die Fähigkeit, sich an inhaltliche Informationen von Stimuli zu erinnern. Dies kann sowohl ein sehr abstrakter Wert wie der Name oder die Zugehörigkeit zu einer Klasse (zum Beispiel „Buchstabe“) sein als auch das konkrete Aussehen, Form oder Farbe des Objektes. Die Wahl der Assoziation, die mit einem Element verknüpft wird, kann hier stark zwischen verschiedenen Personen und in Abhängigkeit ihrer Gemütsverfassung oder der Umgebungssituation variieren. Als rein räumliches Gedächtnis wird hier das Vermögen bezeichnet, sich örtliche Zusammenhänge einzuprägen, sich die Lage einzelner Objekte in ihrer Umgebung oder die räumliche Beziehung verschiedener Elemente zueinander zu merken.

Ergebnisse der Gedächtnisforschung deuten darauf hin, dass das räumliche und das inhaltliche Gedächtnis unterschiedliche Komponenten der bildlichen Vorstellung (*imagery*) im Gehirn bilden ([Baddeley], S. 109-113), das heißt, dass man sie in verschiedenen Studien getrennt untersuchen kann. Doch auch wenn sich diese beiden Aspekte der Gedächtnisleistung in der Theorie unabhängig definieren lassen, sind sie in der Praxis nicht immer deutlich voneinander abzugrenzen. Insbesondere im ganz konkreten Anwendungsfall Informationslandschaft merkt man sich selten nur die Position eines Elementes, ohne sich darüber im Klaren zu sein, um welche Art Objekt es sich dabei handelt. In diesem Experiment ist es deshalb nicht sinnvoll, eine eindeutige Trennung zu erzwingen, bei der man für die Untersuchung des räumlichen Gedächtnisses jegliche visuellen Reize ausschalten und bei der Betrachtung der inhaltlichen Erinnerungsleistung vollständig auf räumliche Aspekte verzichten müsste. Vielmehr soll hier ein Kompromiss eingegangen werden, der zum einen die Realitätsnähe nicht verliert, es zum anderen aber auch erlaubt, verschiedene Komponenten des Gedächtnisses theoretisch zu beleuchten.

Die Messung einer Variablen „Gedächtnisleistung“ ist zwar auch in der Psychologie keine leichte Aufgabe, es gibt dort aber verschiedene Möglichkeiten, das Erinnerungsvermögen zu testen. Dabei lassen sich die Methoden grob in zwei verschiedene Klassen unterteilen. Sie untersuchen entweder direkt die Erinnerung oder beschäftigen sich vielmehr mit der wesentlich einfacher zu untersuchenden Wiedererkennung (*recall and recognition*). Während *recall* hier die Fähigkeit beschreibt, sich aus freien Stücken und ohne Hilfestellung

an etwas zu erinnern, wird der Proband bei der *recognition* mit einem Reiz konfrontiert, der Erinnerung zur Folge haben soll. Dies kann zum Beispiel so vonstatten gehen, dass eine Auswahl vorgegeben wird, aus der entweder das gesuchte Element ausgewählt werden soll; dass die Testperson entscheiden muss, ob ein Element in einer Menge von Objekten vorkam, oder ob Änderungen daran vorgenommen wurden.

Im Kontext der Informatik ist das Wiedererkennen eine häufig durchgeführte Aufgabe, zum Beispiel beim Versuch, ein bereits bekanntes Dokument auf der Festplatte eines Rechners erneut zu finden. Bei herkömmlichen Betriebssystemen, etwa *Microsoft Windows*, könnte sich der Nutzer im besten Fall den Pfad im Stil von `C:\Dokumente\Studium\Diplomarbeit.pdf` merken, der die Verortung der Datei beschreibt und es ermöglicht, sie direkt mit der Kommandozeile zu aufrufen. Selten jedoch kennt ein durchschnittlicher Anwender alle Dateipfade auswendig, sodass er stattdessen gezwungen ist, Schritt für Schritt in die Ordnerstruktur hineinzutauchen. In jedem Ordner muss er dann unter den angebotenen Alternativen das Element finden, welches ihn seinem Ziel näher bringt, sei es ein weiterer Unterordner, ein abkürzender Verweis oder das Dokument selbst – eine Aufgabe, die auch durch das Wissen über die umgebenden Elemente erleichtert wird.

Vor allem in zoombaren Benutzerschnittstellen wird außerdem gerne versucht, alle Dateien gleichzeitig darzustellen, um ständige Fenster- und damit Kontextwechsel zu vermeiden, sodass der Nutzer ohne Unterbrechungen und fließend von einem Objekt zum nächsten gelangen kann. Die Objekte werden dafür zum Beispiel alle auf der Oberfläche angeordnet und durch ein Hineinzoomen können sie geöffnet werden (vergleiche *Abbildung 2.1*). Je besser sich der Anwender die Posi-



Abbildung 2.1:

Ausschnitt aus einer zoombaren Benutzerschnittstelle, bei der alle Objekte (hier: Filme) auf der Oberfläche dargestellt sind. [Reiterer et al.]

tionen der Dateien merken kann, desto leichter fällt es ihm, das jeweils gewünschte Element zu finden. Wie diese Anwendungsbeispiele zeigen, bildet das Experiment also einen realen Fall ab, wenn der Proband mit einer Ansammlung von Objekten konfrontiert wird, die er sich einprägen soll, um später die Anordnung rekonstruieren zu können. Obwohl diese Situation im Anwendungskontext oft auch in dynamischen Umgebungen vorkommt, in denen man zumindest scrollen oder zoomen kann, soll hier auf die Möglichkeit der Interaktion durch den Nutzer verzichtet werden, um störende Drittvariablen auszuschließen und den Aufbau des Experimentes so einfach zu halten, dass Effekte in den abhängigen Variablen direkt auf eine Änderung der unabhängigen Faktoren zurückzuführen sind. In diesem Fall muss man also einen Kompromiss zwischen Realität und Kontrollierbarkeit der Untersuchung eingehen, weshalb ein statisches Setting gewählt wird, das eine anwendungsorientierte Wiedererkennungsaufgabe beinhaltet. Hier sollen weder die Zeit noch die Genauigkeit gemessen werden, mit der einzelne Stimuli gefunden werden, sondern es wird vielmehr ermittelt, wie die Einprägung des Gesamtbildes der vorhandenen Objekte von verschiedenen Anzeigemodi abhängt. Die Aufgabe des Teilnehmers lautet also, dass er sich zuerst die ihm präsentierte Benutzeroberfläche einprägen soll und sie später wieder zu rekonstruieren gebeten wird.

Ziel ist es dabei zwar, die räumlichen und inhaltlichen Gedächtnisleistungen getrennt voneinander zu messen, doch da dies einen unverhältnismäßigen Mehraufwand bei der Versuchsdurchführung bedeutet hätte und der Versuchsaufbau dadurch sehr artifiziell geworden wäre, wurde darauf verzichtet, einen eigenen Test für jeden Aspekt des Erinnerungsvermögens durchzuführen. Stattdessen wird versucht, während der Untersuchung solche Daten zu messen, mit denen sich in der Auswertung Ergebnisse getrennter Tests simulieren lassen. Natürlich kann man die Resultate nicht direkt übertragen und sie sind in keinem Fall mit den Ergebnissen getrennter Untersuchungen gleichzusetzen, doch bieten sie einen guten Anhaltspunkt dafür, welche Daten man in einer ausführlicheren Untersuchung erhalten hätte.

Die Begriffe Gedächtnis und Erinnerung werden hier analog verwendet, ebenso die Leistung und das Vermögen, etwas verinnerlichen zu können. Das Experiment wird auch als Studie, Untersuchung oder Test bezeichnet und mit Testpersonen, Probanden und Versuchspersonen sind die Teilnehmer daran gemeint.

2.2 Forschungsfragen

Im Fokus dieser Studie steht die Untersuchung verschiedener Interface-Design-Komponenten, welche in einem statischen Kontext das räumliche und inhaltliche Erinnerungsvermögen beeinflussen können. Dabei ist es notwendig, sich auf die wichtigsten Aspekte zu beschränken, um die theoretischen Annahmen auf die Ebene von empirisch prüfbareren Hypothesen hinunterbrechen zu können, ohne währenddessen durch die Komplexität und Vielzahl an möglichen Faktoren die Qualität der Untersuchung zu gefährden. Deshalb beschäftigt sich diese Studie zum einen mit der Anordnung der Elemente auf der Benutzeroberfläche, das heißt, der Verteilung von Objekten im Raum. Zum Anderen ist die Anzeige von Gitternetzlinien im Hintergrund der Anwendungslandschaft von großer Bedeutung, da auch sie, insbesondere in Verbindung mit der passenden Anordnung, einen deutlichen Einfluss auf die Gedächtnisleistung haben kann.

Wie bereits einleitend beschrieben wurde, ist die Anordnung von Elementen auf der Benutzeroberfläche oft ein Aushängeschild für eine gewisse Art von Anwendung, die bestimmte Interaktionsmöglichkeiten suggeriert. Programme auf Multi-Touch-Geräten erlauben meist die freie Verteilung von Objekten im Raum, da der Anwender oft die Möglichkeit hat, sie nach Belieben zu verschieben und zu drehen (zum Beispiel weil er an einem Tisch auf der gegenüberliegenden Seite steht). Digitale Bilder wie in *Abbildung 1.2* können etwa – echten Fotos gleich – auf einem Tisch ausgelegt und bewegt werden, sodass eine hohe Flexibilität und große Realitätsnähe entsteht. Eine Vielzahl von Programmen (zum Beispiel [Microsoft Surface] oder [Reiterer et al.]) versuchen dadurch, reale Vorgänge so direkt wie möglich auf die digitale Welt zu übertragen und schaffen auf diese Weise Umgebungen, die natürlich sind, aber auch chaotisch insofern, dass die Objekte frei auf dem Bildschirm herumliegen – zum Teil ohne dass ihnen eine offensichtliche Struktur zugrunde liegt. Dem gegenüber stehen klassische Desktop-Anwendungen oder auch in Icons verpackte Menüstrukturen wie die von vielen Smartphones, auf welchen die verschiedenen Apps in Zeilen und Spalten auf dem Bildschirm angeordnet sind (siehe *Abbildung 1.1*). Sortiert sind sie dabei nach verschiedenen Aspekten wie dem Alphabet, der Nutzungshäufigkeit, Speicherdatum oder Dateityp und Überschneidungen von Elementen treten für gewöhnlich nicht auf. In den Ordnerstrukturen der gängigen Betriebssysteme hat der Anwender zwar die Möglichkeit, die Dateien nach seinen Vorstellungen zu

sortieren, jedoch immer nur im Rahmen der vorgegebenen Gitterstruktur, deren Felder von links nach rechts und oben nach unten belegt werden. So ist es etwa auch nicht möglich, Objektgruppen durch Abstände räumlich voneinander abzugrenzen oder zu clustern, sie also in Gruppen einzuteilen. Nun stellt sich aber die Frage, ob diese Visualisierung nur aus Bequemlichkeit gewählt wurde, weil sie besonders einfach zu programmieren ist, oder ob sie absichtlich verwendet wird, um durch die vorgegebene Ordnung das Suchen und Finden von Objekten zu erleichtern. Dass das räumliche Erinnerungsvermögen durch die strukturierte Gliederung von Elementen entlastet wird, ist vor allem in der realen Welt eine gängige Annahme. Das Gesellschaftsspiel Memory ist ein gutes Beispiel dafür, wie Menschen versuchen, durch Ordnung das Gedächtnis zu unterstützen, indem die verdeckten Karten zu Beginn des Spiels in Reih und Glied ausgelegt werden (siehe *Abbildung 2.2*). Fraglich ist, ob es sinnvoll ist, solcherlei Taktiken direkt auf die digitale Welt zu übertragen. Deshalb sollen mit diesem Experiment im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion folgende Fragen zur Anordnung von Objekten im virtuellen Raum beantwortet werden:



Abbildung 2.2:
Ausgelegte Memory-Pappkärtchen im Spielverlauf.

*Wie beeinflusst die **Anordnung** von Elementen auf einer Benutzeroberfläche die Gedächtnisleistung bezüglich der Position und des Inhalts von Objekten? Hilft eine zugrunde liegende Gitterstruktur gegenüber einer freien Anordnung der Elemente, das Erinnerungsvermögen für Ortsinformationen zu verbessern?*

Aber nicht nur die Aufteilung der Benutzeroberfläche kann eine entscheidende Rolle spielen, sondern auch die Anzeige bestimmter Landmarken, die möglicherweise optische Hilfsmittel zur Orientierung darstellen. Neuartige Anwendungen verzichten jedoch ebenso oft auf visuelle Hilfestellungen wie herkömmliche Benutzerschnittstellen, selbst wenn dadurch das Risiko eingegangen wird, dass mit der Hinzunahme der dritten Dimension und damit des Zooms eine deutliche Erschwernis von Navigation und Orientierung einhergeht. Auf Papier werden hingegen häufiger Gitter genutzt, etwa zur übersichtlicheren Gestaltung von Landkarten und Stadtplänen (vergleiche

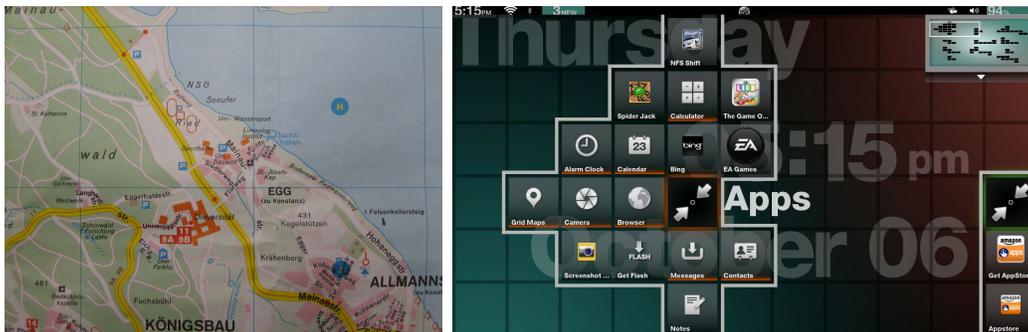


Abbildung 2.3:

Ausschnitt eines Faltpplans aus Papier (links), bei dem Linien die Landschaft mit einem Raster versehen, und seltenes Beispiel für ein System, bei dem die zugrundeliegende Gitterstruktur auf dem Desktop visualisiert ist ([Bradford], rechts).

Abbildung 2.3, links). Dort kann man sich an nicht nur bei der Suche nach einem bestimmten Objekt an den Linien orientieren, sondern sie auch bei eventuellen Seitenwechseln als Referenz verwenden, um die Umbruchstelle leichter zu finden. Doch obwohl diese Art von abrupten Übergängen auch in der digitalen Welt vor allem in großen Datenräumen immer häufiger auftritt – sei es beim schnellen Pannen oder dem durch einen Zoom verursachten Kontextbruch – gibt es dort keinen hilfreichen Referenzrahmen, der die Orientierung erleichtert. Selbst in statischen Umgebungen könnte die Anzeige von Linien, welche die Oberfläche in kleinere Felder unterteilen (vergleiche etwa *Abbildung 2.3*, rechts), bereits das räumliche Gedächtnis beeinflussen. Auf der einen Seite könnten sie helfen, Positionen mental besser im Raum zu verlinken, auf der anderen Seite darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass die zusätzliche visuelle Information, welche das Gitter liefert, auch negative Nebeneffekte haben kann. Sie könnte einen kognitiven Mehraufwand verursachen, der zwar das räumliche Erinnerungsvermögen unterstützt, dabei aber die Aufmerksamkeit von anderen Wahrnehmungsaspekten ablenkt. Dies könnte zur Folge haben, dass etwa das inhaltliche Gedächtnis negativ durch die Anzeige von Gitternetzlinien beeinflusst wird. Ob das allerdings der Grund dafür ist, dass Linien in bestehenden Systemen nicht verwendet werden, ist fraglich. Naheliegender ist, dass die als unästhetisch empfundenen Gitter nicht in das Designkonzept vieler Anwendungen passen. Unabhängig von einem möglichen, den Entwicklern unbekanntem, Mehrwert von Gitternetzlinien wird diese visuelle Ergänzung schon von vorneherein verworfen,

da ihr Einfluss auf die menschliche Wahrnehmung und das räumliche und inhaltliche Gedächtnis im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion noch nicht ausreichend untersucht wurde. Um diesem Problem auf den Grund zu gehen, soll hier also auch die folgende Frage zur Darstellung dieser Art von Landmarken beantwortet werden:

*Beeinflusst die **Anzeige von Gitternetzlinien** auf einer Benutzeroberfläche die Gedächtnisleistung bezüglich der Position und des Inhalts von Objekten?*

Um sich dieser Thematik zu nähern sollen zuerst verwandte Studien der Psychologie und Informatik betrachtet werden, um bereits gesammeltes Wissen bestmöglich einsetzen und als Grundlage verwenden zu können.

2.3 Verwandte Untersuchungen

Begibt man sich auf die Suche nach Veröffentlichungen zum Thema Anordnung, so findet man in der Literatur lediglich Studien, die mit dem hier geplanten Experiment wenig gemein haben. Ein Unterschied zwischen verschiedenen Anordnungen tritt oft nur als Nebenprodukt auf und wird auch eher im Rahmen von Erkennungsexperimenten, in denen Probanden nur wenige Millisekunden lang mit einem Stimulus konfrontiert werden, als in Gedächtnis-Untersuchungen betrachtet.

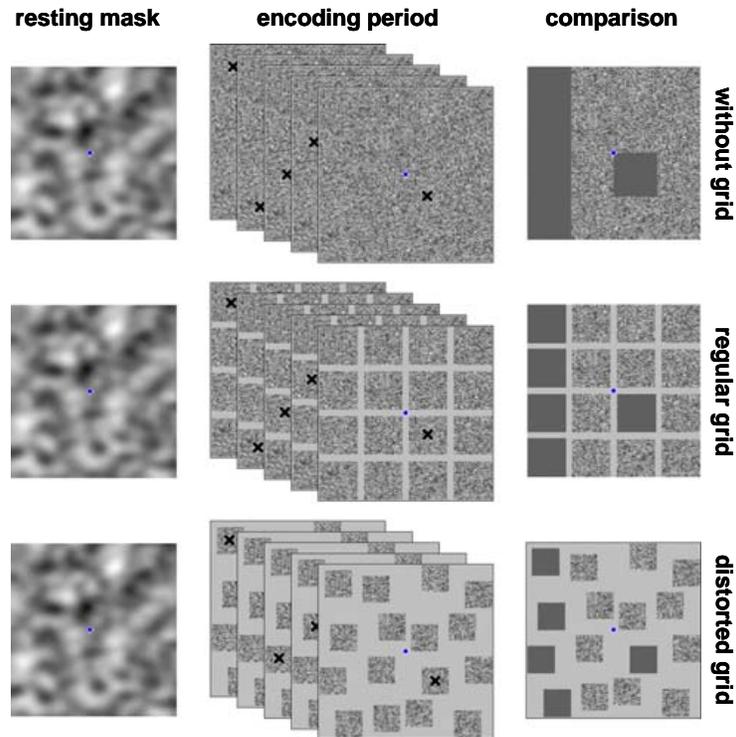
Sichtbare Gitternetzlinien werden in der Kognitionspsychologie zwar häufig genutzt, um Stimuli systematisch anzuordnen (etwa bei [Cestari et al.]) oder Aspekte des räumlichen Gedächtnisses zu überprüfen, indem eine Fläche in kleinere Felder unterteilt wird (zum Beispiel [Martin et al.]), hingegen sind sie nur in wenigen Einzelfällen selbst Gegenstand der Untersuchung.

Mitunter wird sogar bewusst auf die Verwendung von Gitternetzlinien verzichtet, „because it [= eine Matrix aus Gitternetzlinien] provided a structured context within which locations could be purposefully anchored“ ([Puglisi et al.], S. 109), jedoch ohne dass diese Argumentation wissenschaftlich belegt ist. Es wird davon ausgegangen, dass nicht nur die Anordnung von Elementen auf der Oberfläche eine wichtige Rolle spielen kann, sondern auch die visuelle Darstellung der zugrunde liegenden Gitterstruktur. Nur wenige Untersuchungen selbst in der Kognitionspsychologie beschäftigen sich jedoch direkt mit dem Einfluss dieser beiden Designkomponenten – Anordnung und

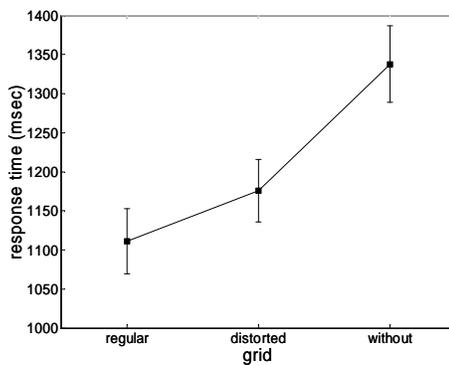
Anzeige von Gitternetzlinien – auf die menschliche Wahrnehmung und Informationsverarbeitung im Gehirn.

Zu den wenigen Studien, die Gitter zwar nicht explizit untersuchen, als Nebenprodukt ihrer Experimente zum räumlichen Gedächtnis aber trotzdem Ergebnisse erhalten, die als Anhaltspunkte für mögliche Resultate der hier geplanten Untersuchung dienen könnten, gehört eine von [Martin et al.] durchgeführte Studie, welche die unterschiedliche Codierung durch das Gehirn zwischen kategorischen räumlichen Beziehungen und jenen, denen Koordinaten zugrunde liegen, betrachtet. Verglichen wurden drei Bedingungen: eine ohne unterstützende optische Hilfsmittel, eine, in der ein Raster die Oberfläche teilt (reguläres Gitter), und eine, in der die durch das Raster gebildeten Quadrate zueinander verschoben sind (verzerrtes Gitter, siehe *Abbildung 2.4(a)*). Vor Beginn der Aufgabe wurde dem Teilnehmer ein „Pausenbildschirm“ mit einem melierten Muster gezeigt, der Übertragungseffekte aus den Aufgaben maskieren, also überdecken sollte. Der Proband wurde gebeten, stets in die Mitte des Bildes zu gucken, die mit einem blauen Fixationspunkt markiert war. Anschließend wurde für etwas mehr als eine Sekunde einer der oben genannten verschiedenen Hintergründe dargestellt, auf dem dann für 67 Millisekunden ein Kreuz angezeigt wurde, für das der Teilnehmer sich an der entsprechenden Stelle ein schwarzes Quadrat vorstellen sollte. Danach wurde wieder für etwas mehr als drei Sekunden der leere Hintergrund gezeigt und der Vorgang mit Kreuzen an anderen Stellen so oft wiederholt, dass insgesamt an fünf Stellen Markierungen dargestellt worden waren. Nach einer kurzen Pause bekam der Proband eine Vergleichskonfiguration angezeigt, in welcher der verwendete Hintergrund und fünf schwarze, darauf verteilte Quadrate präsentiert wurden. Der Teilnehmer hatte nun zwei Sekunden lang Zeit, sich zu entscheiden, ob die durch die Quadrate markierten Positionen jenen entsprachen, auf denen zuvor die Kreuze zu sehen gewesen waren. Der Versuch ergab, dass beim regulären Gitter die wenigsten Fehler gemacht wurden, ganz ohne Gitter die meisten. Ähnlich verhielten sich die Bearbeitungszeiten, die zum Lösen der Aufgabe benötigt wurden. Auch dort schnitt das reguläre Gitter am besten ab, gefolgt vom verzerrten und dem gitterlosen Feld (siehe *Abbildung 2.4 (b) und (c)*).

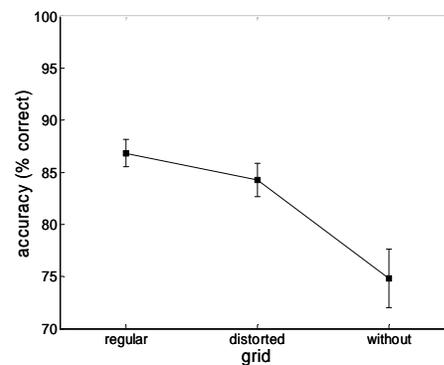
Einen Anhaltspunkt für die mögliche Auswirkung, welche die Anwesenheit von Gitternetzlinien auf die Leistung des inhaltlichen Gedächtnisses haben könnte, liefert [Biederman], der in einem Experiment zur Objektidentifizierung den Einfluss von Tiefenwahrnehmung untersuchte.



(a) Vergleich von gitterloser Landschaft (oben) mit regulärem (Mitte) und verzerrtem (unten) Gitter. Pausenbildschirm (links), Stimulipräsentation (Mitte) und Abfrage (rechts).



(b) Reaktionszeit in Millisekunden für reguläres (links) und verzerrtes (Mitte) Gitter, sowie leeren Hintergrund (rechts).



(c) Genauigkeit in prozentualer Korrektheit für reguläres (links) und verzerrtes (Mitte) Gitter, sowie leeren Hintergrund (rechts).

Abbildung 2.4: Versuchsablauf und -ergebnisse bei [Martin et al.].

Dabei wurden Gegenstände, die von den Probanden erkannt werden sollten, vor einem leeren oder mit einem perspektivisch Tiefe simulierenden Gitter versehenen Hintergrund präsentiert. Um Verzerrungen des Ergebnisses wegen der Hinzunahme der durch die zusätzlichen Linien erzeugten visuellen Reize zu entdecken, wurde außerdem in einer Kontrollbedingung mit einem einfachen Gitter im Hintergrund verglichen. Zuerst wurden die Probanden gebeten, ein Wort laut vorzulesen, dann wurde ihnen für 200 Millisekunden eines der Bilder (siehe *Abbildung 2.5*) kurz gezeigt. Eine der zuvor belegten Positionen wurde in der nächsten Ansicht für 500 Millisekunden vor einem leeren Hintergrund durch einen Punkt markiert und die Versuchspersonen mussten entscheiden, ob das so markierte Objekt mit dem zuvor gelesenen Wort übereinstimmte. In diesem Fall unterschieden sich die Ergebnisse für den mit einem Gitter versehenen und dem leeren Hintergrund weder bezüglich der Fehlerrate noch der Bearbeitungszeit voneinander. Hier ging es jedoch nur um das Erkennen einzelner Stimuli im Raum und nicht um das Verhältnis der Elemente zueinander.

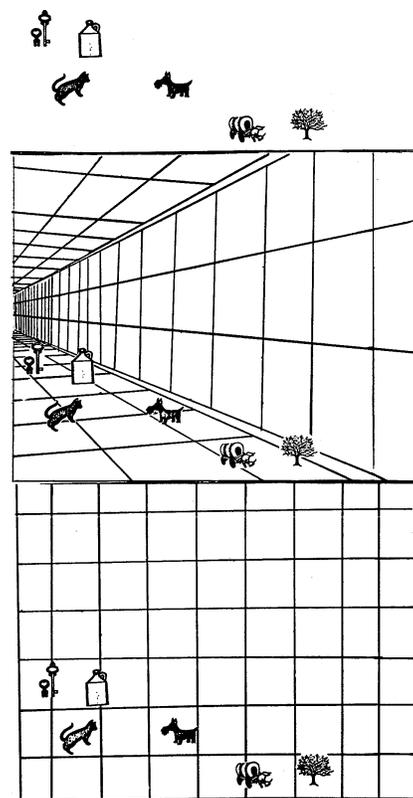


Abbildung 2.5:
Gitter bei [Biederman].

Viele der kognitionspsychologischen Experimente sind allerdings in Aufbau und Ablauf sehr artifizuell gestaltet, was notwendig ist, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Allgemeinheit zu gewährleisten. So wurden und werden dort oft Tachistoskope verwendet, die eine Reihe von Stimuli in einer festgelegten zeitlichen Reihenfolge mit Präsentationszeiten, die meist im Millisekundenbereich liegen, wiedergeben. Die Darbietungszeit entspricht also selten den in der Realität auftretenden Beobachtungsintervallen, sodass sich diese Art von Wahrnehmungsexperimenten nur schlecht in Studien der Mensch-Computer-Interaktion verwenden lassen. Stattdessen sollte hier die Realitätsnähe durch längere Präsentationszeiten und Mehrdimensionalität des Datenraums geschaffen werden, auch wenn durch eine geringere

Kontrollierbarkeit Störvariablen in Kauf genommen werden müssen. Des Weiteren ist in diesem Fall ein natürlicherer Versuchsaufbau erstrebenswerter als die durch die Betrachtung von Stimuli durch das Tachistoskop verursachte künstliche Situation, die meist wenig mit der Benutzung von Computern im Alltag gemein hat. Der Grund dafür ist, dass sich psychologische Experimente vor allem mit übertragbarer Grundlagenforschung beschäftigen, anstatt konkrete Anwendungsszenarien zu testen. Letzteres ist allerdings ein großes Anliegen der Mensch-Computer-Interaktion, in der sich jedoch bis jetzt nur wenige Studien mit der Untersuchung des Gedächtnisses und seiner Beeinflussung durch unterschiedliche Hard- und Software-Komponenten beschäftigt haben, denn erst nach und nach wird auch in diesem Fachgebiet die Notwendigkeit und Möglichkeit der Unterstützung der Erinnerungsleistung durch Benutzerschnittstellen akzeptiert und erforscht.

Gedächtnisstudien in der Mensch-Computer-Interaktion. Obwohl einige Systeme bereits mit Hilfe von Gedächtnisexperimenten untersucht wurden, etwa *Data Mountain*, ein Browser-Favoritensystem von [Robertson et al.], so diente dies meist der Evaluierung der spezifischen Anwendung und erhob nicht den Anspruch, sich auf die Allgemeinheit übertragen zu lassen. Dies öffnet eine Art Kluft zwischen den beiden Fachdisziplinen Psychologie und Informatik, die ihre verschiedenen Schwerpunkte in der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf der einen und Realitätsnähe der Untersuchung auf der anderen Seite sehen.

Nur wenige Experimente sind wie das von [Tan et al.] darauf ausgelegt, Grundlagenforschung im Sinne der Mensch-Computer-Interaktion zu betreiben und Ergebnisse zu erhalten, die einen größeren Geltungsbereich abdecken. Untersucht wurde dort der Einfluss auf das räumliche Gedächtnis durch zwei verschiedene Eingabegeräte (Maus versus Touch) beim Platzieren von Objekten auf der Oberfläche. Auch wenn diese Studie hilfreiche Inspirationen für den Aufbau und Ablauf von Gedächtnisexperimenten in der Mensch-Computer-Interaktion liefern kann, trägt sie jedoch nicht zur Hypothesenbildung für die Betrachtung des Einflusses von Gittern bei, da Anordnung und Struktur der Oberfläche dort nicht Gegenstand der Untersuchung waren. Sie lässt sich jedoch als Anregung für Folgeuntersuchungen zum Vergleich verschiedener Eingabegeräte auf das räumliche Gedächtnis in unterschiedlichen virtuellen Umgebungen verwenden (siehe *Kapitel 5*).

2.4 Hypothesen

Mit Hilfe der in *Abschnitt 2.3* beschriebenen verwandten Untersuchungen kann man nun die zu überprüfenden Hypothesen formulieren. Da sich nur wenige der oben genannten Forschungsarbeiten direkt auf dieses Experiment übertragen lassen, ist die hier durchgeführte Studie vor allem explorativ und kann sich nur sehr bedingt auf vorangegangene Arbeiten beziehen.

Die Ergebnisse werden für die beiden Faktoren Anordnung (O) und Sichtbarkeit von Gitternetzlinien (L) getrennt betrachtet. Unterschiede werden auch jeweils zwischen dem räumlichen (r) und inhaltlichen (i) Gedächtnis erwartet. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Verwendung von Struktur das räumliche Gedächtnis unterstützt und somit bessere Ergebnisse erzielt werden, je organisierter die Oberfläche gestaltet ist, während nicht mit positiven Auswirkungen auf das inhaltliche Gedächtnis zu rechnen ist.

Angegeben sind hier jeweils nur die Alternativhypothesen H_1 , welche die von mir erwarteten Haupteffekte der unabhängigen auf die abhängigen Variablen beschreiben.

$H(O, r)_1$: *Sind Objekte in geraden Zeilen und Spalten angeordnet, so lassen sich ihre Positionen im Raum besser merken, als wenn sie dazu verschoben sind.*

Es wird vermutet, dass das menschliche Gehirn strukturiert vorliegende Informationen, etwa an einem Gitter ausgerichtete Elemente, leichter abspeichern kann als ohne, was vor allem am Verhältnis der Objekte zueinander liegt. Die räumlichen Relationen zwischen den Feldern lassen sich in ganzen Zahlen und mit einfachen erzählerischen Mitteln verarbeiten, etwa „Das Haus ist rechts über dem Baum.“ Liegt keine geordnete Struktur vor, so ist es wesentlich schwieriger, genaue Positionen zu beschreiben. Um in solchen Fällen einen Ort exakt anzugeben, müssen kleinere Einheiten anstelle von ganzen Feldern und rationale* Zahlen verwendet werden, zum Beispiel „Das Haus ist eineinhalb Felder rechts und ein halbes über dem Baum.“ Des Weiteren legt die Wahrnehmungsstudie von [Martin et al.] nahe, dass in regelmäßigen Gittern angeordnete Objekte schneller und leichter erkannt

*Irrationale Verschiebungen können außer Acht gelassen werden, weil das menschliche Auge nur eine begrenzte Auflösung hat ([Bammel, Gerding]), ebenso wie Bildschirme, auf denen sich alle Entfernung einfach als eine Anzahl von Pixeln angeben lassen. Abstände zwischen Objekten sind dort also immer diskret.

werden als in verschobenen Gittern. Es ist also davon auszugehen, dass bei der auf diese Wahrnehmung aufbauenden Gedächtnisleistung ein ähnlicher Effekt auftritt.

$H(O, i)_1$: *Ob Objekte in geraden Zeilen und Spalten angeordnet oder dazu verschoben sind, wirkt sich nicht auf die inhaltliche Gedächtnisleistung aus.*

Die Einwirkungen auf das räumliche Gedächtnis lassen sich nicht auf die inhaltliche Erinnerungsleistung übertragen. Zwar gibt es hier keine Möglichkeit, sich an bereits durchgeführten Untersuchungen zu orientieren, doch sollte die verschiedenartige Verortung von Objekten auf der Oberfläche keinen Einfluss auf das Vermögen haben, sich inhaltliche Informationen eines Objektes zu merken.

$H(L, r)_1$: *Die Position von Objekten im Raum lässt sich besser merken, wenn im Hintergrund Gitternetzlinien angezeigt werden.*

Beim Faktor Sichtbarkeit der Gitternetzlinien können für das räumliche Erinnerungsvermögen ähnliche Annahmen getroffen werden wie bei der Anordnung. Wie die Untersuchung von [Martin et al.] gezeigt hat, werden Positionen in einer mit Gitternetzlinien durchzogenen Umgebung besser und schneller wahrgenommen. Hier kann man also davon ausgehen, dass die Linien bei der Speicherung der räumlichen Daten im menschlichen Gehirn eine unterstützende Rolle einnehmen. Wer sich an ihnen orientiert, kann die Position der Elemente auf der Oberfläche, selbst wenn sie zum dargestellten Gitter verschoben sind, deutlich besser bestimmen und somit auch speichern.

$H(L, i)_1$: *Die Anzeige eines Gitters im Hintergrund hat keinen positiven Einfluss auf die inhaltliche Gedächtnisleistung für Objekte.*

Betrachtet man das inhaltliche Gedächtnis, so können die sichtbaren Gitternetzlinien keinen positiven Einfluss auf das Erinnerungsvermögen haben. Im Gegenteil: Die zusätzliche optische Information könnte sogar einen Mehraufwand bei der Verarbeitung der Sinneseindrücke bedeuten und so eine Verschlechterung der Gedächtnisleistung zur Folge haben. Die Ergebnisse der Studie von [Biederman] unterstützen die Annahme, dass zumindest kein positiver Einfluss durch die Anzeige von Linien auftritt, da dort bezüglich der Wahrnehmung konkreter Objekte keine Unterschiede zwischen dem leeren und mit einem Gitter versehenen Hintergrund auftraten. Im Gegensatz zu

diesem recht einfachen Wahrnehmungsexperiment soll sich in der hier geplanten Gedächtnisstudie jedoch die Aufmerksamkeit nicht auf ein einzelnes Element konzentrieren, sondern eine Menge von Objekten abdecken, was eine größere kognitive Leistung erfordert, die anfälliger für Ablenkungen wie zusätzliche visuelle Reize ist.

2.5 Operationalisierung der Variablen

Auch hier wird zwischen den unabhängigen Variablen Anordnung (O) und Sichtbarkeit von Gitternetzlinien (L) im Gegensatz zu den abhängigen Variablen räumliches (r) und inhaltliches (i) Gedächtnis unterschieden. Durch eine klare Operationalisierung der Faktoren soll in Verbindung mit einem sauberen und kontrollierten Versuchsaufbau und -ablauf versucht werden, Einflüsse durch Störfaktoren so weit wie möglich auszuschließen, um die Komplexität der Studie auf ein Minimum zu reduzieren und auf diese Weise eindeutig die Einflüsse der unabhängigen auf die abhängigen Variablen identifizieren zu können.

Anordnung der Elemente (O). Die Verteilung von Objekten auf der Oberfläche kann viele verschiedene Formen annehmen. Abhängig davon, ob Überlappungen von Elementen zugelassen sind, können sie fast beliebig auf der zur Verfügung stehenden Fläche angeordnet werden. Die am häufigsten vorkommenden Verteilungen, auf welche man heutzutage in der Informatik trifft, sind außer der freien Anordnung das Clustering, also die Einteilung von Elementen in Gruppen, und die an einem Gitter ausgerichtete Orientierung, wobei sich für gewöhnlich die verschiedenen Objekte nur wenig bis gar nicht überschneiden dürfen, um die Sichtbarkeit aller dargestellten Elemente sicherzustellen (siehe *Abbildung 2.6*). Da der geclusterten Aufteilung des Bildschirms jedoch oft eine Sortierung durch den Nutzer zugrunde liegt, die in diesem statischen Aufbau nicht erzeugt werden soll und weiterhin sehr große Unterschiede zwischen den Erinnerungsleistungen verschiedener Versuchspersonen hervorrufen könnte, wird diese Art der Anordnung hier nicht näher betrachtet.

Um lediglich zu zeigen, dass die Anordnung der Elemente auf der Oberfläche einen Einfluss auf die Gedächtnisleistung hat und um die Komplexität des Experimentes möglichst gering zu halten, reicht es aus, sich auf

die anderen beiden Anordnungen zu beschränken, die sich entweder direkt am Gitter orientieren oder deren Elemente frei auf der Fläche verteilt sind. In beiden Fällen muss aber darauf geachtet werden, jedem Quadranten des Bildschirms gleich viele Objekte zuzuordnen, um zu verhindern, dass Unterschiede in der Verteilung der Elemente bei verschiedenen Versuchsbedingungen einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Diese Vorsichtsmaßnahme beruht auf der Vermutung, dass die in Leserichtung zuerst vorkommenden Objekte (das heißt, in unserem Kulturkreis jene im linken oberen Quadranten) schneller wahrgenommen und daher auch besser behalten werden. [Chan, Bergen]

Von jeder dieser beiden Anordnungen – Orientierung der Elemente am unsichtbaren Gitter und dazu verschobene Objekte – wird ein einziger Vertreter ausgewählt, um das Vorhandensein eines Einflusses allgemein untersuchen zu können, ohne durch verschiedene Abstufungen von „Unordnung“, die Stärke ihrer Auswirkung zu betrachten. Auch hier wird also versucht, die Komplexität des Experimentes niedrig zu halten und lediglich Zusammenhänge zu eruieren, ohne deren Größe zu ermitteln.

Die zwei Anordnungen werden im folgenden als „strukturiert“, also am Gitter ausgerichtet, und „chaotisch“, das heißt, von einer strukturierten Anordnung ausgehend zufällig verschoben, bezeichnet. Für beide Faktorstufen wird darauf geachtet, Cluster zu vermeiden, um Hilfestellungen für Gedächtnisstrategien weitestgehend zu verhindern. Die Anzahl der verwendeten Objekte und deren Aufteilung hängt unmittelbar von der Auflösung des Gitters ab, welches im nächsten Abschnitt ausführlicher erläutert wird.

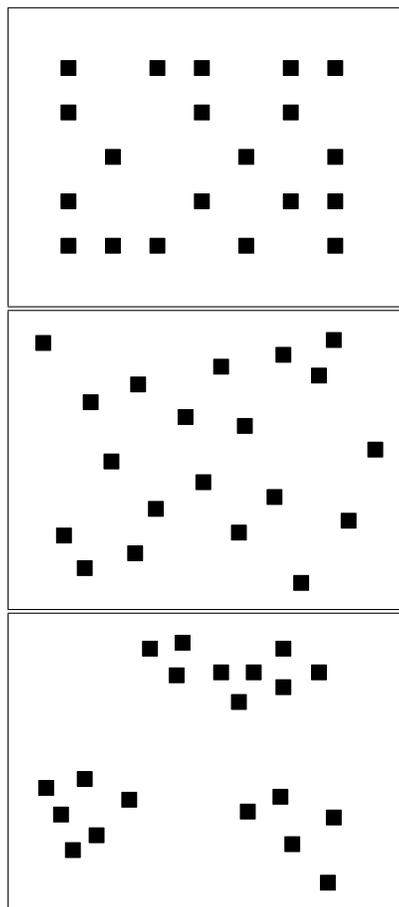


Abbildung 2.6:
Beispiele für verschiedene Anordnungen. Am Gitter ausgerichtet (oben), freie Verteilung (Mitte) und Cluster (unten).

Sichtbarkeit von Gitternetzlinien (L). Dieser Faktor hat im Wesentlichen zwei Stufen, nämlich das Verstecken der Linien und ihre Darstellung. Zwar besteht durchaus die Möglichkeit, dass die Gedächtnisleistung von der Rastergröße oder Breite und Helligkeit der Gitternetzlinien abhängt, doch soll hier lediglich das Vorhandensein eines Einflusses nachgewiesen und nicht seine Ausprägung untersucht werden.

Die Größe des Gitters orientiert sich an der Auflösung des verwendeten Bildschirms und den Erfahrungen aus Prätests, mit denen die Anzahl der Objekte festgelegt wurde. Um den Weg für mögliche Folgeuntersuchungen auf dem gleichen Gerät offenzuhalten, wird der *Microsoft Surface* als geeignetste Oberfläche für die Durchführung dieses Experimentes ausgewählt, da er sowohl mit der Maus, als auch per Multi-Touch bedient werden kann. Er hat eine Auflösung von 1024x768 Pixeln, was einem Seitenverhältnis von 4:3 entspricht.* Daran angelehnt wird im geplanten Experiment ein 8x6-Gitter benutzt, das weder zu fein noch zu grob ist, sodass sich die Teilnehmer während der Gedächtnisaufgabe weder über- noch unterfordert fühlen. Dies führt zu einer Begrenzung der Stimuligröße auf höchstens 128x128 Pixel, um ein Feld der Matrix komplett zu füllen und einer maximalen Anzahl von 48 Objekten, falls jedes der Felder belegt ist. In den Prätests zeigte sich die Belegung durch 24 Objekte als eine für den Teilnehmer weder zu große noch zu kleine Anzahl an zu merkenden Stimuli. Die Größe der Elemente wurde etwas kleiner als maximal gewählt, um flexibler in der chaotischen Positionierung der Objekte auf dem Bildschirm zu bleiben und die Wahrnehmung der Teilnehmer nicht allein durch die Ausmaße der Stimuli zu überfordern. Diese unterscheidet sich je nach Art des entsprechenden Objektes, überschreitet aber nie die Ausdehnung von 6 cm in eine Richtung. Die konkrete Auswahl der Stimuli wird kurz im nächsten Kapitel (*Abschnitt 3.3*) und ausführlicher in [Leifert 2012] diskutiert.

Räumliches Gedächtnis (r). Für die Überprüfung des räumlichen Gedächtnisses können mehrere verschiedene Vorgehensweisen und Maße verwendet werden. [Cestari et al.] zum Beispiel benutzten drei ge-

*Das im Vergleich zur Matrix-Notation in der Mathematik umgekehrte Seitenverhältnis von Spalte mal Zeile resultiert hier daraus, dass die Auflösung eines Bildschirms durch „Pixel pro Zeile“ mal „Pixel pro Spalte“ gegeben ist. Da dies die in der Informatik und damit auch der Mensch-Computer-Interaktion übliche Notation ist, wird sie in dieser Arbeit aus Konsistenzgründen beibehalten.

trennte Aufgaben, um unterschiedliche Aspekte zu untersuchen (siehe *Abbildung 2.7*). In der einfachsten Variante (reines Positionsgedächtnis, *Position*) bekamen dort die Versuchspersonen eine Matrix angezeigt, in der einige Positionen schwarz markiert waren.

Diese sollten später in einer leeren Matrix an den richtigen Stellen ausgewählt werden. Die nächste Variante (Zuordnung von Objekten zu Positionen, *Object-to-Position*) konfrontierte die Teilnehmer mit einer Matrix, in der sich an bestimmten Positionen einfache Objekte befanden.

In der Rekonstruktionsphase waren diesmal Positionen vorgegeben und die Probanden wurden für jede Position nach dem zugehörigen Objekt gefragt. Für die dritte Variante (freies Anordnen, *Combined*) schließlich wurde wieder eine mit Objekten bestückte Matrix präsentiert und in der Anordnungsphase eine leere Matrix dargestellt, in der die richtigen Objekte auf die korrekten Positionen gesetzt werden sollten.

Die Teilnehmer hatten jeweils eine halbe Minute Zeit, sich die aus Pappkärtchen in der Matrix bestehende Anordnung einzuprägen, gefolgt von einer etwa vier Sekunden langen Pause, in der sie mit dem Rücken zum Tisch saßen und der Versuchsleiter die Pappkärtchen einsammelte, mischte und als Stapel neben das Raster legte.

Anschließend sollte die Objektkonfiguration ohne Zeitbeschränkung rekonstruiert werden. Gezählt wurde die Anzahl der richtig markierten Positionen bezie-

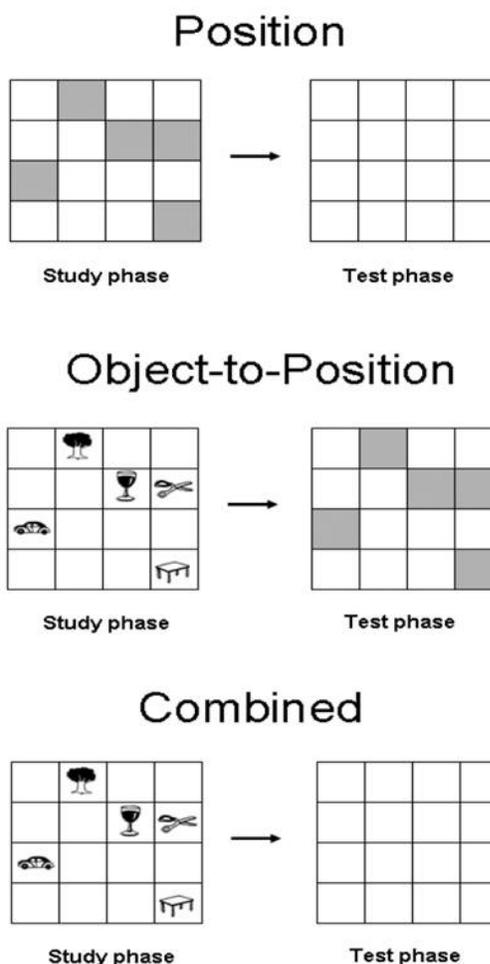


Abbildung 2.7:

Einprägungs- (links) und Rekonstruktionsphase (rechts) bei [Cestari et al.]. Reines Positionsgedächtnis (oben), Zuordnung von Objekten zu Positionen (Mitte) und freies Anordnen (unten).

hungsweise der korrekt verorteten Objekte. Die leichteste Lösung bestünde also auch im Fall des hier geplanten Experimentes darin, lediglich die in der Rekonstruktionsphase korrekt belegten Positionen zu zählen. Dabei gäbe es wie bei [Cestari et al.] zwei verschiedene Betrachtungsmöglichkeiten. Zum einen könnte man alle richtigen räumlichen Positionen zählen, zum anderen aber auch nur jene, denen auch inhaltlich das richtige Objekt zugeordnet wurde. Dadurch würde man für jedes Objekt eine binäre Aussage treffen, die besagt, ob es sich an der korrekten Position befindet oder nicht. Insgesamt erhielte man also die Anzahl der richtig belegten Felder beziehungsweise der richtig platzierten Stimuli. Möchte man detailliertere Ergebnisse erhalten, empfiehlt sich aber ein feineres Maß, welches auch die Länge des Abstandes eines Objektes zu seiner korrekten Position bestimmt. Insbesondere könnte man daraus dann das einfachere, binäre Maß ablesen. In Anlehnung an die dem Experiment zugrunde liegende Gitterstruktur wird zur Distanzbestimmung der *Tschebyscheff*-Abstand angewendet, welcher als das Maximum der x- und y-Verschiebungen definiert ist ([Berthold et al.], S. 157). Als Einheit wird die Breite eines Matrixfeldes gewählt und die Berechnung erfolgt in ganzen und halben Schritten, da jede feinere Unterteilung Messung und Auswertung deutlich verkomplizieren würde. Prätests haben außerdem gezeigt, dass diese Intervallgröße ausreicht, um die meisten Abweichungen zu erfassen.

Gewertet werden alle Objekte auf dem Bildschirm inklusive der Blankos und Distraktoren, unabhängig vom auf ihnen dargestellten Inhalt. Distraktoren sind Elemente, die nicht während der Lern-, sondern nur in der Rekonstruktionsphase auftreten, und als Blankos werden Platzhalter bezeichnet, die keine inhaltlichen Informationen enthalten und lediglich dazu dienen, eine Position zu markieren, ohne sich auf die Art der Belegung festzulegen. Für jedes Element wird dann gemessen, wie groß die Distanz zur nächstmöglichen belegten Position ist.

Eine weitere Auswertung erhebt die gleichen Daten in Abhängigkeit vom Inhalt, das heißt, dass für jedes richtig ausgewählte Objekt (also nicht für Distraktoren und Blankos) der Abstand zu seiner eigenen korrekten Position ermittelt wird (siehe *Abschnitt 4.1*). Von dieser Variante, einer Kombination des räumlichen mit dem inhaltlichen Gedächtnismaß ist, da sie lediglich eine Verfeinerung des rein räumlichen Gedächtnismaßes darstellt, zu erwarten, dass sie sich analog zu ihm verhält. Daher wird sie nicht explizit in den Hypothesen erwähnt, sondern liefert lediglich einen anderen Blickwinkel auf die Auswertung des räumlichen Gedächtnisses.

Inhaltliches Gedächtnis (*i*). Zur Ermittlung des inhaltlichen Gedächtnisses wird auch hier analog zu [Cestari et al.] die Anzahl der korrekt erkannten Objekte gezählt – jedoch ohne ihre räumliche Position in Betracht zu ziehen. Ermöglicht wird diese Messung erst durch die Einführung von Distraktoren, anhand derer das inhaltliche Gedächtnis ohne *Ceiling*-Effekte geprüft werden kann. Wären keine „falschen“ Objekte vorhanden, müssten alle Stimuli auf der Oberfläche verortet werden, sodass nicht nachvollzogen werden könnte, ob der Teilnehmer sich tatsächlich an jedes einzelne Element erinnert oder lediglich sämtliche Objekte verwendet weil er erkannt hat, dass sie alle vorkommen. Außerdem sollte den Probanden die Möglichkeit gegeben werden, Objekte zu benennen, die sie zwar wiedererkannt haben, ohne jedoch die genaue Position zu kennen, um das Ergebnis nicht durch Raten zu verfälschen. Dies wird hier umgesetzt, indem Objekte auch außerhalb des Bildschirms „abgelegt“ werden können, sodass sie bei der Zählung mit erfasst werden. Nicht gezählt werden allerdings die Distraktoren, da sie „Fehler“ der inhaltlichen Erinnerungsleistung offenbaren, und Blankos, die keine inhaltlichen Informationen übermitteln.

Kapitel 3

Versuchsaufbau und -ablauf

Werden die unabhängigen Variablen wie im letzten Abschnitt operationalisiert, so ist bereits das Grundgerüst des Versuchsdesigns geschaffen. Im Folgenden wird das detaillierte Versuchsdesign sowie die zeitliche Abfolge der Testaufgaben erläutert und die Beschaffenheit der Stimuli kurz dargelegt.

3.1 Versuchsdesign

Die unterschiedlichen Zusammenstellungen der Faktoren lassen verschiedene Studiendesigns zu. Zum einen können natürlich die beiden Faktoren getrennt voneinander in zwei einzelnen Tests untersucht werden, aber auch verschiedene Kombinationen sind möglich.

Um die Anzahl der Bedingungen gering zu halten, kann statt eines vollständigen 2x2-Designs, welches alle möglichen Kombinationen der beiden Faktoren und ihrer Stufen miteinander vergleicht, auch eine reduzierte Variante untersucht werden, in der nur die relevantesten Kombinationen gegeneinander getestet werden. Da in realen Systemen für gewöhnlich keine Gitternetzlinien angezeigt werden, wenn die Objekte frei auf der Oberfläche angeordnet sind, würde man mit den restlichen drei Fällen alle üblicherweise vorkommenden Grade der Strukturierung betrachten, nämlich die vollkommen freie Verteilung, die am unsichtbaren und die am sichtbaren Gitter ausgerichtete Anordnung. Mit einem solchen Design könnte man allerdings keine allgemeinen Aussagen zum Einfluss von Anordnung und der Sichtbarkeit von Linien treffen, sondern nur zwischen den drei Varianten vergleichen.

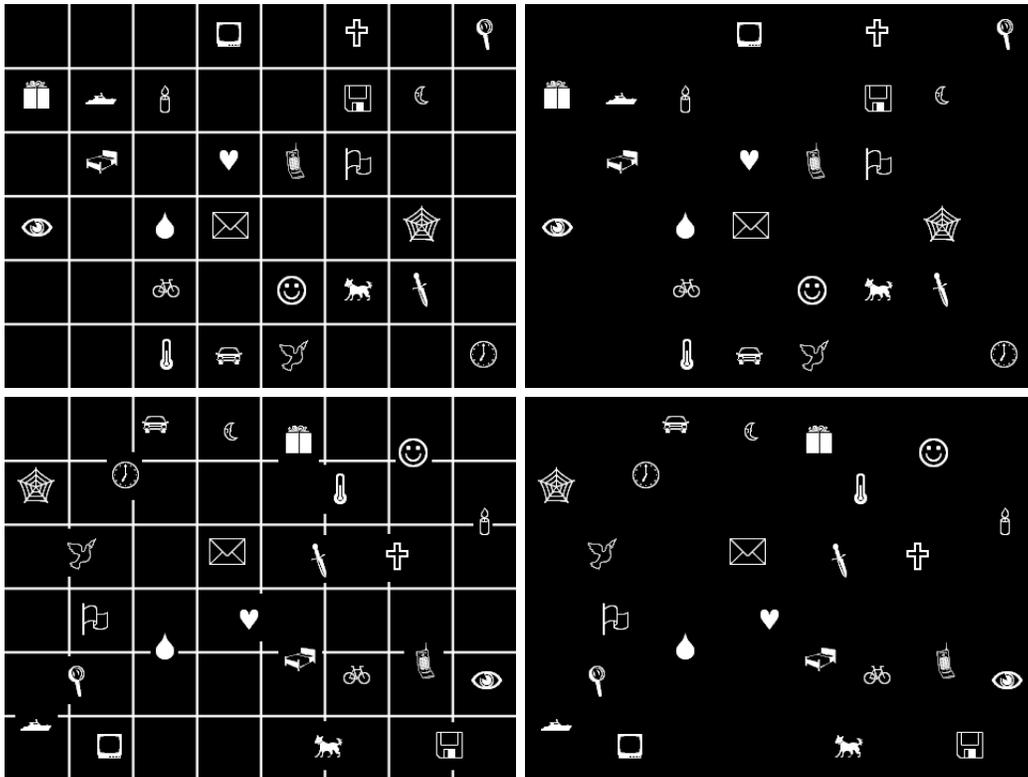


Abbildung 3.1:

Alle Faktorkombinationen des 2×2 -Designs. Linien angezeigt (links) beziehungsweise verborgen (rechts) und Anordnung strukturiert (oben) beziehungsweise chaotisch (unten).

Wählt man hingegen ein 2×2 -Design, so kann sowohl die Anordnung unabhängig von der Sichtbarkeit als auch die Sichtbarkeit unabhängig von der Anordnung untersucht werden. Außerdem ist es aber auch möglich, die vier Varianten direkt miteinander zu vergleichen, was insbesondere die drei Fälle des alternativen Designs abdecken würde (siehe *Abbildung 3.1*). Nun muss jedoch noch festgelegt werden, ob die Faktoren innerhalb von oder zwischen Gruppen von Versuchspersonen untersucht werden sollen.

Zwar würde man gerne die Anzahl der Testpersonen möglichst gering halten und die Vergleichbarkeit der Gruppen erhöhen, indem man ein *Within-Subjects-Design* durchführt, doch sollte beim Faktor Sichtbarkeit ein *Between-Subjects-Design* vorgezogen werden. Anderenfalls könnten asymme-

trische Lerneffekte das Resultat des Experimentes verfälschen. Angenommen, eine Testperson habe den ersten Teil des Test mit einem sichtbaren Gitter bestritten, an dem sie sich während der Lernphasen orientieren konnte, und sähe sich im zweiten Teil mit einem leeren Hintergrund konfrontiert. Sie könnte sich dann ein imaginäres Gitter vorstellen, um die im ersten Teil verwendete Lernstrategie übernehmen zu können. Eine zweite Person, die zuerst einen leeren Hintergrund ohne Linien sieht, hätte nicht den Vorteil, durch Vorwissen auf eine solche, möglicherweise hilfreiche, Lernstrategie zurückgreifen zu können. Dies könnte dazu führen, dass die Bedingung „Linien unsichtbar“ einen weniger negativen Einfluss auf die Gedächtnisleistung hat, wenn sie nach der Bedingung „Linien sichtbar“ auftritt. Um eine derartige Verzerrung des Versuchsergebnisses zu vermeiden, wird der Faktor Sichtbarkeit daher *between-subjects* getestet, sodass es eine Gruppe von Testpersonen gibt, die immer Gitternetzlinien sieht, *Gruppe L*, und eine andere, die sie nie zu Gesicht bekommt, *Gruppe -L*.

Beim Faktor Anordnung sind hingegen keine derart stark asymmetrischen Lerneffekte zu erwarten. Sind die Objekte chaotisch über die Oberfläche verteilt, so liefert das Vorwissen über eine strukturierte Anordnung keine Hilfestellung, die sich ohne Weiteres übertragen ließe, da die Elemente nicht auf dem Bildschirm verschoben werden können. Diesen Faktor kann man also in einem *Within-Subjects-Design* testen. Wichtig ist hier, dass der Faktor ausbalanciert (*counterbalanced*) wird, das heißt, dass einige der Probanden erst auf die chaotische Anordnung treffen und dann auf die strukturierte, andere sehen zu Beginn die strukturierte und anschließend die chaotische. Dadurch lässt sich ausschließen, dass Effekte, die daraus resultieren, dass Teilnehmer im zweiten Teil des Testes müde oder gelangweilt von der repetitiven Art der Aufgaben sind, einen negativen Einfluss auf die sich ständig wiederholende Anordnung haben. Auf der anderen Seite wird auch verhindert, dass wegen eines besseren Abschneidens im zweiten Teil des Testes, wenn die Art der Aufgabe schon bekannt ist und Gedächtnisstrategien zurechtgelegt werden konnten, stets ein positiver Effekt auf die selbe, zweite Anordnung auftritt. Durch ein Abwechseln der Anordnungen können diese Einflüsse jedoch ausreichend ausgeglichen werden.

Insgesamt ergibt sich also ein sogenanntes *Split-Plot-Design*, das sich aus einem *Within-* und einem *Between-Subjects-Faktor* zusammensetzt. Das heißt, die Testpersonen werden in zwei Gruppen aufgeteilt, von denen eine immer Gitternetzlinien auf der Oberfläche sieht, die andere nie. Jede Testperson

wird aber – unabhängig vom Bildschirmhintergrund – mit beiden Arten der Anordnung konfrontiert.

3.2 Aufgabenstellung

Nach einer kurzen Begrüßung werden die Teilnehmer gebeten, vor dem *Microsoft Surface* auf einem Hocker Platz zu nehmen. Der folgende Ablauf wird durch eine zuvor eingestellte Abfolge an bildschirmfüllenden *PowerPoint*-Folien definiert, die dem ausbalancierten Testdesign entsprechend ausgewählt werden. Aufgabenstellung und erklärender Text erscheinen jeweils auf den Folien, die vom Versuchsleiter weitergeschaltet werden, sobald der Teilnehmer bereit ist. Durch die schriftlichen Anweisungen kann sichergestellt werden, dass die Probanden die gleichen Grundvoraussetzungen und exakt gleichen Arbeitsanweisungen erhalten. Während der Einführung, bei der an einem kurzen Beispiel die Vorgehensweise erläutert wird, haben die Versuchspersonen allerdings noch die Möglichkeit, Fragen zu stellen, falls Unklarheiten zu den Aufgaben bestehen. Anschließend beginnt der erste Teil des Testes, während dessen keine Kommunikation zwischen Versuchsleiter und Teilnehmer stattfindet und sich der Experimentator hinter einen Raumtrenner zurückzieht, um die Konzentration des Probanden nicht zu stören. Auf einem mit dem *Microsoft Surface* verbundenen Monitor kann er jederzeit nachvollziehen, was gerade auf dem Bildschirm des Teilnehmers dargestellt wird.

Zuerst wird die Versuchsperson gebeten, sich eine vorgegebene Anordnung einzuprägen (*Abbildung A.2a*). Je nachdem, welcher Gruppe sie angehört, erscheint ein Bild, dessen Hintergrund vollständig schwarz ist oder auf dem weiße Gitternetzlinien angezeigt werden, die eine 8x6-Matrix aufspannen.* Außerdem wird eine Objektanordnung von 24 weiße Stimuli dargestellt, die entweder strukturiert vorliegen, sich also in das vorgegebene Gitter einfügen, oder chaotisch, zum Gitter verschoben, auf der Oberfläche verteilt sind. Die Objektkonfiguration ist dabei für beide Hintergründe identisch. Die Einprägungsphase, in welcher der Teilnehmer Zeit hat, sich die Stimuli und ihre Position zu merken, dauert 30 Sekunden und wird durch einen automati-

*Die Farbkombination von einem schwarzen Hintergrund mit weißen Objekten ist dem Design vieler zoombarer Benutzerschnittstellen nachvollzogen, siehe zum Beispiel *Abbildungen 1.2* oder *2.1*.



Abbildung 3.2:
Teilnehmer der Gruppe L während der Rekonstruktionsphase. Auslegen der bedruckten Stimuli-Pappkärtchen auf dem Microsoft Surface.

schen Folienwechsel beendet. Die *PowerPoint*-Folien mit den Aufgabenstellungen sind schlicht gehalten, mit großer schwarzer Schrift auf einem weißen Hintergrund, der im starken Kontrast zum dunklen Bildschirm der Testaufgaben steht. Der Proband erhält nun die Anweisung, zu rechnen (*Abbildung A.2b*), wozu er sich vom Bildschirm ab- und einem Rolltisch zuwenden muss, der neben ihm platziert ist. Dort befinden sich bereits mehrere Blätter mit einfachen Rechenaufgaben, die 60 Sekunden lang zu lösen sind, um Gedächtnisstrategien zu unterbinden, welche die Abzählung von Kästchen benutzen und somit den strukturierteren Versuchsbedingungen einen zu klaren Vorteil verschaffen könnten. Ein Klick-Laut kündigt automatisch das Ende der Rechenphase an und fordert den Teilnehmer auf, sich wieder dem Bildschirm zuzuwenden, auf dem die nächste Aufgabenstellung dargestellt wird, die ihn bittet, die zuvor gemerkte Objektkonfiguration mit Hilfe der vom Versuchsleiter zur Verfügung gestellten Pappkärtchen nachzustellen. Es werden des Weiteren die Funktion der Blanko-Kärtchen erklärt und die Möglichkeit erwähnt, dass Objekte, deren räumliche Position nicht behalten wurde, auf den Bildschirmrand abgelegt werden können, wo sie später in die Wertung mit einbezogen werden (*Abbildung A.2c*). Der Text wird hier bewusst kurz gehalten, um den Probanden nicht durch unnötig komplizierte Aufgabenstellungen und Erklärungen von der eigentlichen Aufgabe abzulenken. Wenn die Versuchsperson bereit ist, wird die Aufgabe gestartet, indem ein leerer, schwarzer Hintergrund angezeigt wird, bei der entsprechenden Gruppe

erneut mit weißem Gitter ergänzt. Der Teilnehmer hat nun 150 Sekunden lang Zeit, die Pappkärtchen entsprechend seiner Erinnerung anzuordnen, bis die Rekonstruktionsphase wieder automatisch mit einem Folienwechsel endet. Während der Proband erneut gebeten wird, sich den Rechenaufgaben zuzuwenden, macht der Versuchsleiter ein Foto des gesamten Bildschirms inklusive des Randes, um alle ausgelegten Objekte zu erfassen. Anschließend sammelt er die Pappkärtchen ein und zieht sich wieder hinter den Raumtrenner zurück, wo er die Kärtchen für den nächsten Durchgang mischt. Die Rechenphase läuft für den Teilnehmer analog zur oben beschriebenen und dauert ebenfalls 60 Sekunden. Wendet er sich wieder dem Bildschirm zu, erscheint erneut die Aufforderung, sich die Anordnung zu merken und der in diesem Abschnitt beschriebene Ablauf wiederholt sich.

Dies geschieht so oft, bis insgesamt fünf Iterationen durchlaufen sind, wobei die letzte Rechenphase der letzten Iteration entfällt (vergleiche *Abbildung 3.3*). Nach dem Ende dieses ersten Teiles gibt es eine Pause von fünf Minuten, um anschließend mit dem zweiten Teil fortzufahren. Dieser ist dem Ablauf nach völlig analog zum ersten Teil, unterscheidet sich aber in der Auswahl der verwendeten Objekte (siehe *Abschnitt 3.3*) und der Anordnung. War die Aufteilung zuvor chaotisch, so ist sie nun strukturiert, und umgekehrt. Auch in diesem Teil werden wieder fünf Iterationen der Einprägungs-, Rechen- und Rekonstruktionsaufgaben durchlaufen. Nach der letzten Wiederholung werden im Anschluss an den Test drei weitere Folien gezeigt, auf denen lediglich die Bilder der beiden Objektpools und alle Distraktoren

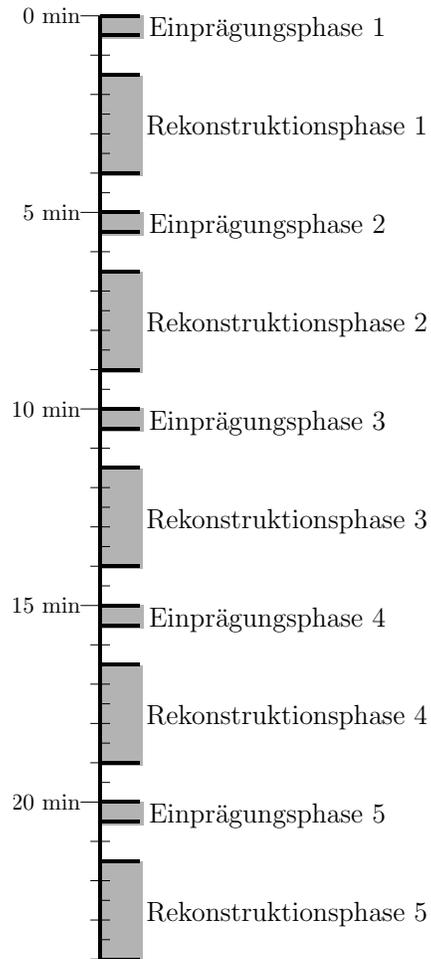


Abbildung 3.3:
Zeitstrahl des Versuchsablaufs für eine Anordnung. Die weißen Lücken markieren die Rechenphasen. [Leifert 2012]

dargestellt sind. Der Proband wird nun gebeten, jeden Stimulus zu benennen, um mögliche Einflüsse der Namensgebung auf das Gedächtnis und zuvor vom Experimentator gemachte Annahmen über die Benennung der Objekte zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Abfrage sind in [Leifert 2012] nachzulesen. Abschließend wird der Teilnehmer noch gebeten, einen Fragebogen zu beantworten, der demographische und experimentbezogene Daten ermittelt, bevor er eine Kompensation von acht Euro für die etwa einstündige Sitzung erhält. Nach einer informellen Frage nach eventuellen Bemerkungen zum Test wird der Proband schließlich verabschiedet. Mit dieser letzten Frage wird versucht, Kommentare des Teilnehmers aufzunehmen, die nach dem Test und dem Abschalten der Kamera, wenn der mögliche Druck einer Art „Prüfungssituation“ verschwunden ist, in einem lockeren Gespräch eher auftreten könnten.

Wiederholte Messungen. Eine Testaufgabe, die lediglich aus einer einzigen Einprägungs- und einer Rekonstruktionsphase bestünde, wäre bei der Untersuchung des Gedächtnisses sehr anfällig für Fehler und Störfaktoren, die insbesondere den Gefühlslagen der Versuchspersonen zuzuschreiben sein können. Wird der Teilnehmer nur ein Mal mit einer Erinnerungsaufgabe konfrontiert, so kann zum Beispiel Unsicherheit bei der Auswahl der Behaltensstrategie einen stark negativen Effekt auf die Erinnerungsleistung haben. Auch ein Mangel an Konzentration fällt stärker ins Gewicht, wenn der gesamte Test nur einmal durchlaufen wird. Steht eine hohe Anzahl an Probanden zur Verfügung, so könnte durch die schiere Menge an Ergebnissen ein Ausgleich solcher Sonderfälle stattfinden. Eine große Menge von mehr als ein paar Dutzend Teilnehmern ist allerdings in den Experimenten der Mensch-Computer-Interaktion meist nicht realisierbar. In der hier geplanten Untersuchung wird deshalb eine andere Variante gewählt, bei der durch eine mehrfache Wiederholung des Vorgangs für jeden Teilnehmer durch die Mittelwertbildung aller Ergebnisse eventuelle Ausreißer ausgeglichen werden können. Man spricht dann von wiederholten Messungen oder einem *Repeated-Measures-Design*, in dem das Erinnerungsvermögen nach jeder Iteration erhoben wird. Diese Methode ermöglicht nicht nur das Sammeln einer deutlich größeren Datenmenge pro Versuchsperson, sondern erlaubt es auch, für jeden Probanden eine Lernkurve zu erstellen, die den individuellen Fortschritt beim Lösen der Aufgabe darstellt. Über alle Teilnehmer gemittelt lässt sich dann ebenfalls eine durchschnittliche Lernkurve zeichnen, mit Hilfe derer die verschiedenen

Versuchsbedingungen detaillierter verglichen werden können, sodass eventuelle Unterschiede in der Lernentwicklung der räumlichen beziehungsweise inhaltlichen Gedächtnisleistung leichter aufgedeckt werden können. Aus einem nicht-parallelen Verlauf der beiden Kurven ließe sich so die unterschiedliche Priorisierung der verschiedenen Aspekte der Erinnerungsleistung ablesen.

Auch rein organisatorisch liefert ein *Repeated-Measures-Design*, bei dem die gleiche Messung wiederholt stattfindet, einen klaren Vorteil: Wird der Versuch mit nur einem Testlauf (das heißt, mit nur einer Präsentationsphase) durchgeführt, hat die Präsentationszeit einen entscheidenden Einfluss auf die Behaltensleistung. Schon eine kleine Änderung der Präsentationszeit kann große Auswirkungen auf die Ergebnisse haben, da sie entscheidend beeinflusst, wie viele Informationen der Proband wahrnehmen und verarbeiten kann. Sie müsste also in ausführlichen Prätests optimiert werden, um möglichst aussagekräftige Versuchsergebnisse liefern zu können. Werden hingegen mehrere Durchläufe vorgenommen, so relativiert sich der Einfluss der Präsentationszeit durch ihre Wiederholung ([Hübner]).

Aus diesen Gründen wird jede Aufgabe während des Versuches insgesamt fünf Mal durchgeführt. Die Anzahl der Wiederholungen ergab sich aus Prätests. Ziel war es dabei, den Testablauf so zu gestalten, dass die Gedächtnisaufgabe zwar beim ersten Versuch unerschaffbar, durch die Wiederholungen die Leistung aber so weit zu verbessern sein sollte, dass es nicht unmöglich ist, die Aufgabe im letzten Versuch fehlerfrei zu lösen. Gäbe es zu wenige Durchläufe, wäre dies nicht einmal für die Besten schaffbar. Würde man die Anzahl der Versuche allerdings erhöhen, könnte es für diejenigen Versuchspersonen, die schon von Anfang an eine gute Erinnerungsleistung erzielt hatten, bald langweilig werden, da sie keinen Bedarf an weiteren Wiederholungen hätten. Die Anzahl von fünf Durchläufen ist also ein guter Kompromiss, um Langeweile zu vermeiden und den Testpersonen dennoch die Möglichkeit zu geben, sich bis auf ein zufriedenstellendes Ergebnis zu verbessern.

Die Teilnehmer werden über die repetitive Art des Experimentes und damit auch die Anzahl der Durchläufe zunächst im Dunkeln gelassen. Sie wissen lediglich, dass die Untersuchung etwa eine Stunde dauern wird und aus zwei Teilen besteht. Erst im Laufe des Tests wird ihnen also bewusst, wie genau die Sitzung aufgebaut ist. Dadurch soll verhindert werden, dass die Leistung der Probanden im letzten Durchgang wieder abnimmt, wenn sie wissen, wie viele Iterationen es gibt und glauben, „es bald geschafft zu haben“.

Da durch die wiederholte Messung der Erinnerungsleistung während des Tests bei jeder Faktorkombination die Daten nach jedem der fünf identischen Durchgänge erhoben werden, kann eine Lernkurve erstellt werden – sowohl für das räumliche als auch das inhaltliche Gedächtnis. Die Form des Graphen kann im besten Fall Rückschlüsse darauf zulassen, wie schnell unter den verschiedenen Bedingungen ein Optimalwert erlangt werden kann, das heißt, wie lange es dauert, bis die maximale Anzahl von 24 korrekten Objekten erreicht ist. Diese Zahl ist für beide Aspekte des Gedächtnisses das Maximum, auch wenn sie sich im inhaltlichen Fall auf die Art der Objekte bezieht, im räumlichen auf ihre Position, die Anzahl der richtig platzierten Elemente. In beiden Fällen und für alle Kombinationen der Faktoren ist jedoch eine Sättigungskurve zu erwarten, da nie mehr als alle Positionen korrekt markiert und Objekte richtig ausgewählt werden können. Insbesondere für das inhaltliche Gedächtnis ist zu erwarten, dass die Steigung am Anfang deutlich größer ist als später, da vermutet werden kann, dass zu Beginn so viele Objekte wie möglich wiedererkannt werden, bevor dann der Schwerpunkt auf dem Ergänzen durch einzelne weitere Stimuli und der detaillierteren Platzierung liegt. Deshalb kann auch davon ausgegangen werden, dass die Lernkurve für das räumliche Erinnerungsvermögen in den ersten Iterationen weniger steil verläuft, dafür aber am Ende noch sichtlich gewinnt, sodass sie sich weniger deutlich dem Sättigungswert nähert.

3.3 Stimulidarstellung und -auswahl

Die Präsentation der Stimuli orientiert sich im Wesentlichen an der bereits in *Abschnitt 2.5* erwähnten Untersuchung von [Cestari et al.], das heißt, auf einer Oberfläche wird ein Gitter dargestellt, in das die Stimuli eingefügt sind. Dabei ist das Gitter im hier geplanten Experiment aber je nach Versuchsbedingung nicht immer sichtbar und die Stimuli je nach Anordnung gegebenenfalls dazu verschoben. Um den Voraussetzungen zu genügen, die in Prätests als ideale Belegung der Oberfläche mit 24 Objekten ermittelt wurden, müssen aufgrund des *Within-Subjects*-Faktors Anordnungen mindestens zwei unabhängige Sammlungen von Stimuli erstellt werden. So können mit Hilfe von Ausbalancierung zwischen den Objektpools Übertragungseffekte zwischen den Bedingungen, die durch die Verwendung der gleichen Objekte auftreten könnten, vermieden werden. Des Weiteren werden, für jede dieser

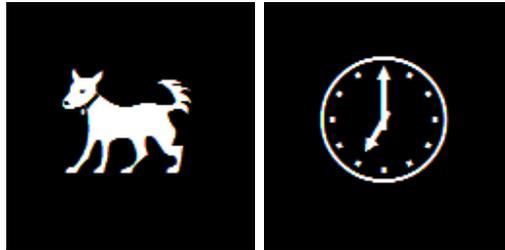


Abbildung 3.4:
Detailansicht zweier beispielhafter Stimuli aus dem Objektpool 1, „Hund“ und „Uhr“.

Sammlungen zwölf Distraktoren und sechs Blankos benötigt. Ursprünglich war die doppelte Menge an Distraktoren geplant gewesen, was jedoch den Probanden nicht ausreichend Zeit für die Anordnung der Objekte auf der Oberfläche lässt, weil das Durchsehen und Aussortieren der großen Zahl an Stimuli sehr aufwendig ist. Insgesamt ergeben sich also durch die beiden Objektpools und die Distraktoren eine Menge von 72 verschiedenen benötigten Stimuli.

Die Auswahl der verwendeten Stimuli wird ausführlich in [Leifert 2012] beschrieben. Dort wird sowohl die Entscheidung für die Objektgruppe „Piktogramme“ begründet, als auch die Auswahlkriterien für konkrete Repräsentanten und ihre Einteilung in Gruppen beschrieben. Von den Stimuli wird gefordert, dass sie eindeutig zu erkennen und benennen sind, sodass vor allem einfache Objekte wie „Hund“ oder „Uhr“ verwendet werden (siehe *Abbildung 3.4*). Die gleichmäßige Einteilung in die Objektpools orientiert sich nicht nur an den Bezeichnungen für die Bilder, sondern auch an ihrem äußeren Erscheinungsbild, sodass die dem Probanden präsentierten, mit den beiden Stimuligruppen gefüllten, Oberflächen sich auf den ersten Blick nicht – zum Beispiel durch das Vorhandensein besonders vieler heller Objekte in nur einem der Pools – voneinander unterscheiden.

Die verwendeten Piktogramme werden aufgrund eines Mangels an einheitlichen oder universell verwendbaren Stimuli (in Form von vereinfachten Bildern) in der Kognitionspsychologie ausgewählt. Zwar gibt es für Studien, die mit der Erinnerung oder Wahrnehmung von Worten arbeiten, bewährte Basis-Sets wie Listen von besonders häufig oder selten vorkommenden Wörtern (einige Beispiele finden sich im Anhang von [Zechmeister, Nyberg]), doch existiert keine entsprechende Sammlung für Bilder. Vielmehr werden

die Stimuli jeweils der Situation angepasst neu entworfen. In dem hier geplanten Experiment wäre es zwar naheliegend, als Stimuli die in der Informatik häufig verwendeten Icons zu wählen, doch eignen sich diese nur bedingt für die geplante Untersuchung. Das größte Problem ergibt sich daraus, dass es dort nur eine sehr begrenzte Anzahl schwarz-weißer Bilder gibt, die man ausreichend auseinanderhalten könnte. Um die benötigte Anzahl an verschiedenen in Benutzerschnittstellen häufig verwendeten Bildern zu erhalten, müssten außerdem gewisse Ähnlichkeiten in Kauf genommen werden (zum Beispiel „leerer Papierkorb“ und „voller Papierkorb“). Auf die Verwendung von Farbe sollte dabei verzichtet werden, um die Aufmerksamkeit der Probanden durch eine hohe visuelle Komplexität der eingesetzten Stimuli nicht unnötig zu belasten. Übrig blieben dann einfache Symbole wie zum Beispiel „Speichern“ oder „Drucken“, die jedoch in der Wahrnehmung der meisten Computer-Nutzer bereits durch langjährige Erfahrung emotional vorbelastet sind. Aufgrund des hohen Bekanntheitsgrades dieser Objekte und der leichten Unterschiede zwischen den verschiedenen Plattformen beziehungsweise der Vertrautheit der Probanden mit ihnen ist das Risiko groß, durch ihre Benutzung im Experiment unbeabsichtigt systematische Fehler zu verursachen. Des Weiteren sollten die Ergebnisse auch allgemein und außerhalb von explizit für das Fachgebiet Informatik erstellten Benutzeroberflächen genutzt werden können. Ein Beispiel für ein solches Interface könnte eine auf einem Multi-Touch-Tisch umgesetzte Foto-Anwendung sein, welche die Bilder zufällig auf der Informationslandschaft verteilt, etwa [Microsoft Surface].

Aus diesen Gründen wird also ein neues Set von Objekten (eingeteilt in je zwei Stimuli- und Distraktoren-Gruppen) erstellt, das vornehmlich aus Schriftzeichen verschiedener bildhafter *Microsoft-Windows*-Schriftarten besteht. So wird versucht, unvorbelastete und neutrale Stimuli zu erhalten, die es erlauben, das Versuchsdesign einfach, aber realistisch zu halten und die Ergebnisse der Untersuchung übertragbar zu machen.

Kapitel 4

Auswertung der Ergebnisse

Die Studie wurde im Mai 2010 mit 24 Konstanzer Schülern und Studenten der Universität und HTWG (Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung) durchgeführt, davon 9 männlich und 15 weiblich, im Alter von 17 bis 28 Jahren. Voraussetzung für die Teilnahme war, dass die Probanden Deutsch als Muttersprache hatten um sicherzustellen, dass die bei der Auswahl der Stimuli gemachten Überlegungen zur Komplexität der Namen der Objekte (siehe [Leifert 2012]) nicht umsonst getätigt worden waren.

Während des Experimentes wurden Daten in Form von Fotos, Filmen und Posttest-Fragebögen erhoben. Das Vorgehen der Versuchspersonen beim Test wurde vor allem durch Fotos festgehalten, welche im Anschluss an jede Rekonstruktionsphase von der Oberfläche des *Microsoft Surface* gemacht wurden, während sich die Probanden den Rechenaufgaben zuwandten. Da jene Objekte, welche zwar wiedererkannt wurden, jedoch keiner Position zugeordnet werden konnten, auf dem Rand des Bildschirms ausgelegt werden sollten, wurden auch sie von der Kamera erfasst. Die Studie wurde außerdem gefilmt, um gegebenenfalls weitere Ergebnisse aus dem Verhalten oder den Kommentaren der Versuchspersonen während des Tests zu erhalten.

Die Folgerungen aus den folgenden Resultaten und Vorschläge für die konkrete Anwendung der hier gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis wird gemeinsam mit den Ergebnissen aus *Kapitel 5* im letzten Kapitel dieser Arbeit diskutiert.

4.1 Datenerhebung

Zur Messung der räumlichen Gedächtnisleistung reicht es in diesem Fall nach *Abschnitt 2.5* aus, in der Rekonstruktionsphase für jedes Element die Position zu bestimmen, aus der man später alle benötigten Werte berechnen kann. Zwar werden hier alle Abstände ermittelt, doch wird in der Auswertung auf die Verwendung des numerischen Wertes zugunsten der binären Notation verzichtet – insbesondere, um Anordnungsfehler wie zum Beispiel die Vertauschung zweier Objekte nicht unnötig zu bestrafen. Das heißt, dass Stimuli, welche an einer gültigen Position liegen, einen Wert von Null erhalten (was dem Abstand zur nächsten gültigen Position entspricht), in jedem anderen Fall ist er Eins, wobei nicht zwischen falsch platzierten und gar nicht ausgelegten Elementen unterschieden wird, da diese Betrachtung schon durch die Messung des inhaltlichen Gedächtnisses abgedeckt wird.

Bei der Ermittlung der inhaltlichen Gedächtnisleistung genügt es, für jeden Stimulus zu notieren, ob er auf dem Bildschirm oder dessen Rand ausgelegt wurde oder nicht. Dies geschieht, wie in *Abschnitt 2.5* bereits beschrieben und analog zum räumlichen Gedächtnis, durch eine einfache Zählung, ebenfalls mit Hilfe einer binären Notation, die den Wert Eins annimmt, wenn ein Stimulus erkannt wurde, und Null, wenn er vom Probanden weder auf dem Bildschirm noch auf dem Rand platziert wurde.

Während die Zählung der Stimuli zur Messung der inhaltlichen Gedächtnisleistung direkt mit den während der Untersuchung erstellten Fotos arbeitet, kann die Ermittlung der Abstände zur Berechnung des räumlichen Erinnerungsvermögens nicht direkt ohne Referenz zum Originalbild vorgenommen werden, sodass die angefertigten Aufnahmen zuvor bearbeitet werden müssen. Jedes Foto wird so beschnitten und skaliert, dass es die gleiche Auflösung hat wie die ursprüngliche *PowerPoint*-Folie. Diese beiden Bilder werden dann transparent übereinandergelegt, sodass man gleichzeitig Original und Rekonstruktion der Versuchsperson betrachten kann (siehe *Abbildung 4.1**). Das räumliche Gedächtnis wird nun mit Hilfe einer Schablone gemessen, die dazu dient, den *Tschebyscheff*-Abstand eines jeden Pappkärtchens, inklusive der Distraktoren und Blankos, zur nächsten richtigen Position zu ermitteln (*Abbildung 4.2*, links). In diesem Beispiel

*Im Hintergrund zur Erinnerung für den Teilnehmer die Aufforderung, zu rechnen. In den frühen Iterationen ist der Bildschirm noch nicht so voll, dass der Text von Stimuli verdeckt wird.

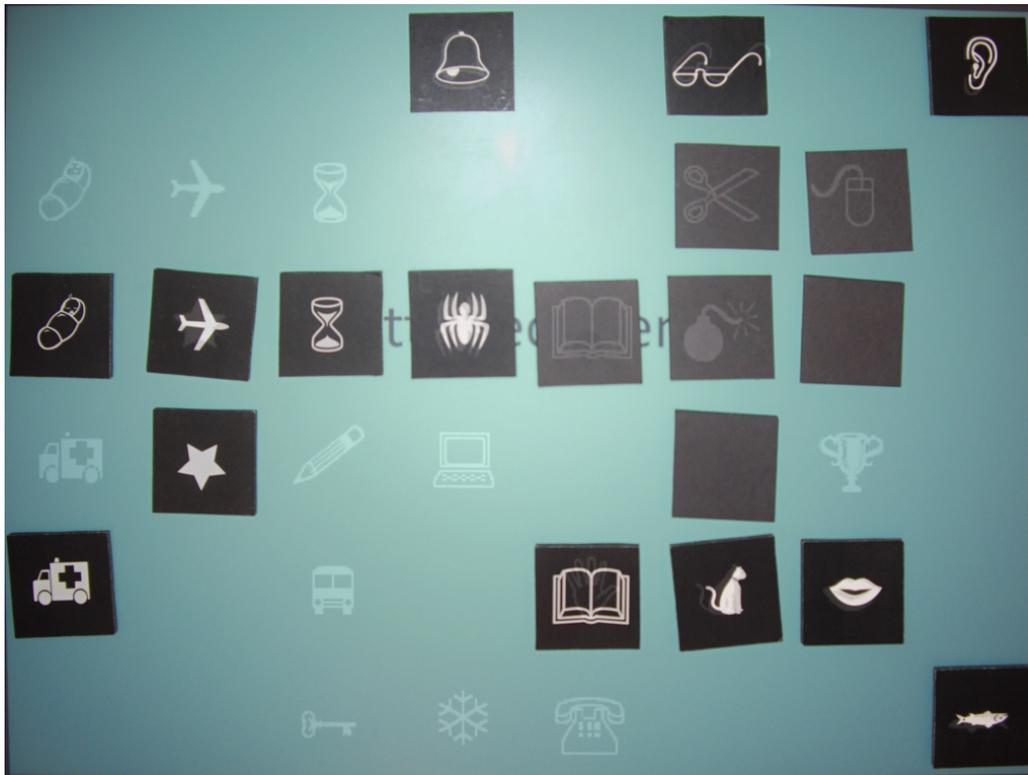


Abbildung 4.1:
Auf der Oberfläche angeordnete Pappkärtchen (Stimuli und Blankos) und transparentes Originalbild.

liegt das schwarze Pappkärtchen mit dem Herz eineinhalb Einheiten neben seiner Ursprungsposition (blasses Symbol), aber nur eine Einheit neben der nächstmöglichen korrekten Position, jener des Tropfens. Hier ergibt das strengere, inhaltlich-räumliche Maß also einen größeren Abstand zwischen der rekonstruierten und der eigentlich richtigen Position als das rein räumliche Maß (siehe *Abbildung 4.2*, rechts).

4.2 Ergebnisse

Anhand der ermittelten Daten können nun die vor dem Experiment gemachten Annahmen zur Ausprägung der Haupteffekte überprüft werden. Im An-

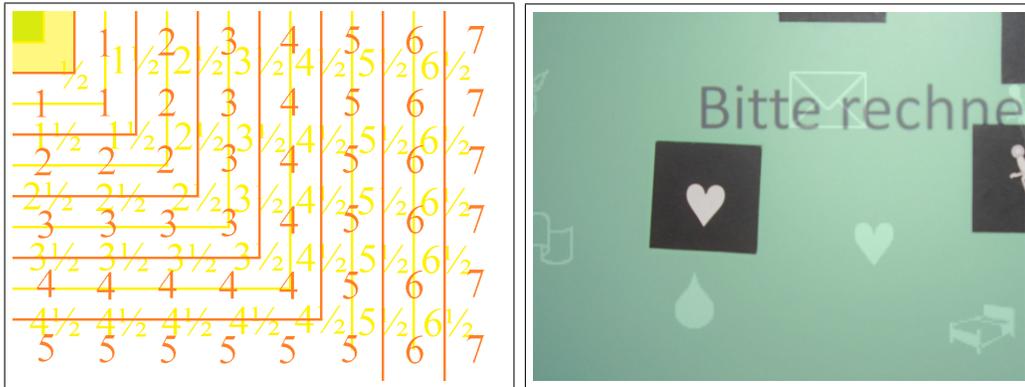


Abbildung 4.2:
 Schablone zur Abstandsmessung (links) und Beispiel für eine Situation, in der sich die beiden räumlichen Maße unterscheiden (rechts).

schluss werden außerdem weitere Resultate aus den Antworten des Fragebogens, den Aussagen der Teilnehmer und Beobachtungen durch den Versuchsleiter während der Studie dargelegt.

4.2.1 Validierung der Hypothesen

Mit Hilfe des Statistik-Programms *SPSS* (*Statistical Package for the Social Sciences*) wurde eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen (*Repeated Measures Analysis of Variance, ANOVA*) vorgenommen. Diese Auswertungsmethode erlaubt es, Aussagen darüber zu machen, ob die Hypothesen vorläufig angenommen werden können oder abgelehnt werden müssen.

Außer der rein räumlichen Erinnerungsleistung, bei der lediglich für jedes Objekt bestimmt wird, ob es vom Probanden auf eine korrekte Position platziert wurde, wurde während des Experimentes auch das mit dem inhaltlichen kombinierte räumliche Gedächtnismaß erhoben, welches nur jene Stimuli zählt, die vom Teilnehmer auf ihre eigenen richtigen Positionen gelegt wurden. Die dafür erhaltenen Ergebnisse wurden in [Leifert 2011] nicht thematisiert, da sie in Richtung und Stärke der Effekte sehr jenen des rein räumlichen Gedächtnismaßes ähneln und ihre Erwähnung den Rahmen der Publikation gesprengt hätte. Wiedergegeben wurde dort deshalb nur das rein räumliche Gedächtnismaß, welches aufgrund der etwas eindeutigeren Ergebnisse eine

klarere Darstellung der Resultate bedeutete. Im nächsten Abschnitt ist das kombinierte Gedächtnismaß jeweils nach dem rein räumlichen aufgeführt.

Anordnung der Elemente, räumliches Gedächtnis. Betrachtet man den Faktor Anordnung bezüglich des räumlichen Gedächtnisses, so erhält man für die strukturierte Anordnung einen Mittelwert von 11,783 mit einer Standardabweichung von 0,664 und für die chaotische einen Mittelwert von 5,900* mit einer Standardabweichung von 0,382. Dies liefert $F(1,22) = 73,129$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,001}$. Offensichtlich kann also die Nullhypothese, die besagt, dass kein Unterschied besteht oder die chaotische Anordnung besser abschneidet, verworfen und die Alternativhypothese angenommen werden:

$H(O, r)_1$: Sind Objekte in geraden Zeilen und Spalten angeordnet, so lassen sich ihre Positionen im Raum besser merken, als wenn sie dazu verschoben sind.

Bei der Auswertung des kombinierten Gedächtnismaßes erhält man ähnliche Ergebnisse. Es ergeben sich für die strukturierte Anordnung ein Mittelwert von 10,025 mit einer Standardabweichung von 0,765 und für die chaotische Aufteilung der Objekte ein Mittelwert von 5,208 mit einer Standardabweichung von 0,406. Dies führt ebenfalls mit $F(1,22) = 34,939$ zu einem statistisch signifikanten Ergebnis von $\mathbf{p} < \mathbf{0,001}$.

Anordnung der Elemente, inhaltliches Gedächtnis. Im Fall des inhaltlichen Gedächtnisses kann die Nullhypothese allerdings nicht verworfen werden. Die Strukturierung der Anordnung hat entgegen der Annahme der Alternativhypothese eine positive Auswirkung auf das Erinnerungsvermögen. Während bei der strukturierten Anordnung ein Mittelwert von 18,900 mit einer Standardabweichung von 0,660 erzielt wurde, lag bei der chaotischen Verteilung der Mittelwert von 17,742 mit einer Standardabweichung von 0,799 deutlich darunter. Damit erhält man $F(1,22) = 6,374$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,05}$. Die räumliche Anordnung hatte also auch hier einen positiven Einfluss:

$H(O, i)_0$: Die Anordnung hat einen Einfluss auf das Behalten inhaltlicher Informationen.

*Die abschließenden Nullen werden hier und im Folgenden zur Kennzeichnung der Messgenauigkeit verwendet.

Eine eingehendere Analyse dieses unerwarteten Ergebnisses ergibt deutlich unterschiedliche Resultate, wenn man gleichzeitig auch den Faktor Sichtbarkeit von Gitternetzlinien in Betracht zieht. Untersucht man den Einfluss der Anordnung auf das inhaltliche Gedächtnis in Abhängigkeit von der Sichtbarkeit, so bleibt das Ergebnis nur dann signifikant, wenn die Linien angezeigt werden (vergleiche *Abbildung 4.3a*). Dann erhält man für die strukturierte Anordnung einen Mittelwert von 17,850 mit einer Standardabweichung von 0,983 und für die chaotische Verteilung einen Mittelwert von 15,567 mit einer Standardabweichung von 1,384. Dies liefert $F(1,11) = 8,059$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,05}$. Betrachtet man den Fall, dass die Gitternetzlinien unsichtbar sind, so erhält man bei der strukturierten Anordnung einen Mittelwert von 19,950 mit einer Standardabweichung von 0,881 und bei der chaotischen Verteilung einen Mittelwert von 19,917 und einer Standardabweichung von 0,799. Es ergibt sich $F(1,11) = 0,006$ und $p = 0,941$. In diesem Fall hat die Anordnung also keinen Einfluss auf die Gedächtnisleistung.

Sichtbarkeit von Gitternetzlinien, räumliches Gedächtnis. Der Faktor Sichtbarkeit erfüllt hingegen weitestgehend die Erwartungen der Hypothesen. Wie angenommen hat auch hier das strukturgebende Hilfsmittel, die Linien, einen positiven Einfluss auf das Erinnerungsvermögen. Man erhält Mittelwerte von 10,858 bei sichtbaren und 6,825 bei unsichtbaren Gitternetzlinien, beide mit einer Standardabweichung von 0,592. Daraus ergibt sich $F(1,22) = 23,232$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,001}$. Auch hier kann also die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen werden:

$H(L,r)_1$: *Die Position von Objekten im Raum lässt sich besser merken, wenn im Hintergrund Gitternetzlinien angezeigt werden.*

In diesem Fall liefert das Kombinationsmaß aus räumlichem und inhaltlichem Gedächtnis mit $F(1,22) = 8,186$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,05}$ zwar ein etwas weniger klares Ergebnis als die rein räumliche Variante, allerdings sind auch hier die Resultate der *Gruppe L* mit 8,925 jenen von *Gruppe $\neg L$* mit 6,306 (jeweils mit einer Standardabweichung von 0,647) deutlich überlegen.

Sichtbarkeit von Gitternetzlinien, inhaltliches Gedächtnis. Auch die Hypothese zum Einfluss der Sichtbarkeit von Gitternetzlinien auf das inhaltliche Gedächtnis bestätigt sich in den Daten. Es ergeben sich Mittelwerte von 16,708 bei sichtbaren und 19,933 bei unsichtbaren Linien, beide mit einer

Standardabweichung von 0,984. Man erhält $F(1,22) = 5,369$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,05}$. Wie erwartet haben also die zusätzlichen optischen Informationen eine negative Auswirkung auf das inhaltliche Gedächtnisvermögen. Man kann also die Nullhypothese verwerfen und die Alternativhypothese annehmen:

$H(L, i)_1$: *Die Anzeige eines Gitters im Hintergrund hat keinen positiven Einfluss auf die inhaltliche Gedächtnisleistung für Objekte.*

Drei der vier Annahmen zu den Haupteffekten konnten also durch das Experiment bestätigt werden. Aber auch zwischen den betrachteten Faktoren traten – wie bereits für die Anordnung beim inhaltlichen Gedächtnis ersichtlich – Interaktionseffekte auf. Diese werden, gemeinsam mit den Einflüssen der Wiederholung auf das Ergebnis, im nächsten Abschnitt beschrieben, gefolgt von der Auswertung der Fragebögen und weiteren Beobachtungen, die während der Untersuchung gemacht wurden.

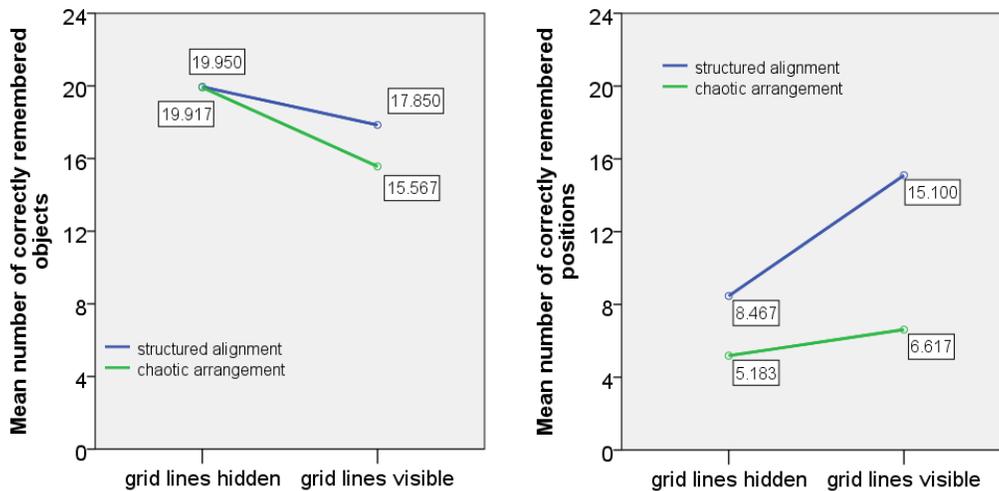
Neben den in den folgenden Abschnitten dargestellten Schaubildern finden sich in *Anhang B* noch weitere Visualisierungen der Ergebnisse.

4.2.2 Iterationseffekte und wiederholte Messungen

Außer den Haupteffekten der beiden unabhängigen auf die beiden abhängigen Variablen lassen sich mit Hilfe der *ANOVA* die Daten auch auf Interaktionseffekte zwischen den beiden Faktoren untersuchen. Des Weiteren beinhaltet die Analyse eine Betrachtung der wiederholten Messungen, sodass Einflüsse der verschiedenen Durchgänge auf das Erinnerungsvermögen ebenfalls erkannt werden können.

Beim inhaltlichen Gedächtnis ergibt sich mit $F(1,22) = 6,013$ und $\mathbf{p} < \mathbf{0,05}$ ein deutlicher Interaktionseffekt. Trägt man die Ergebnisse für den Einfluss der Variablen Anordnung und Anzeige von Gitternetzlinien gegeneinander ab, so ist der Grund dafür leicht zu erkennen (siehe *Abbildung 4.3a*). Wie bereits oben beschrieben, unterscheiden sich die Leistungen für die beiden Anordnungen nur bei sichtbaren Linien voneinander, während die Werte, wenn kein Gitter angezeigt wird, nahezu identisch sind. Das Vorhandensein der Gitternetzlinien hat allerdings auf beide Anordnungen einen – wenn auch unterschiedlich starken – negativen Einfluss.

Auch für das räumliche Gedächtnis tritt mit $F(1,22) = 14,282$ und $\mathbf{p} = \mathbf{0,001}$ ein klarer Interaktionseffekt auf, der mit dem unterschiedlich großen Einfluss



(a) Inhaltliches Gedächtnis.

Durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Objekte.

(b) Rein räumliches Gedächtnismaß.

Durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Positionen.

Abbildung 4.3:

Interaktionseffekte zwischen den Faktoren Gitternetzlinienanzeige (je links: verborgen, rechts: angezeigt) und Anordnung (je blau: strukturiert, grün: chaotisch).

der Anordnung zu erklären ist, je nachdem ob Gitternetzlinien angezeigt werden oder nicht (siehe *Abbildung 4.3b*). Dort gibt es zwar unabhängig vom Vorhandensein von Gitternetzlinien einen positiven Einfluss der strukturierten Anordnung, doch ist dieser bei angezeigten Linien deutlich größer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit Hilfe der Linien die Verschiebung der Objekte zum Gitter wesentlich offensichtlicher ist als ohne angezeigte Referenzmittel. Hier liegen außerdem beide Werte für die chaotische Anordnung deutlich unter denen der strukturierten Aufteilung der Oberfläche.

Die Ergebnisse für das kombinierte inhaltlich-räumliche Gedächtnismaß sind mit $F(1,22) = 5,062$ und $p < 0,05$ weniger stark ausgeprägt als die des rein räumlichen Gedächtnismaßes, allerdings ähnlich in der Art des Interaktionseffektes.

Es lohnt sich also in jedem Fall, nicht immer nur die Einzelergebnisse der Haupteffekte zu betrachten, sondern auch die Abhängigkeiten untereinander nicht außer Acht zu lassen.

	Durchgang	\bar{X}	Std.abw.	F(4,19)	p	Steigung
inhaltlich	1	12,333	0,886	42,374	0,000	4,417
	2	16,750	0,960			2,542
	3	19,292	0,810			1,854
	4	21,146	0,631			0,937
	5	22,083	0,530			
räumlich	1	4,021	0,275	44,118	0,000	2,687
	2	6,708	0,324			2,813
	3	9,521	0,622			2,292
	4	11,813	0,695			0,333
	5	12,146	0,623			
kombiniert	1	2,938	0,260	26,953	0,000	2,354
	2	5,292	0,348			2,750
	3	8,042	0,631			2,500
	4	10,542	0,794			0,729
	5	11,271	0,749			

Table 4.1:

Durchschnittliche Ergebnisse (\bar{X}) der fünf Durchgänge für die drei Gedächtnismaße mit $N = 24$. Steigung je zwischen Durchgang gleicher und nächster Zeile.

Untersucht man außerdem für die Wiederholungen der Testaufgabe den Einfluss des Kontrollfaktors „Durchgang“, so ist er für jede der drei Gedächtnisleistungen hoch signifikant mit $p < 0,001$ (siehe *Table 4.1*). Das heißt, dass es eine deutliche positive Entwicklung der Erinnerungsleistung über die Zeit gibt.

Zu allen Faktorkombinationen wurden Graphen erstellt, welche die zeitliche Entwicklung der Erinnerungsleistung visualisieren (siehe *Anhang B*). Durch die fünffache Wiederholung der gleichen Aufgabe kann mit ihrer Hilfe nachvollzogen werden, wie groß der Zuwachs an richtig erinnerten (inhaltlichen oder räumlichen) Informationen von jedem Durchlauf bis zum nächsten ist. Entgegen der Erwartung nähert sich nur der Verlauf der Lernkurve für das inhaltliche Gedächtnis dem Sättigungswert, während sich das räumliche Erinnerungsvermögen fast linear entwickelt und deutlich unter dem Maximalwert bleibt (siehe Durchschnitt \bar{X} und „Steigung“ in *Table 4.1*). Verantwortlich für die Abflachung der Steigung zwischen den letzten beiden Durchgängen

des rein räumlichen und kombinierten Gedächtnismaßes könnte das Ergebnis der Gruppe $\neg L$ sein, bei der ein Abfall der Kurve im letzten Abschnitt zu bemerken ist (siehe *Abbildung B.5*). Eine mögliche Erklärung für diesen Leistungseinbruch könnte eine durch die Abwesenheit von Gitternetzlinien begünstigte Unsicherheit sein, die unter den Probanden Verschlimmbesserungen der bereits richtigen Positionen auslöst. Durch eine vermeintliche „Nachkorrektur“ der räumlichen Anordnung wird so stattdessen eine Verschlechterung erreicht. Unklar ist allerdings, warum ein solcher Kurvenknick nur beim Faktor Gitteranzeige auftritt, nicht aber im Falle der Anordnung, obwohl das räumliche Erinnerungsvermögen dort ebenfalls große Unterschiede zwischen den Faktorstufen aufweist.

4.2.3 Aussagen aus den Fragebögen

Der Fragebogen besteht aus einem demographischen Teil und einem experimentbezogenen. Zu Beginn werden Alter, Geschlecht, Muttersprache, Händigkeit, Studiengang und die Notwendigkeit einer Sehhilfe abgefragt. Letzteres wird noch genauer spezifiziert (*Anhang A.3*). Im experimentbezogenen Teil des Fragebogens wird die präferierte Anordnung ermittelt, sowie gegebenenfalls verwendete Gedächtnisstrategien abgefragt. Anschließend wird der Proband um eine Selbsteinschätzung gebeten, in der er angeben soll, ob er erwarten würde, dass seine Erinnerungsleistung durch – je nach Gruppe – die Hinzunahme oder das Weglassen des Gitters besser oder schlechter werden würde (*Anhang A.4*).

Demographische Daten. Alter, Geschlecht und eventuelle Sehschwächen haben, wie sich mit Hilfe weiterer Analysen ergibt, unterschiedlich starke Einflüsse auf das Gedächtnis. So lassen sich für das Alter, das gleichmäßig auf beide Gruppen verteilt ist, mit Hilfe einer Regressionsanalyse bei keiner der drei Erinnerungsleistungen Unterschiede feststellen, was vermutlich auf das generell junge Alter der Versuchspersonen zwischen 17 und 28 Jahren zurückzuführen ist.

Das Geschlecht hat hingegen einen leichten Einfluss auf das räumliche Gedächtnis (siehe *Tabelle 4.2*). Zwar fällt die Erinnerungsleistung der weiblichen Versuchspersonen für alle abhängigen Variablen besser aus, jedoch ist der Unterschied nur beim räumlichen Gedächtnis knapp signifikant. Obwohl

	männlich		weiblich		F(1,22)	p
	Ø	Std.abw.	Ø	Std.abw.		
inhaltlich	16,744	1,194	19,267	0,925	2,788	0,109
räumlich	7,356	0,894	9,733	0,692	4,422	0,047
kombiniert	6,478	0,819	8,300	0,634	3,094	0,092

Tabelle 4.2:

Auswirkungen des Kontrollfaktors Geschlecht auf das Gedächtnis mit $N = 24$ (9 männlich, 15 weiblich).

männliche und weibliche Probanden gleichmäßig auf die beiden Gruppen verteilt waren, werden die Gesamtergebnisse der Untersuchung durch die Hinzunahme des Kontrollfaktors Geschlecht geringfügig verzerrt. Betroffen ist allerdings nur die Stärke der Haupteffekte, die für alle drei Gedächtnisleistungen signifikant bleiben. Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern decken sich mit den Ergebnissen von [Postma et al.], die für eine vergleichbare Aufgabe, mit der sie räumliche Gedächtnisleistung in Abhängigkeit vom Geschlecht untersuchten, ebenfalls bessere Resultate bei den weiblichen Versuchsteilnehmern erhielten. Zwar wird allgemein davon ausgegangen, dass Männer ein besseres „räumliches Gedächtnis“ und Orientierungsvermögen haben, doch gilt dies nur für bestimmte Arten von Gedächtnisaufgaben. Man kann also die hier erhaltenen Ergebnisse bezüglich des Einflusses des Geschlechtes nicht bedenkenlos auf jegliche Situationen übertragen, da die beobachteten Effekte stark vom Charakter der Aufgabe abhängen (vergleiche [Postma et al.] für eine detailliertere Betrachtung).

Eine ganze Reihe der im Fragebogen gemachten Erkundigungen zielt außerdem auf die Notwendigkeit einer Sehhilfe ab. Insgesamt elf der Probanden gaben an, eine Brille oder Kontaktlinsen zu benötigen. Dieser Kontrollfaktor hat auf das inhaltliche Gedächtnis mit einem p-Wert von nahezu Eins keinen Einfluss, allerdings ergeben sich für die beiden Maße des räumlichen Gedächtnisses signifikante Unterschiede (siehe *Tabelle 4.3*). Obwohl die Verteilung von sieben Brillenträgern in *Gruppe L*, vier in *Gruppe ¬L* nicht ganz ausgeglichen ist, lassen sich dadurch nicht alle Effekte erklären. Zum Beispiel ist der Effekt, den der Faktor Gitternetzlinienanzeige auf das rein räumliche Gedächtnismaß hat, stärker als jener auf das kombinierte Maß, während das Gegenteil im Fall des Kontrollfaktors Sehhilfe auftritt. Über die Gründe für diese Unterschiede ließe sich nur spekulieren und um das Phänomen detail-

	Sehhilfe		keine Sehhilfe		F(1,22)	p
	Ø	Std.abw.	Ø	Std.abw.		
inhaltlich	18,391	1,146	18,262	1,054	0,007	0,935
räumlich	10,227	0,790	7,669	0,727	5,679	0,026
kombiniert	9,073	0,669	6,385	0,616	8,735	0,007

Tabelle 4.3:

Auswirkungen des Kontrollfaktors Sehschwäche auf das Gedächtnis mit $N = 24$ (11 mit Sehschwäche, 13 ohne).

liert untersuchen zu können, müssten weitere, speziell auf diese Thematik abgestimmte Studien durchgeführt werden. Insbesondere sollten dann auch weitere Details wie die Stärke oder Art der Ausprägung der Sehschwäche im Fokus der Untersuchung stehen. Erkenntnisse aus solcherlei Studien können vor allem in Anbetracht der Wichtigkeit des Themas Barrierefreiheit bei der Interface-Gestaltung von großer Bedeutung sein.

Zum Einfluss des Studienganges auf die Ergebnisse kann keine Aussage getroffen werden, da die Auswahl an verschiedenen Fächern zu breit, auf der anderen Seite aber die Teilnehmerzahl nicht groß genug ist, um sinnvolle zu vergleichende Gruppen bilden zu können.

Experimentbezogene Daten. Die Aussagen aus dem zweiten Teil des Fragebogens decken sich im Wesentlichen mit den Ergebnissen aus der Varianzanalyse. Zwanzig von vierundzwanzig Probanden gaben an, dass es ihnen leichter fiel, sich die strukturierte Anordnung zu merken als die chaotische und diejenigen, welche die chaotischen Anordnung bevorzugten, waren ausnahmslos Teilnehmer aus der Gruppe, der keine Gitternetzlinien angezeigt worden war. Einige der Testpersonen in dieser Gruppe sagten aus, dass sie keinen Unterschied zwischen den beiden Anordnungen bemerkt hatten, bis sie im Fragebogen nach ihrer Präferenz gefragt wurden. Bemerkenswerterweise trat dies unabhängig davon auf, ob die Probanden erst mit der strukturierten oder der chaotischen Anordnung konfrontiert wurden. Dieses Phänomen deckt sich zwar mit den Ergebnissen der inhaltlichen Gedächtnisleistungen, die für versteckte Gitternetzlinien nahezu identisch sind, anders ist es jedoch beim räumlichen Erinnerungsvermögen, bei dem ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Anordnungen zu erkennen ist, selbst wenn den Probanden kein Unterschied bewusst war. Die Teilnehmer schneiden also für die

strukturierte Anordnung bezüglich des räumlichen Gedächtnisses besser ab, auch ohne selbst eine Abweichung in der Art der Aufteilung zu bemerken.

Bei der Frage nach benutzten Gedächtnisstrategien weichen die Antworten zwischen den Gruppen nicht voneinander ab. Nur drei Personen gaben insgesamt an, gar keine Strategie verwendet zu haben, was sich jedoch nicht in der von ihnen erbrachten Gedächtnisleistung niederschlägt. Viele Teilnehmer schrieben, dass sie sich Geschichten zu den Objekten überlegt hatten. Hierzu wurden meist nur Teile des Bildschirms betrachtet oder aus den Stimuli „zusammengehörige“ Gruppen gebildet, die oft aus zwei oder drei Elementen bestanden.* Eine andere große Gruppe der Probanden gibt stattdessen an, systematisch vorgegangen zu sein und versucht zu haben, sich die Bilder Reihe für Reihe oder von links nach rechts gemerkt zu haben. Dies ist bisweilen auch auf den Fotos der rekonstruierten Anordnung zu erkennen, auf denen zum Beispiel im ersten Durchgang nur Objekte aus der ersten und zweiten Zeile angeordnet sind, die in den folgenden Durchgängen durch weitere Reihen ergänzt werden. Ein paar der Teilnehmer benutzten eine gemischte Strategie, indem etwa der systematische Ansatz durch die Bildung von zeilenweisen Geschichten ergänzt wurde. Trotz des Versuches, durch die Rechenaufgaben zwischen Einprägungs- und Rekonstruktionsaufgabe das Abzählen von Kästchen zu unterbinden, geben einige Personen – selbst in jener Gruppe, die keine dabei behilflichen Gitternetzlinien angezeigt bekommen hatte – an, Zeilen und Spalten gezählt oder Abstände geschätzt zu haben. Anhand der Erinnerungsleistung lässt sich allerdings keine der verwendeten Strategien als besonders geeignet oder ungeeignet erkennen.

Erstaunlich sind die Ergebnisse der Selbsteinschätzung der Probanden bei der Frage, ob sie glaubten, dass ein anderer Hintergrund einen Einfluss auf ihre Erinnerungsleistung habe. Den Probanden, welche einen leeren Hintergrund gehabt hatten, wurde ein Gitter angeboten, der anderen Gruppe die Ausblendung desselben. Auf einer Skala von eins bis fünf sollten sie dabei bewerten, ob die andere Versuchsbedingung nach ihrer Einschätzung bei ihnen zu einem besseren oder schlechteren Ergebnis bei der Gedächtnisleistung führen würde (siehe *Tabelle 4.4*). Ein hoher Wert bedeutet hier, dass ein Proband glaubt, er würde mit einem Gitter im Hintergrund bessere Resultate erzielen, bei einem niedrigen Wert schlechtere. In der Gruppe, die Linien zu sehen bekam, wurde dabei ein durchschnittlicher Wert von 4,667 ausgewählt, in der ande-

*Für eine ausführlichere Darlegung der verwendeten Gedächtnisstrategien in Form von Geschichtenbildung und einigen Beispielen sei hier auf [Leifert 2012] verwiesen.

		5	4	3	2	1	
<i>Gruppe L</i>	ohne Linien						ohne Linien
	schlechter	8	4	–	–	–	besser
<i>Gruppe ¬L</i>	mit Linien						mit Linien
	besser	2	6	2	2	–	schlechter

Tabelle 4.4:

Einschätzung der Teilnehmer, wie sie glaubten, dass sie ohne das Gitter (Gruppe L) beziehungsweise mit einem Gitter (Gruppe ¬L) abgeschnitten hätten. Anzahl Nennungen getrennt nach Gruppen.

ren Gruppe war er mit 3,667 deutlich geringer (in beiden Fällen mit einer Standardabweichung von 0,225). Eine ANOVA ergibt mit $F(1,22) = 9,900$ und $p < 0,05$ einen signifikanten Unterschied, der besagt, dass jene Gruppe, die schon Erfahrung mit einer Gedächtnisaufgabe ohne die Hilfestellung angezeigter Gitternetzlinien gemacht hat, sich auch ohne sie bessere Resultate zutrauen würde als die andere Gruppe, welche nicht mehr darauf verzichten wollte. Während in der Gitternetzlinien-Gruppe alle Probanden einen Wert von vier oder fünf auswählten, gab es in der anderen eine weniger deutliche Verteilung, in welcher zwar der Wert Vier am häufigsten ausgesucht wurde, jedoch scheint es dort sogar Teilnehmer zu geben, die der Anzeige eines Gitters eher skeptisch entgegenblicken und darin keinen klaren Vorteil für sich sehen.

4.2.4 Weitere Beobachtungen

Außer der Durchführung der geplanten Messungen wurden noch weitere Beobachtungen während der Untersuchung und bei der Auswertung der Daten gemacht, die sich weniger leicht durch statistische Tests nachprüfen lassen, aber dennoch interessante Beiträge zur Forschung liefern können.

Betrachtet man für jede der unterschiedlichen Anordnungen wie oft jeder Stimulus richtig erkannt wurde (das heißt, dass das Pappkärtchen mit seinem Abbild auf dem Bildschirm oder dessen Rand vorkam), so kann man daraus ein interessantes Ergebnis erhalten. Markiert man auf den Originalbildern die Anzahl der über- und unterdurchschnittlich oft korrekt gemerkten Stimuli (inhaltliches Gedächtnis), so stellt man fest, dass eine fast lineare Separierbarkeit der Objekte auf dem Bildschirm vorgenommen werden kann (siehe

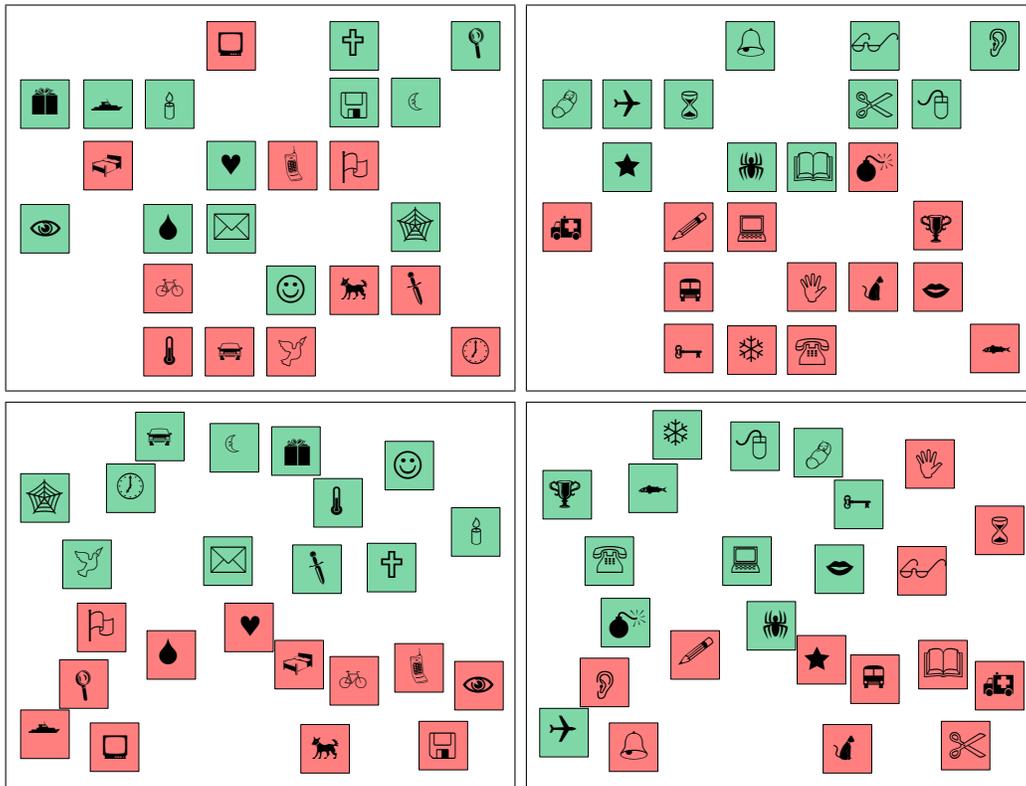


Abbildung 4.4: Inhaltliches Gedächtnis. Über- (grün) und unterdurchschnittlich (rot) oft richtig erkannte Stimuli von Pool 1 (links) und 2 (rechts) für den Faktor Anordnung: strukturiert (oben) und chaotisch (unten).

Abbildung 4.4). Man erkennt, dass die linken oberen Elemente die größeren Werte haben, während jene in der rechten unteren Ecke stets schlechte Ergebnisse verursachten. Dies lässt sich zum Beispiel mit der Schreibrichtung der in Deutschland gebräuchlichen lateinischen Schrift erklären, die in der linken oberen Ecke beginnt und in waagerechten Zeilen von oben nach rechts unten führt. Da die Muttersprache Deutsch eine der Voraussetzungen an die Probanden für die Teilnahme an diesem Experiment war, könnte der Effekt durch die bessere Erinnerungsleistung an die in Schreibrichtung zuerst wahrgenommenen Stimuli erklärt werden (vergleiche [Chan, Bergen] für eine Betrachtung des Einflusses der Schreibrichtung auf die räumliche Wahrnehmung). Eine andere Interpretation ist die systematische Herangehensweise

der Teilnehmer, von denen einige angaben, sich die Objekte Zeile für Zeile, von oben nach unten oder von links nach rechts gemerkt zu haben. Auch hier gibt es jedoch einige klare Ausnahmen, zum Beispiel den Fernseher, der – obwohl er sich in der strukturierten Anordnung in der ersten Zeile befindet – nur unterdurchschnittliche Ergebnisse erzielt. Dieser Stimulus scheint besonders schlecht zu behalten zu sein, denn in der chaotischen Anordnung, in der er in der Nähe des unteren Bildschirmrandes angezeigt wird, wurde er sogar am seltensten von allen Stimuli wiedererkannt. Auf der anderen Seite erzielt etwa der Smilie besonders gute Ergebnisse, was dadurch erklärt werden kann, dass er besonders leicht zu erkennen und vor allem im Internet sehr präsent ist, während andere Symbole wie der Fernseher (hier scheinbar ein altes Modell mit Röhrenbildschirm) im Alltag in dieser Form weniger häufig vorkommen und schwieriger zu identifizieren sind – nicht zuletzt, wenn sie gewisse Ähnlichkeiten mit anderen Gegenständen (etwa einem Computer-Monitor) besitzen.

Führt man eine ähnliche Betrachtung für die korrekt positionierten Stimuli durch (räumliches Gedächtnis, siehe *Abbildung 4.5*), so unterscheidet sich das Bild von jenem der inhaltlich wiedererkannten Objekte. Hier wird nicht der absolute Wert dargestellt, um zu verhindern, dass die Ergebnisse der inhaltlichen Gedächtnisleistung einen allzu starken Einfluss haben, da nicht immer die Objekte, welche richtig erkannt wurden, auch an die korrekte Position gelegt wurden. Stattdessen wird der Quotient aus den räumlichen und inhaltlichen Werten berechnet, der angibt, wie groß der Anteil der korrekt erkannten Objekte ist, die auch an die richtige Stelle gelegt wurden. Es sind vor allem die Gruppen von Elementen, die sich in den Bildschirmcken oder dem oberen Bildschirmrand befinden, welche besonders oft an die richtige Position gelegt wurden. Dies deckt sich mit den Aussagen der Probanden, die zum Teil angeben, in den Ecken oder mit Gruppen von Elementen begonnen zu haben. Während bei der strukturierten Anordnung die drei den Ecken (rechts und oben) am nächsten liegenden Stimuli die besten Ergebnisse erzielen, ist dies bei der chaotischen Anordnung weniger eindeutig, da es dort minder klare Eckpositionen gibt.

Besteht die Aufgabe des Nutzers darin, sich eine Bildschirmkonfiguration einzuprägen, sind also die Positionen an den oberen Ecken und Randbereiche insgesamt besonders geeignet, um wichtige Objekte zu platzieren, die sich bezüglich ihrer Identität und der räumlichen Verortung möglichst gut einprägen lassen sollen. In einem realitätsnäheren Setting allerdings, in dem die

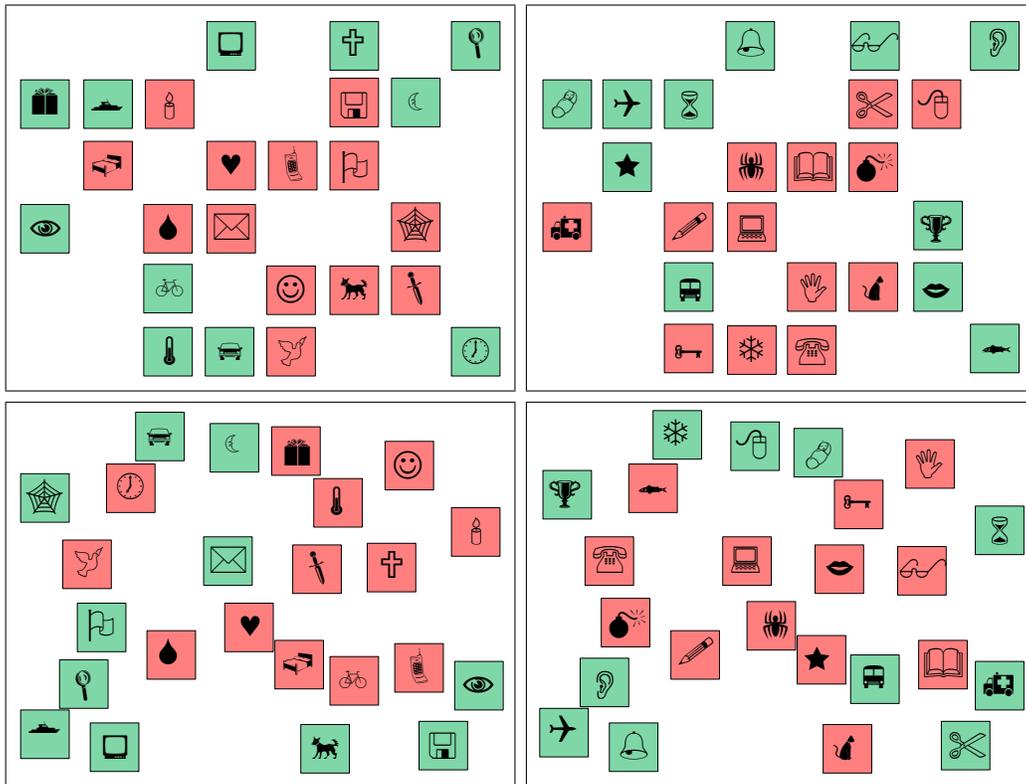


Abbildung 4.5:
 Räumliches Gedächtnis. Über- (grün) und unterdurchschnittlich (rot) oft richtig platzierte Stimuli von Pool 1 (links) und 2 (rechts) für den Faktor Anordnung: strukturiert (oben) und chaotisch (unten).

Aufteilung der Oberfläche nur „im Vorbeigehen“ überflogen wird, könnte die Wahrnehmung weniger vom Referenzrahmen des umgebenden Bildschirmrandes abhängen und sich an anderen Mustern orientieren, die zum Beispiel mit Hilfe eines *Eyetrackers* zur Verfolgung der Blickbewegungen ermittelt werden könnten. Durch eine bessere Kenntnis der Wahrnehmung von Stimuli in bestimmten Bildschirmbereichen kann dann eine geeignetere Integration von wichtigen Inhalten in die Benutzeroberflächen erfolgen.

Kapitel 5

Folgeexperimente zum Einfluss des Eingabegerätes auf das räumliche Gedächtnis

Im Anschluss an das in den letzten Kapiteln vorgestellte Gedächtnisexperiment wurden zwei weitere darauf aufbauende Studien durchgeführt, welche Maus- und Multi-Touch-Bedienung miteinander vergleichen und ihre unterschiedlichen Einwirkungen auf das räumliche Erinnerungsvermögen analysieren. Den Kontext dieser Experimente bilden einmal eine panbare und einmal eine pan- und zoombare virtuelle Landschaft. In Aufbau und Ablauf orientieren sie sich an der ersten Studie, integrieren jedoch auch dynamische Komponenten. Die Ergebnisse wurden bereits in [Jetter et al.] veröffentlicht. Alle in diesem Kapitel verwendeten Bilder sind, wenn nicht anders vermerkt, dieser Publikation entnommen.

Im Folgenden werden die beiden Studien zur Untersuchung der Eingabegeräte mit ihren Gemeinsamkeiten und Unterschieden kurz beschrieben und anschließend im nächsten Kapitel zusammen mit den Ergebnissen des ersten Experimentes diskutiert.

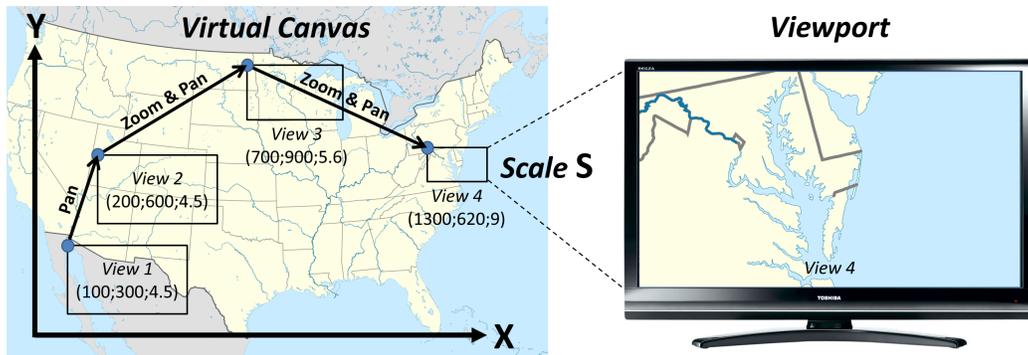


Abbildung 5.1:
Zugrunde liegende virtuelle Landschaft und Bildschirmausschnitt, der durch Panning verschoben und Zooming vergrößert oder verkleinert wird. [Jetter]

5.1 Hintergrund

Nach der erfolgreichen Durchführung eines einfachen Gedächtnisexperimentes in einer stationären Umgebung können nun Teile des Versuchsaufbaus und der Methodik für Studien zur Untersuchung dynamischer Settings übernommen werden. Damit lassen sich weitere Faktoren, welche das räumliche Erinnerungsvermögen beeinflussen, identifizieren und analysieren.

Das hier verwendete System ist eine zoombare Benutzerschnittstelle (*zoomable user interface* oder *ZUI*), in welcher Nutzermanipulation durch Pannen und Zoomen bewerkstelligt werden kann. Zugrunde liegt der Visualisierung eine zweidimensionale Datenlandschaft, die – auf dem Bildschirm dargestellt – wie durch eine Art Sichtfenster betrachtet wird. Mit Hilfe von Skalierung kann das Bild kleiner oder größer angezeigt werden, sodass oft nicht die gesamte Landschaft dargestellt wird, sondern nur der gewählte Ausschnitt (siehe *Abbildung 5.1*). Änderungen durch Benutzermanipulation werden per affiner Transformation von Landschafts- in Bildschirmkoordinaten übertragen, um zu berechnen, welche Informationen wo angezeigt werden beziehungsweise ob sie außerhalb des Bildschirmausschnittes liegen. Das heißt für den Benutzer, dass er mit Hilfe einer Eingabe das Sichtfenster, welches der Bildschirm auf die Landschaft bietet, frei im Raum verschieben kann. Dies geschieht auf der x-y-Ebene durch Pannen und in z-Richtung durch Zoomen. Je nach Eingabegerät können diese beiden Aktionen aber auch simultan ausgeführt werden, zum Beispiel bei der Maus durch gleichzeitiges Verschieben per *Drag*

and Drop und Zoomen mit dem Mausrad, beim Touch durch Anwendung der sogenannten *Pinching*-Geste, dem Zusammenführen von zwei Fingern zueinander auf einem Multi-Touch-Gerät und der gleichzeitigen Bewegung der beiden Finger in eine Richtung.

In beiden Experimenten wird angenommen, dass die zur Direktmanipulation verwendeten größeren Bewegungen bei der Multi-Touch-Bedienung zur Folge haben, dass sich die Navigation im zwei- beziehungsweise dreidimensionalen Raum besser einprägt und so im Vergleich zur Maus-Bedienung eine Verbesserung der Gedächtnisleistung erzielt werden kann. Als Anhaltspunkt dient dabei eine Untersuchung von [Tan et al.], die den Einfluss von Maus und Touch als Eingabegeräte auf das räumliche Gedächtnis untersuchten. In diesem Experiment ging es allerdings lediglich um die Manipulation der Position von Stimuli, ohne eine Veränderung der zugrunde liegenden Landschaft in Betracht zu ziehen. Während der Hintergrund dort statisch gewählt wurde, ist es Ziel der beiden folgenden Experimente, die Ergebnisse auf den dynamischen Kontext von pan- und zoombaren Benutzerschnittstellen zu übertragen, bei dem die Landschaft, auf der die Elemente fest verankert sind, manipuliert wird. Im Folgenden werden diese beiden Studien auch vereinfachend als Pan- und Zoomexperiment bezeichnet. In diesem Kapitel werden außerdem die beiden Begriffe Touch und Multi-Touch analog verwendet, da hier keine Unterscheidung zwischen der Berührung des Bildschirms mit nur einem oder mehreren Fingern gemacht werden muss.

Die erste Untersuchung, welche den Vergleich der Eingabegeräte in einer panbaren Landschaft vornimmt, wurde im Rahmen einer Masterarbeit am Lehrstuhl Mensch-Computer Interaktion der Universität Konstanz durchgeführt ([Schubert]), jedoch in der Auswertung noch vom Autor dieser Arbeit revidiert. Gegenstand dieser Untersuchung war auch eine entsprechende Studie im Kontext einer pan- und zoombaren Landschaft, doch trat dort ein sehr starker *Ceiling*-Effekt auf, sodass dieser Teil des Experimentes lediglich als Vorstudie für eine weitere am gleichen Lehrstuhl durchgeführte Untersuchung diente ([Jetter et al.]). Zu den Veränderungen, die am Versuch durchgeführt werden mussten, um die Hinzunahme des Zooms zu ermöglichen, gehört unter anderem auch die nicht triviale Definition eines neuen Maßes, um Wege in der *ZUI* adäquat bestimmen zu können, eine nach Wissen der Autoren bis dahin ungelöste Aufgabe.

5.2 Ablauf einer Sitzung

Bei diesen beiden Experimenten wird ein *Within-Subjects-Design* für den Faktor Eingabegerät gewählt, da aufgrund der fundamental unterschiedlichen Bedienung keine Übertragungseffekte zu erwarten sind. Die Untersuchung besteht also für jeden Probanden aus zwei Teilen: in einem wird lediglich die Maus als Eingabegerät erlaubt, im anderen ausschließlich die Multi-Touch-Bedienung. Diese beiden Faktorstufen werden zwischen den Teilnehmern ausbalanciert, um mögliche Lerneffekte auszugleichen. Innerhalb jedes Teiles gibt es drei Phasen: die Einführung, die Übung und den eigentlichen Test. Jede Phase besteht wiederum aus zwei verschiedenen Aufgaben.

Die erste, eine Suchaufgabe, zielt darauf ab, das implizite Gedächtnis zu überprüfen, indem die gleichen Suchpfade immer wieder durchlaufen werden. Zuerst wird dem Teilnehmer im Zentrum des Monitors ein Objekt dargestellt, das er suchen und in die Bildschirmmitte bringen soll. Der Proband erhält die Anweisung, dabei möglichst schnell vorzugehen. Dazu verschiebt er die virtuelle Landschaft mit Hilfe des vorgegebenen Eingabegerätes, bis er das zu suchende Objekt richtig platziert hat. Ab einem Rahmen von 100 Pixeln um das im Zentrum angezeigte Bild signalisiert ein Ton, dass das Ziel erreicht wurde und das Objekt wird den Rest des Weges automatisch in die Mitte gezogen. Dies wird nacheinander mit acht verschiedenen Stimuli durchgeführt und die gleiche Abfolge wiederholt, bis jedes der acht Zielobjekte acht Mal gesucht worden ist, was eine Gesamtanzahl von 64 Suchvorgängen ergibt. Da erst nach dem ersten Durchlauf alle Objekte je mindestens einmal besucht worden sind, können dann alle weiteren Pfade durch die virtuelle Landschaft als Versuch angesehen werden, sich an den richtigen Weg zu erinnern. Daher wird der erste Suchdurchlauf für alle Objekte von der Auswertung ausgeschlossen.

In der zweiten, der Rekonstruktionsaufgabe, steht hingegen nicht der Weg, der implizit verinnerlicht wird, im Vordergrund, sondern die absolute Position der Objekte, also die Überprüfung des expliziten Gedächtnisses. Diese Aufgabe ist außerdem eine Möglichkeit, auszuschließen, dass die erwarteten Unterschiede in den Weglängen während der Suchaufgabe lediglich durch die unterschiedliche Bedienbarkeit der beiden Eingabegeräte verursacht wird. Jeder der in der vorherigen Aufgabe gesuchten Stimuli wird einzeln in der Startposition in der Bildschirmmitte angezeigt und soll durch Verschieben mit der Tastatur in die nach Meinung des Probanden richtige Position ge-

bracht werden, bevor er die Eingabe bestätigt. Die Tastatur wird hier benutzt, um Einflüsse der unterschiedlichen Genauigkeiten der anderen beiden Eingabegeräte (Maus und Multi-Touch) während der Rekonstruktion auszuschließen. Anschließend wird mit der leeren Landschaft und dem nächsten zufällig ausgewählten Stimulus fortgefahren, was so lange wiederholt wird, bis alle acht Objekte je einmal platziert wurden. Hier wird der Teilnehmer dazu angehalten, möglichst exakt zu arbeiten.

Diese beiden Aufgaben werden nun vom Teilnehmer in jeder der drei Phasen durchlaufen. Während der ersten Phase wird der Proband in das System eingeführt, Interaktionstechnik (das heißt, die Bedienung der Oberfläche) und Aufgabenstellung werden demonstriert. Die Stimuli bestehen exemplarisch aus Großbuchstaben und der Teilnehmer hat noch die Möglichkeit, Fragen zu stellen. In der Übungsphase werden bereits Piktogramme gezeigt und der Proband wird darum gebeten, die Aufgaben möglichst schnell beziehungsweise exakt zu lösen und in der dritten, der eigentlichen Testphase, werden schließlich die Daten erhoben. Der Proband darf in dieser Phase keine Fragen mehr stellen und wird wieder um Schnelligkeit beziehungsweise Genauigkeit während der Durchführung gebeten.

5.3 Besonderheiten im Aufbau der beiden Experimente

Auch diese beiden Experimente werden am *Microsoft Surface* durchgeführt und benutzen das Seitenverhältnis von 4:3, jedoch wird hier die Helligkeit umgekehrt, indem der Hintergrund weiß, die Objekte schwarz dargestellt werden. Die dynamische Benutzerschnittstelle besteht aus einer pan- beziehungsweise pan- und zoombaren virtuellen Landschaft, auf der die Stimuli verteilt sind. Der Ablauf ist bei beiden Experimenten analog, doch gibt es im Aufbau einige grundlegende Unterschiede.

5.3.1 Pan-Experiment

Ziel der Studie ist der Vergleich von Maus- und Touch-Interaktion in panbaren Benutzerschnittstellen. In diesem Fall ist die zugrunde liegende Landschaft größer als der gezeigte Bildschirmausschnitt und es gibt keinen Zoom,

sodass der Ausschnitt nicht vergrößert, sondern nur verschoben werden kann. Die Anwendung wird jeweils in der Landschaftsmitte gestartet, auf der keine Stimuli dargestellt sind. Im Hintergrund sind hier Gitternetzlinien zu sehen, welche die gesamte Fläche in 12x9 Felder unterteilen. Durch den Bildschirm-ausschnitt ist jeweils nur ein Neuntel der gesamten Landschaft zu sehen (siehe *Abbildung 5.2*), also 4x3 Felder. Die Objekte sind in den äußeren Bereichen bis hin zum Rand der Landschaft in unregelmäßigen Abständen verteilt und bedecken jeweils ein ganzes Feld. Auch hier werden die Elemente zufällig verteilt, jedoch wird darauf geachtet, dass es zwischen benachbarten Bildern keine inhaltliche Relation gibt, das heißt, dass sie sich nicht der gleichen Gruppe von Objekten (zum Beispiel Tieren) zuordnen lassen. Vier verschiedene Objektkonfigurationen werden zwischen der Übungs- und der Testphase der beiden Eingabegeräte ausbalanciert. Insgesamt werden 18 Bilder dargestellt, von denen jedoch nur acht während der Suchaufgabe als Zielobjekte vorkommen.

Zu Beginn eines Suchvorgangs wird die Startposition in der Landschaftsmitte eingenommen und ein *Overlay*, auf dem in hellgrau das Zielobjekt dargestellt ist, erscheint im Zentrum des Bildschirms. Dieses *Overlay* ist während der gesamten Suche sichtbar und markiert somit auch die Bildschirmmitte, auf die das Objekt gezogen werden soll. Ist dies geschehen, so wird das *Overlay* durch ein neues ersetzt und es startet ein weiterer Suchvorgang mit dem nächsten Zielobjekt. Die Verteilung der Stimuli auf der Oberfläche verändert sich zwischen den Iterationen nicht und es werden während des gesamten Suchvorgangs die x- und y-Koordinaten geloggt, um die von der Testperson zurückgelegte Strecke nachvollziehen zu können.

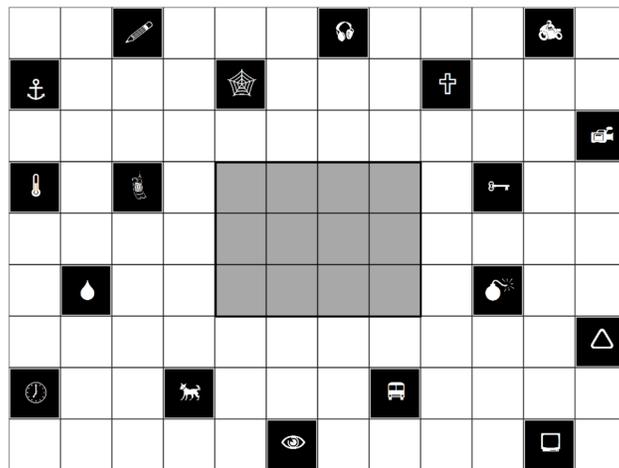


Abbildung 5.2:
Panning-Landschaft. In der Startposition ist nur der grau markierte Ausschnitt zu sehen.

Für die Rekonstruktionsaufgabe wird die gesamte Landschaft angezeigt, sodass der Proband einen Überblick über den ganzen zuvor in der Suchaufgabe explorierten Raum erhält, ohne jedoch die Objekte darin dargestellt zu bekommen. Stattdessen wird das Objekt, welches zu positionieren ist, in der zur Landschaft passenden Zoomstufe auf der Bildschirmmitte angezeigt (das heißt, es wird nicht nur die Landschaft kleiner dargestellt, sondern auch der Stimulus, sodass er wie gehabt in ein Feld passt) und von dort aus mit Hilfe der Pfeiltasten der Tastatur verschoben. Bei dieser Aufgabe wird nicht der zurückgelegte Weg gespeichert, sondern lediglich die schlussendlich von der Testperson gewählte Position.

5.3.2 Zoom-Experiment

Bezüglich des Ziels und des Ablaufs gibt es keine Unterschiede zwischen Pan- und Zoom-Experiment, doch werden im Aufbau diverse Änderungen vorgenommen, die sich nach den abweichenden Anforderungen der komplexeren Umgebung richten. Während die Pan-Operation analog zu der bereits im Pan-Experiment genutzten Interaktion funktioniert, wird bei dieser Studie noch der Zoom hinzugenommen, der es auch erlaubt, den Bildschirmausschnitt zu vergrößern oder zu verkleinern. Aufgrund der Natur des Zoomens in der Touch-Bedienung, wo die Durchführung des Zooms auf dem gleichzeitigen Pannen von einem Referenzpunkt aus (*Spreading*) oder auf ihn zu (*Pinching*) in verschiedene Richtungen beruht, lässt sich der Zoom nicht ohne das Pannen verwirklichen, sodass diese Manipulationsarten hier nur gemeinsam untersucht werden können.

Durch die Hinzunahme des Zooms kann jedoch der Aufbau des Pan-Experimentes nicht ohne Anpassungen übernommen werden. Insbesondere die Gitternetzlinien auf dem 12x9-Feld sorgten in der Vorstudie für einen starken *Ceiling*-Effekt, der mögliche Unterschiede zwischen den Eingabegeräten vollständig überdeckte. In dieser Auflösung ist Zoomen weder nötig noch sinnvoll, sodass die Einteilung der Oberfläche hier weiter verfeinert wird, bis eine Auflösung von 48x36 Feldern erreicht ist. Bewerkstelligt wird dies durch das Vierteilen eines jeden Feldes. War dieses vorher durch ein Objekt belegt, so wird das Bild nun verkleinert im linken oberen Feld der Unterteilung dargestellt. Von Außen betrachtet ergibt sich so der Eindruck, dass lediglich die Größe der Stimuli verringert wurde, sodass sie nur noch ein Viertel ihrer Ursprungsgröße betragen.

Des Weiteren werden keine Gitternetzlinien mehr angezeigt, um ein „Entlanghangeln“ an den waagerechten und senkrechten Linien zu verhindern. Da die Teilnehmer der Vorstudie versuchten, das Zoomen durch Pannen zu umgehen, wird hier das Zoomen erzwungen, indem man in der Startposition die gesamte belegte Landschaft sieht (*Abbildung 5.3*). In dieser Ansicht sind jedoch die inhaltlichen Informationen der Stimuli nicht sichtbar, indem an ihrer Statt lediglich schwarze Quadrate dargestellt werden, sodass der

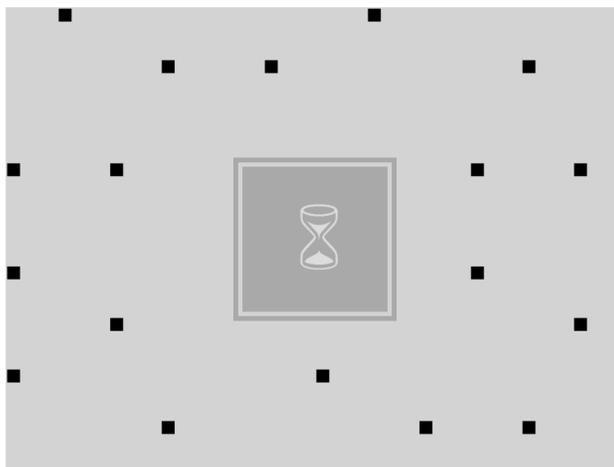


Abbildung 5.3:
Zooming-Landschaft. In der Startposition sind alle Positionen, nicht aber die Inhalte zu sehen. Das zu suchende Objekt wird in der Bildschirmmitte als Overlay dargestellt.

Proband näher an ein Objekt heranzoomen muss, um ab einem gewissen Schwellenwert der Zoomstufe das Bild dargestellt zu bekommen. Erst ab dieser Zoomtiefe und bis zu einer weiteren wird das Objekt in der Bildschirmmitte als Ziel der Suchaufgabe erkannt, sodass verhindert wird, dass der Teilnehmer zu weit hineinzoomt. Da die Informationslandschaft mit 3072x2304 Pixeln größer als der für die Testaufgabe benötigte Teil von 1024x768 Pixeln ist, wird die Umgebung, in welcher die Stimuli dargestellt werden, mit einem hellgrauen Hintergrund versehen (erkennbar auch in *Abbildung 5.3*), damit die Probanden in einer tiefen Zoomstufe nicht versehentlich den relevanten Ausschnitt verlassen und sich im *desert fog* verlaufen.

Während der Suchaufgabe des Zoom-Experimentes werden außer den x- und den y-Landschaftskordinaten auch der s-Wert, der den Zoomfaktor beschreibt, sowie der Fokuspunkt gespeichert, der das Zentrum des Zooms darstellt. Bei der Maus handelt es sich dabei um die Position in der Landschaft, an welcher sich im Moment des Zoomens der Mauszeigers befinden; bei der Touch-Bedienung ist er mit Hilfe der Berührungspunkte, an denen die Finger des Probanden auf den Bildschirm treffen, zu berechnen.

Die Rekonstruktionsaufgabe unterscheidet sich von der des Pan-Experimentes lediglich durch die Anpassungen in der Auflösung, in welcher der Inhalt der Landschaft dargestellt ist. Daraus resultiert, dass jedes Objekt so klein dargestellt wird, dass es – wie auch zu Beginn der Suchaufgabe – nur als schwarzes Quadrat abgebildet ist. Um zu verhindern, dass der Proband vergisst, welches Objekt, das ihm zu Beginn der Rekonstruktion kurz angezeigt wurde, er gerade positioniert, wird deshalb ein Bild des entsprechenden Elementes neben dem Bildschirm zur Verfügung gestellt.

Herleitung der Navigationskosten-Berechnung. Die Auswertung der Logging-Dateien, in denen die räumlichen Positionen im zoombaren Raum gespeichert werden, ist durch die Hinzunahme der dritten Dimension in Form von Zoomstufen ein nicht triviales Problem. Das größte Hindernis ist dabei wohl die Tatsache, dass Zoomen hier logarithmisch vonstatten geht, da sich die Umsetzung des Zoomvorgangs an [Furnas, Bederson] orientiert, die in ihrer Veröffentlichung eine Formel für die Animation vorschlagen, nach welcher der Zoom in der hier benutzten *ZUI* realisiert wurde. Dies ist jedoch nur einer der Gründe, aus dem auch für die Berechnung von Wegen auf dieses Paper zurückgegriffen wird. Zuvor hatten sich bereits mehrere Varianten als unbrauchbar erwiesen, darunter sowohl eine zweidimensionale Lösung, als auch der Versuch, in der dritten Dimension linear zu arbeiten. Mit Hilfe der Differentialgeometrie konnten ebenfalls keine überzeugenden Ergebnisse erhalten werden, da der Logarithmus bei der Weglängen-Berechnung im zoombaren Raum ein nicht aufzulösendes Integral erzeugt.

Aufgrund der Komplexität der Berechnung der Kurvenlänge wurde schließlich das Konzept der Bewertung anhand des Weges verworfen. Stattdessen wird mit visuellen Kosten gearbeitet und dazu ein Maß definiert, das zu beschreiben versucht, wie viele neue visuelle Informationen der Anwender bei jedem Ansichtswechsel verarbeiten muss. Während das Pannen verhältnismäßig teuer ist, da durch das Verschieben vollkommen neue Informationen auf dem Bildschirm dargestellt werden, vergrößert beziehungsweise verkleinert ein Zoom lediglich bereits dargestellte Informationen, sodass der Kontext erhalten bleibt und der Nutzer eine weniger große kognitive Leistung erbringen muss, um sich in der neuen Umgebung zurechtzufinden. Daraus folgt, dass die Verschiebung in eine Richtung lineare Kosten verursacht und ein Zoom logarithmische, selbst wenn sich der Referenzpunkt der Manipulation nicht in der Bildschirmmitte befindet.

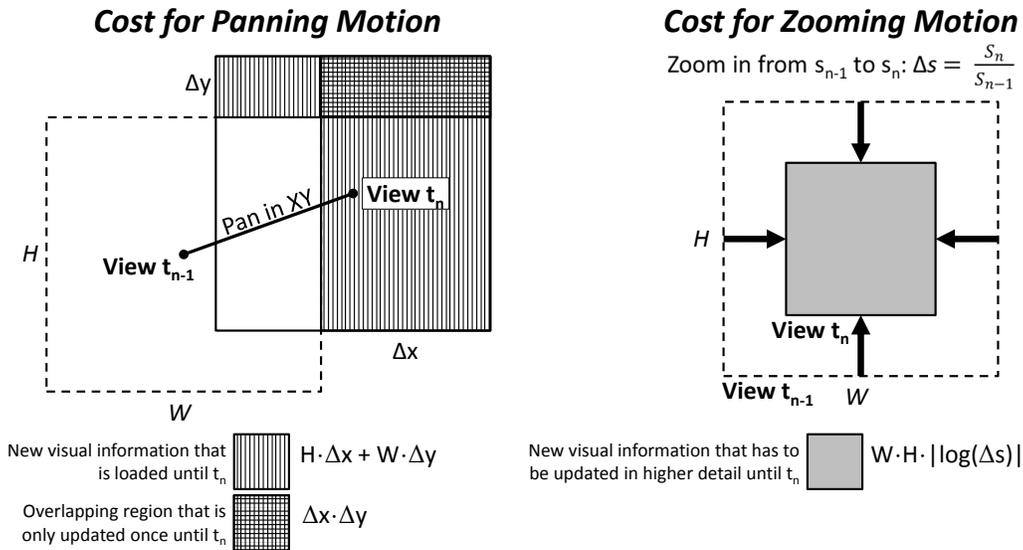


Abbildung 5.4:
Graphische Herleitung der Navigationskosten für Panning (links) und Zooming (rechts). Basierend auf [Jetter].

Da [Furnas, Bederson] jedoch nur eine zweidimensionale Version dieses Maßes angeben, das heißt für eine eindimensionale Landschaft mit Zoom, muss es noch um eine zusätzliche Dimension erweitert werden. Die hier definierten Kosten arbeiten mit den Bildschirmkoordinaten $x_n, y_n \in \mathbb{N}$, die aus den Landschaftskordinaten $X_n, Y_n \in \mathbb{R}$ zum Zeitpunkt $t_n =: n$ mit $n \in \mathbb{N}$ und t_0 erste Messung zu Testbeginn, berechnet werden.* Dadurch wird erreicht, dass Zoomen belohnt wird, da die gleiche Strecke, wenn man herauszoomt hat und Start- und Endpunkt näher aneinander liegen, günstiger ist als bei der hereingezoomten, detaillierteren Ansicht, bei der mehr visuelle Informationen verarbeitet werden müssen. Die kürzeste Strecke ist oft nicht der direkte Weg, der auf der gleichen Zoomstufe durch Pannen zurückgelegt wird, sondern eine Kombination aus einem Herauszoomen, bis Start- und Endpunkt beide auf dem Bildschirm zu sehen sind, dann ein einfaches Verschieben der Landschaft, bis das Ziel im Zentrum liegt und anschließend ein Hineinzoomen zum Endpunkt ([Furnas, Bederson], Figure 8).

*Hier bezeichnet wieder aufgrund der in der Informatik üblichen Notation die Variable x_t die Spalte und y_t die Zeile der Position des entsprechenden Bildpunktes.

Für jeden beliebigen Zeitpunkt t_n wird mit den Zoomfaktoren $S_n, S_{n-1} \in \mathbb{R}_{>0}$ und der üblichen reellen Betragsfunktion definiert: $\Delta x := |x_n - x_{n-1}|$, $\Delta y := |y_n - y_{n-1}|$ und $\Delta s := S_n/S_{n-1}$, das heißt, wenn nicht gezoomt wird, ist $\Delta s = 1$, was auf den ersten Blick unlogisch erscheinen mag, jedoch im Kontext der folgenden Formel durchaus sinnvoll ist.

Die Navigationskosten-Berechnung zieht auch die Bildschirmgröße $W \times H$ (beim *Microsoft Surface* zum Beispiel 1024x768) in Betracht und arbeitet – ebenso wie die Bildschirm- und Landschaftskordinaten – auf Pixelbasis, so dass die Einheit der entstehenden Kosten in Quadratpixeln angegeben wird:

$$c(t_n, t_{n-1}) := H\Delta x + W\Delta y - \Delta x\Delta y + WH|\log(\Delta s)|.$$

Diese Formel besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen, von denen der erste die durch Panning entstehenden Kosten berechnet, der andere jene, die beim Zoomen entstehen (vergleiche *Abbildung 5.4*).

Zuerst werden die Verschiebungen der Bildschirmfläche in x- und y-Richtung berechnet mit $H\Delta x + W\Delta y - \Delta x\Delta y$. Dabei wird die Überlappungsfläche abgezogen, da sie nur einfach gezählt werden soll. Dies ist eine diskrete Version dieser Formel, da im Zuge einer gleichmäßigen Verschiebung auch die auf dem Weg zwischen den Eckpunkten des alten und neuen Bildschirmausschnittes entstehenden Dreiecke visuelle Kosten verursachen sollten, und zwar genau $\Delta x\Delta y$ Quadratpixel. Auf *Abbildung 5.5* sind diese beiden Flächen rot markiert und durch ihre Hinzunahme wird der negative Term zur Ausgleichung der Überschneidung aufgehoben. Um die Konsistenz der Ergebnisse mit jenen aus [Jetter et al.] zu wahren, wird hier die diskrete Variante der

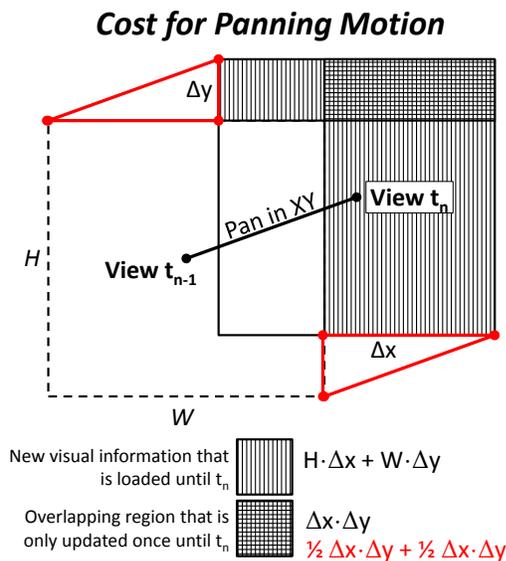


Abbildung 5.5: Graphische Veranschaulichung der korrigierten Formel. In Rot die zu ergänzenden Dreiecke, die beim Zurücklegen des Weges durchlaufen werden. Basierend auf [Jetter].

Formel verwendet, die unter Auslassung des negativen Korrekturterms $c_{korrr}(t_n, t_{n-1}) = H\Delta x + W\Delta y + WH|\log(\Delta s)|$ lauten müsste. In Zukunft ist allerdings die korrigierte Formel zu verwenden, für die sich die Eigenschaften einer Metrik wegen der Verwendung der Betragsfunktion leicht nachweisen lassen.

Die Navigationskosten für den Zoom werden durch $WH|\log(\Delta s)| = WH|\log(S_n/S_{n-1})| = WH|\log(S_n) - \log(S_{n-1})|$ addiert, wobei \log , wie auch im der *ZUI* zugrunde liegenden Programmcode, den natürlichen Logarithmus zur Basis e bezeichnet. Hier ist leicht zu erkennen, dass dieser Teil der Formel entfällt, wenn nicht gezoomt wurde, da für $S_n = S_{n-1}$ der Logarithmus von Δs Null ergibt. Den Logarithmus erhält man dabei aus einer Grenzwertbetrachtung über die beliebig große Anzahl der Zoomstufen, die zwischen dem Ausgangs- und dem End-Zoomfaktor liegen. Durch die Multiplikation mit der Bildschirmgröße wird schließlich die Anzahl der Quadratpixel berechnet, die aufgrund des Zooms vom Nutzer visuell neu verarbeitet werden müssen.

5.4 Ergebnisse des Pan-Experimentes

An dieser Studie haben 20 Probanden (13 männlich, 7 weiblich), Studenten der Universität Konstanz im Alter von 18 bis 28 Jahren, teilgenommen. Jeder von ihnen erhielt eine Kompensation von 7 € für die knapp einstündige Untersuchung.

Zur Auswertung der zurückgelegten Wege wurde bei diesem Experiment der euklidische Abstand gewählt, da die Abwesenheit einer dritten Dimension den Gebrauch eines komplizierteren Maßes unnötig macht. Diese Abstände werden zwischen je zwei Messzeitpunkten berechnet, für jede einzelne Suche aufaddiert und durch die kürzestmögliche Strecke, also dem euklidischen Abstand zwischen dem Startpunkt Bildschirmmitte und dem Zielpunkt Objektmitte, dividiert. Dadurch erhält man einen Faktor, an dem sich besonders leicht ablesen lässt, wie weit der eingeschlagene Weg vom idealen abweicht. Wäre der kürzesten Strecke gefolgt worden, so würde der Quotient Eins betragen. In jedem anderen Fall wäre er größer und beschriebe, um wievielfach der gewählte Weg länger war als der ideale. So erhält man für die Maus-Bedienung einen durchschnittlichen Wert von 2,254 mit einer Standardabweichung von 0,252 und für die Touch-Bedienung 1,749 mit einer Standardabweichung von 0,127, was einen signifikanten Unterschied ausmacht:

$F(1,19) = 8,703$ und $p < 0,05$. Bei der Touch-Bedienung werden also deutlich direktere Wege gegangen.

Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der Entwicklung (siehe *Abbildung 5.6*), so fällt auf, dass sich an einem bestimmten Punkt, der zwischen den Eingabegeräten leicht verschoben ist (Maus: im sechsten Durchgang, Touch: im fünften Durchgang), die Ergebnisse leicht verschlechtern, was mit dem ansonsten stetig fallenden Verlauf der Kurven bricht. Dies könnte sich zum Beispiel dadurch erklären lassen, dass den Teilnehmern ab einem bestimmten Zeitpunkt klar wurde, dass die Aufgabe stark repetitiv ist und die Objekte stets in der gleichen Reihenfolge durchlaufen werden oder dadurch, dass die Probanden ab einem gewissen Zeitpunkt glauben, die kürzesten Wege zu kennen, was ein vorübergehendes Nachlassen der Konzentration zur Folge haben könnte.

Auch bei der Rekonstruktionsaufgabe schneidet die Touch-Bedingung besser ab. Dort ergibt sich ein durchschnittlicher Fehler von 0,795 Gittereinheiten Abstand in der Touch- (Standardabweichung 0,096) und 1,092 Einheiten in der Maus-Bedienung (Standardabweichung 0,157), somit also $F(1,19) = 5,724$ und $p < 0,05$.

Wie erwartet schneidet die Touch-Manipulation also bei beiden Aufgaben besser ab und durch die Art der Gestaltung der Rekonstruktionsaufgabe kann sogar ausgeschlossen werden, dass der während der Suchaufgabe beobachtete Effekt lediglich auf einer unterschiedlich guten Bedienbarkeit der Eingabegeräte beruht.

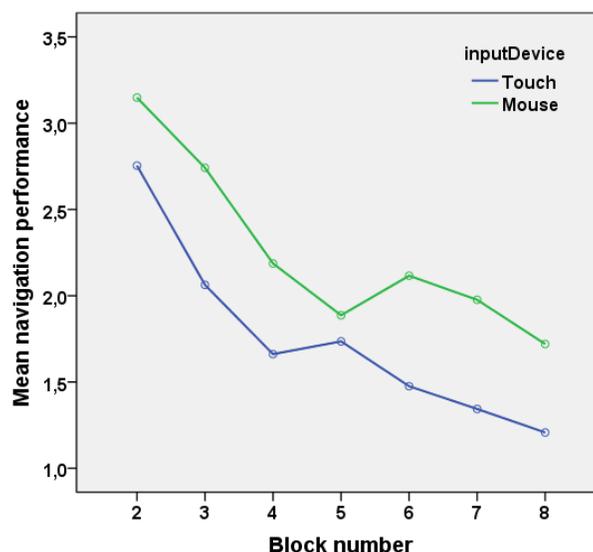


Abbildung 5.6:
Durchschnittlicher Weglängen-Quotient beim Pan-Experiment.

5.5 Ergebnisse des Zoom-Experimentes

Bei dieser Studie, die mehrere Monate nach dem Pan-Experiment mit anderen Versuchspersonen stattfand, waren die 16 Teilnehmer (8 männlich, 8 weiblich) zwischen 20 und 35 Jahre alt. Für die Untersuchung, die etwas mehr als eine Stunde dauerte, erhielten die Studenten der Universität je 10 €.

Mit Hilfe der Navigationskosten-Berechnung wird der Abstand zwischen zwei Messpunkten im durch den Zoom erweiterten zweidimensionalen Raum ermittelt und für jede Suche einzeln aufaddiert. Da es sich in diesem Fall um absolute visuelle Kosten handelt, die zudem noch quadratische Einheiten besitzen, wird hier auf den Vergleich mit den geringsten Kosten verzichtet. Für die Maus-Bedienung ergibt sich dadurch ein Wert von 2 988 269 Quadratpixeln mit einer Standardabweichung von 249 037 und

die Touch-Bedienung erreicht einen Wert von 3 820 188 Quadratpixeln mit einer Standardabweichung von 377 600. Auch dieser Unterschied ist mit $F(1,15) = 4,727$ und $p < 0,05$ statistisch signifikant – in diesem Fall aber zugunsten der Maus, die bei der Manipulation der Landschaft weniger visuelle Kosten verursacht. Im zeitlichen Verlauf der Untersuchung nähern sich die Ergebnisse der beiden Eingabearten jedoch einander an, bis in den letzten Blöcken keine Unterschiede mehr zwischen den beiden Versuchsbedingungen zu erkennen ist (siehe *Abbildung 5.7*).

Bevor man jedoch versucht, nach Erklärungen für dieses Ergebnis zu suchen, das weder den Erwartungen, noch dem Resultat des Pan-Experimentes entspricht, lohnt es sich, einen Blick auf die Rekonstruktionsaufgabe und

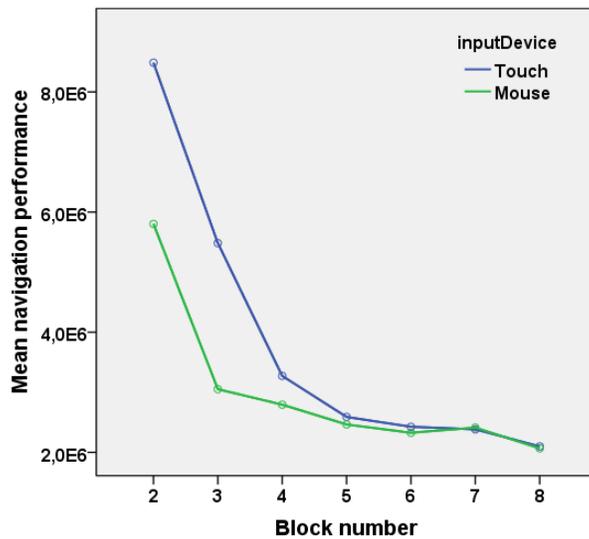


Abbildung 5.7:
Durchschnittliche Navigationskosten beim Zoom-Experiment.

weitere erhobene Daten zu werfen. Dort liegt der durchschnittliche Fehler für die Maus-Bedienung bei 2,628 Gittereinheiten mit einer Standardabweichung von 0,26 und für die Touch-Bedienung bei 2,612 mit einer Standardabweichung von 0,308. Dies führt mit $F(1,15) = 0,003$ zu einem deutlich nicht-signifikanten Ergebnis von $p = 0,96$. Umso erstaunlicher ist dieses klare Resultat im Lichte der feineren Unterteilung des Gitters bis zu einer Auflösung von 36x48 Feldern.

Des Weiteren gibt es auch bezüglich der Geschwindigkeit, mit der die Suchaufgabe bewältigt wurde, zwischen den Eingabegeräten Unterschiede, die jedoch den Ergebnissen der Suchaufgabe zu widersprechen scheinen, denn während die durchschnittliche Bearbeitungszeit aller Suchvorgänge in der Maus-Bedingung bei 633 Sekunden liegt (Standardabweichung 20,1), dauert sie in der Touch-Bedingung nur 540 Sekunden (Standardabweichung 19,2). Mit $F(1,15) = 15,012$ und $p = 0,001$ ist dies statistisch signifikant.

Außerdem gaben alle Teilnehmer nach der Untersuchung an, die Touch-Bedienung der Maus vorzuziehen.

Zuletzt konnten mit Hilfe der Logging-Daten auch Heatmaps erstellt werden, an denen man ablesen kann, welche Teile des Bildschirms besonders oft als Referenzpunkt gewählt wurden (siehe *Abbildung 5.8*). Es lässt sich zwar für beide Eingabegeräte erkennen, dass der größte Teil der Interaktion in der Bildschirmmitte stattfindet, auf die jedes Objekt gebracht werden soll, doch werden bei der Touch-Interaktion weite Teile des Displays – insbesondere in den Randbereichen – nicht genutzt. Oft werden die Objekte erst ins Zentrum gezogen, um dann auf die richtige Tiefe zu zoomen. Dies lässt sich zum Beispiel damit erklären, dass man, wenn man vor dem *Microsoft Surface* sitzt, nicht alle Bereiche gleich gut erreichen kann und sich insbesondere zur Manipulation der hinteren Ecken weit vorbeugen und strecken muss. Wahrscheinlicher ist allerdings, dass die Bedienung an sich das größte Problem darstellt. Vor allem die *Spreading*-Geste bereitet in den Randbereichen Probleme, da zu ihrer Durchführung vom Zoom-Zentrum aus Platz in verschiedene Richtungen benötigt wird, der allerdings nicht über den touch-fähigen Bildschirm hinausgehen darf. Zwar ist es möglich, selbst an den Rändern und in den Ecken Zoom-Aktionen per Touch-Geste durchzuführen, was jedoch ein tieferes Verständnis der Interaktion erfordert oder weiterer Übung bedarf. Zudem bevorzugen die Nutzer eine Zoom-Geste, bei der sie zwei Finger in exakt gegenüberliegende Richtungen auseinanderziehen, was sich selbstverständlich in der Nähe des Bildschirmrandes als schwierig erweist.

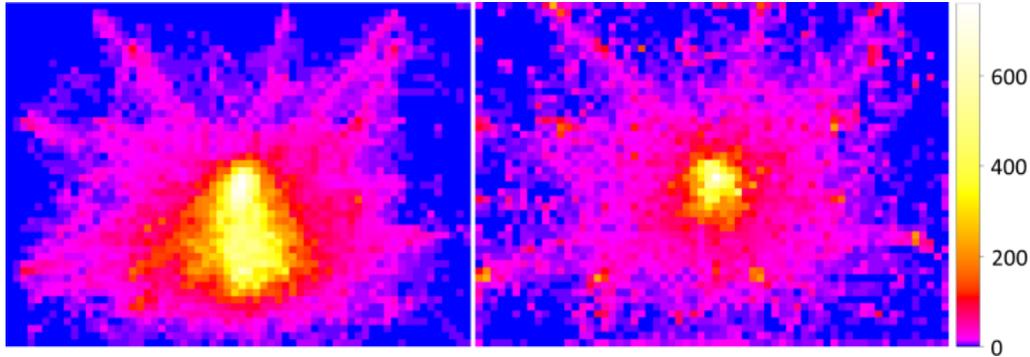


Abbildung 5.8:
Heatmaps für die Häufigkeit des Auftretens der Bildschirmpunkte als Referenzpunkt bei Touch- (links) und Maus-Bedienung (rechts).

Probleme mit der Manipulation der Landschaft erklären aber nur einen Teil der Ergebnisse, nämlich warum bei der Suchaufgabe die Maus zu Beginn deutlich besser abschneidet als die Touch-Bedienung. Möglicherweise ist anschließend ein Lern- oder Gewöhnungseffekt aufgetreten, der die Annäherung der beiden Werte aneinander erklärt. Dies würde entweder bedeuten, dass die Trainingsphase zu Beginn der Untersuchung nicht ausführlich genug gewesen war oder dass vom Proband erst für jeden individuellen Weg eine Strategie erarbeitet werden muss, die es ihm erlaubt, sein Zoom-Verhalten für die Touch-Bedienung zu optimieren und einem möglichst idealen Pfad zu folgen. Doch auch bei der Rekonstruktionsaufgabe kann die Nullhypothese, dass die Eingabe per Touch gleich oder schlechter als die per Maus ist, nicht verworfen werden. Eine Erklärung für das schlechte Abschneiden der Touch-Bedienung unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Pan-Studie könnte ein negativer Einfluss der Zoom-Aktionen sein. Es wird davon ausgegangen, dass in einer reinen Pan-Umgebung die maßstabsgetreue Bewegung des Armes bei der Touch-Bedienung im Vergleich zu den kleineren Wegen, die mit der Maus zurückgelegt werden, einen deutlichen Vorteil bei der Erinnerungsleistung erwirkt, indem sie das motorische Gedächtnis (*motor memory*) unterstützt. Dies wird vor allem durch die unmittelbare und natürliche Manipulation der Landschaft ermöglicht, die direkt „angefasst“ und verschoben wird, statt sie von einem Mousepad aus mit Hilfe kleinerer Bewegungen fernzusteuern. Im Gegensatz dazu ist die Zoom-Geste aber weit weniger natürlich. Zwar ließe sie sich mit dem Auseinanderziehen eines elastischen Materials wie dem ei-

nes Luftballons vergleichen, um etwa eine darauf dargestellte Schrift größer und lesbarer zu machen, doch steht der Vergrößerungsfaktor in keiner direkten Relation zur Länge der Bewegung, sodass der Vorteil des motorischen Gedächtnisses hier nicht zum Tragen kommen kann. Da die Zoom-Geste nicht die gleiche Natürlichkeit besitzt wie die Pan-Geste und die Metapher aus der realen Welt dort nur selten auftritt, noch seltener in Situationen, in welchen sie in virtuellen Systemen genutzt wird, verliert die Touch-Bedingung den großen Vorteil der intuitiven Bedienung durch lebensnahe Gesten.

Im anschließenden Kapitel werden die Ergebnisse von Pan- und Zoom-Experiment gemeinsam mit den Resultaten aus *Kapitel 4* kurz rekapituliert und konkrete Handlungsanweisungen gegeben, die aus den Erkenntnissen folgen.

Kapitel 6

Fazit

Diese Arbeit beschäftigte sich mit dem ersten Schritt eines umfassenderen Vergleiches herkömmlicher mit zoombaren Benutzerschnittstellen bezüglich der Unterstützung des räumlichen Gedächtnisses. Die aufgrund ihrer Komplexität und Vielseitigkeit nicht als Ganzes zu untersuchenden Systeme müssen für eine Analyse in verschiedene Designkomponenten zerlegt werden, um zu erwirken, dass die optimale Zusammenstellung von Komponenten gefunden werden kann, welche die Navigation in großen Datenräumen bestmöglich unterstützt. Zu den offensichtlichsten Aspekten eines Interface zählen nicht nur die Strukturierung der Oberfläche in Form der Anzeige von Landmarken und der Anordnung von Objekten auf dem Bildschirm, sondern auch die Verwendung der häufigsten Eingabegeräte Maus und Touch sowie der Interaktion durch Panning beziehungsweise Panning und Zooming.

Im Folgenden werden die drei in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen kurz zusammengefasst und Handlungsanweisungen, welche aus ihren Ergebnissen folgen, generiert. Des Weiteren werden Vorschläge für mögliche Folgestudien gemacht, die sowohl in die Tiefe gehen, die gefundenen Effekte also genauer untersuchen, als auch in die Breite, um andere Komponenten des Interface-Designs zu betrachten und das Gesamtbild durch eine Vervollständigung der Design-Aspekte anzureichern.

6.1 Rekapitulation und Anwendung der Ergebnisse

Die erste Studie, deren theoretischer Hintergrund in dieser Arbeit ausführlich dargelegt wurde, und die im Folgenden als „Gitter-Experiment“ bezeichnet wird, behandelt die Betrachtung einer statischen Umgebung. Sie untersuchte nicht nur das räumliche Erinnerungsvermögen, sondern auch die inhaltliche Gedächtnisleistung und deckte Interaktionseffekte zwischen den beiden Faktoren „Anordnung der Objekte auf der Benutzeroberfläche“ und „Anzeige von Gitternetzlinien“ auf.

Im Gegensatz zum Gitter-Experiment beschäftigten sich die beiden folgenden mit dynamischen Benutzerschnittstellen, in welchen die Teilnehmer per Interaktion die zwei- beziehungsweise durch Zoomen angereicherte dreidimensionale Landschaft explorieren konnten. Damit konzentrierten sich diese Studien auf deutlich andere, allerdings sehr wesentliche, Aspekte von *ZUIs* wie den Eingabegeräten Maus und (Multi-)Touch sowie den Interaktionstechniken Panning beziehungsweise Panning und Zooming.

Obwohl sich die drei Experimente in ihrer Art zum Teil stark unterscheiden, dienen ihre Resultate alle der Vervollständigung der Theorie zum Einfluss von Interface-Design-Komponenten auf das räumliche Gedächtnis. Wichtig ist in diesem Kontext auch die Erkenntnis, dass die Ergebnisse weitestgehend mit den natürlichen Erwartungen übereinstimmen. Das räumliche Erinnerungsvermögen des Anwenders, und damit auch Orientierung und Navigation, lässt sich durch eine Strukturierung des Raumes sowie eine natürliche Interaktion mit der Benutzerschnittstelle unterstützen. Dabei spielt nicht nur die visuelle Wahrnehmung eine große Rolle, sondern auch die erlebte Bewegung und das motorische Gedächtnis. Auf der einen Seite wird das räumliche Erinnerungsvermögen durch rein optische Hilfestellungen wie der Anzeige von Gitternetzlinien und der Anordnung von Objekten in einem klaren Raster unterstützt; auf der anderen Seite kann die Gedächtnisleistung in einer panbaren Umgebung von der direkten Manipulation der Landschaft per Touch-Bedienung profitieren, welche die reale Armbewegung eins zu eins in eine Verschiebung in der virtuellen Welt übersetzt.

Das heißt konkret, dass es möglich ist, vor allem große und komplexe Datenräume, in denen sich der Anwender leicht „verläuft“, durch Hilfestellungen anzureichern, die Orientierung und Navigation erleichtern. Bei der Hinter-

grundgestaltung der Benutzeroberfläche können etwa Gitternetzlinien verwendet werden, um als Referenzrahmen für den Inhalt der Datenlandschaft zu dienen. Die Untersuchung, ob auch andere Arten von Landmarken einen ähnlich positiven Einfluss auf das räumliche Gedächtnis haben, hätte den Rahmen dieser Studie gesprengt und muss gegebenenfalls individuell im Kontext der spezifischen Anwendungsdomäne durchgeführt werden. Die Verteilung von Elementen auf dem Bildschirm sollte sich ebenfalls an einem Raster orientieren, das idealerweise zum angezeigten Gitter passt. Diese Empfehlung gilt allerdings nicht für vom Nutzer selbst angeordnete Objekte. In den durchgeführten Experimenten wurde dieser Fall nicht betrachtet, weil die dadurch resultierende Komplexität der Untersuchung zu einer Verminderung ihrer Kontrollierbarkeit geführt hätte.

Als Eingabegerät ist bei panbaren Benutzerschnittstellen der Touch der Maus vorzuziehen, um die Vorteile der Eins-zu-eins-Manipulation und der damit verbundenen besseren räumlichen Erinnerungsleistung voll ausnutzen zu können. Allerdings ergab das letzte Experiment, dass eine pan- und zoombare Umgebung nicht in gleicher Weise von den Vorteilen der Touch-Bedienung gegenüber der Maus-Eingabe profitieren kann wie eine rein panbare Anwendung. In diesem Fall empfiehlt es sich, weitere Untersuchungen durchzuführen, um zu eruieren, worin genau das Problem besteht. Wenn sich die negative Beeinflussung durch die Einschränkung der Interaktionsmöglichkeiten auf den touchbaren Teil des Bildschirms oder die Unnatürlichkeit der Zoomgesten bestätigt, so gilt es, neue Konzepte für die Erweiterung der touchbaren Oberfläche auf den bisher ungenutzten Bildschirmrand oder die Steuerung durch natürlichere Gesten zu erarbeiten. Bis dieses Problem gelöst ist, sollte versucht werden, Touch-gesteuerte Systeme so zu gestalten, dass die Verwendung von Zoom umgangen, oder in zoombaren Benutzerschnittstellen auf Touch verzichtet wird, um Interaktionsproblemen und Orientierungslosigkeit vorzubeugen.

Vorsicht ist auch geboten, wenn es um die Unterstützung des inhaltlichen Gedächtnisses geht, das nur im Gitter-Experiment untersucht und nicht klar getrennt vom räumlichen Gedächtnis betrachtet wurde, jedoch deutlich andere Ergebnisse lieferte. Insbesondere der negative Einfluss der sichtbaren Gitternetzlinien sollte auf keinen Fall in Vergessenheit geraten. Deshalb müssen je nach Kontext Vor- und Nachteile der Strukturierung unter Berücksichtigung des Charakters der zu unterstützenden Aufgabe sorgfältig gegeneinander abgewogen werden, abhängig davon, ob die räumliche Navi-

gation oder inhaltliche Informationen bei der Benutzung der geplanten Anwendung im Vordergrund stehen. Weiterführende Untersuchungen können im Einzelfall erkunden, wie stark sich eventuelle Beeinträchtigungen in der Praxis äußern und wie die Gewichtung der Unterstützung bestmöglich zu wählen ist.

6.2 Reflexion und Ausblick

Trotz der Gründlichkeit bei Planung und Durchführung der hier vorgestellten Experimente mussten mitunter Kompromisse eingegangen werden, die vor allem den Verlust von Realitätsnähe zur Folge hatten. Dies gilt zum Beispiel für den Einfluss weiterer relevanter Variablen oder Faktorstufen, die aus Komplexitätsgründen ausgeschlossen wurden, aber dennoch interessante Effekte hätten verursachen können, etwa andere Anordnungen wie Clustering oder weitere Stufen unterschiedlicher Grade der Strukturierung zwischen den getesteten Extremfällen. Der Einfluss der Orientierung von Objekten auf der Oberfläche, also ihre Ausrichtung und Drehung gegenüber der „Standardposition“ (in der die Objektkanten parallel zu den Bildschirmrändern liegen), wurde ebensowenig untersucht wie die Auswirkungen, welche verschiedene Stimuli- und Gittergrößen sowie andere Unterteilungsarten, zum Beispiel ein Sechseckraster, bestehend aus hexagonalen Waben, auf die Gedächtnisleistung haben können. Auch die Interaktionen zwischen den Variablen wurden nicht vollständig analysiert, indem das Gitter-Experiment in einem statischen, die anderen beiden Studien aber in einem dynamischen Umfeld durchgeführt wurden. So ist die Übertragung der Ergebnisse der ersten Untersuchung auf eine komplexere Benutzerschnittstelle, die etwa Panning erlaubt, nicht zwingend möglich und müsste gegebenenfalls in einem weiteren Experiment analysiert werden.

Auf der anderen Seite ist in zoombaren Anwendungen aber auch die Einführung verschiedener lokaler und globaler Landmarken zu analysieren, um den Kontext der Umgebung beim Hinein- oder Herauszoomen nicht zu verlieren. Als dynamische Settings weisen *ZUIs* eine Vielzahl verschiedener Attribute auf, welche das räumliche Gedächtnis auf unterschiedliche Arten beeinflussen können. Die durchgeführten Studien sind also auch in diesem Fall keineswegs vollständig. Vor allem in Verbindung mit dem Faktor Eingabegerät lässt sich die Verwendung diverser Interaktionskonzepte analysieren.

Gegenstand einer Untersuchung könnten zum Beispiel verschiedene Displaygrößen oder zum Zoom alternative Darstellungsmethoden von Details sein, etwa die Verwendung von *Fisheye*-Ansichten, also der lokalen Verzerrung der Landschaft ähnlich dem Blick durch ein Fischaugenobjektiv (siehe zum Beispiel [Sarkar, Brown]), oder der Einsatz der *Mélange*-Technik, einer Methode, welche die Faltung der Oberfläche ähnlich einer Landkarte erlaubt, sodass Platz gespart und relevante Bereiche vergrößert dargestellt werden können ([Elmqvist et al.]). Die dadurch erwirkte Stauchung des virtuellen Raums mag zwar im ersten Moment verwirrend erscheinen, man kann aber möglicherweise großen Nutzen aus ihrer Natürlichkeit ziehen, wenn die *Pinching*-Geste analog zur realen Welt die digitale Landschaft wie ein Blatt Papier zusammenschiebt. Dies könnte der für gewöhnlich zum Zoomen verwendeten Geste in einem vollkommen anderen Kontext zu besserem intuitiven Verständnis verhelfen.

Des Weiteren hat die in [Jetter et al.] eingeführte und in dieser Arbeit angepasste Definition einer Navigationskosten-Metrik eine Möglichkeit geschaffen, das Zurücklegen von Wegen in zoombaren Benutzerschnittstellen, deren dritte Dimension auf nichtlineare Art umgesetzt wurde, unabhängig von den üblichen Maßen „Bearbeitungszeit“ und „Fehlerhäufigkeit“ zu untersuchen. Dies erleichtert die Durchführung empirischer Studien in der Informatik und ihrer Auswertung erheblich, da Forscher nun flexibler in der Operationalisierung der Hypothesen sind, für die sie auf das neue Maß zurückgreifen können.

Wegen des jungen Alters der Gedächtnisforschung in der Mensch-Computer-Interaktion ist die Diversität an möglichen Untersuchungsgegenständen groß und außer den oben genannten ließen sich noch viele andere Sachverhalte analysieren. Die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit decken einen starken Handlungsbedarf auf, da sich die wenigen bereits getätigten Untersuchungen bis auf einige Ausnahmen lediglich mit der Überprüfung spezifischer Anwendung beschäftigen und selten auf die Allgemeinheit übertragbare Ergebnisse liefern. Mit Hilfe einer vollständigen Sammlung aller üblichen Interface-Design-Komponenten und ihrem Einfluss auf das räumliche Gedächtnis würde man aber in der Lage sein, bei der Konzeption einer neuen Schnittstelle die Design-Elemente derart auszuwählen, dass die Orientierung des Nutzers während der Anwendung des Systems optimal gefördert wird, um die Navigation in großen und komplexen Datenräumen bestmöglich zu erleichtern. Für den Vergleich herkömmlicher Systeme mit zoombaren Benutzerschnitt-

stellen bezüglich ihrer Unterstützung des räumlichen Erinnerungsvermögens legt diese Arbeit somit einen Grundstein, von dem ausgehend sich weitere Interface-Design-Komponenten im Detail analysieren und zu einem umfassenden Gesamtbild zusammenfügen lassen.

Anhang A

Versuchsmaterialien Gitter-Experiment

In diesem Kapitel werden die für das ausführlich beschriebene Gitter-Experiment benötigten Versuchsmaterialien dargestellt. Unten auf dieser Seite befindet sich zur Anschauung der Anfang der Rechenaufgaben, die zufällig generiert wurden und zwischen Einprägungs- und Rekonstruktionsphasen gelöst werden sollten. Auf den folgenden Seite sieht man beispielhaft für *Gruppe L* die Arbeitsanweisungen und den abschließenden Fragebogen.

13	+	15	=	8	+	42	=
38	+	9	=	8	+	23	=
27	:	3	=	90	+	86	=
74	-	55	=	73	x	7	=
4	x	9	=	56	+	32	=
99	x	6	=	31	+	50	=
53	-	43	=	8	+	87	=
54	-	47	=	70	-	22	=
56	:	7	=	3	+	18	=
51	+	5	=	63	:	7	=
7	x	14	=	71	-	21	=
49	+	59	=	49	+	98	=

Abbildung A.1: Auszug aus den Rechenaufgaben.

Bitte prägen Sie sich die Objekte und ihre Lage ein, die gleich für 30 Sekunden auf dem Bildschirm erscheinen.

		🚗	🌙	🎁	😊	
🕸	🕒			🌡		🕯
🕊		✉	🔪	✚		
🚩	💧	♥	👉	🚲	📱	👁
🚢	📺		🐕		💾	

(a) Arbeitsanweisung Einprägungsphase

Bitte wenden Sie sich nun den Rechenaufgaben auf dem Blatt neben Ihnen zu. Lösen Sie diese bis ein Klick-Laut ertönt.

Bitte rechnen!

(b) Arbeitsanweisung Rechenaufgabe

Ordnen Sie die vorhin gemerkten Objekte auf der Oberfläche an, die gleich erscheint. Dafür haben Sie 2:30 Minuten Zeit.

Nicht sicher? Es gibt Blanko-Kärtchen zur Positionsmarkierung.

Objekte, deren Lage Sie nicht behalten haben, können Sie am Rand des Bildschirms ablegen.

(c) Arbeitsanweisung Rekonstruktionsphase

Abbildung A.2:
PowerPoint-Folien, die beim Gitter-Experiment in der Reihenfolge a-b-c-b wiederholt wurden.

Auswertungs-Fragebogen

Zur Person:

Alter: _____

Geschlecht: männlich
 weiblich

Muttersprache: _____

Sind Sie...? Linkshänder
 Rechtshänder
 beides

Benötigen Sie eine Sehhilfe?

ja
 nein

Falls ja, tragen Sie überwiegend...

eine Brille
 Kontaktlinsen
 beides zu gleichen Teilen

Falls ja, welche Art von Sehschwäche haben Sie?

Kurzsichtigkeit
 Weitsichtigkeit
 sonstiges: _____

Falls ja, zu welchen Gelegenheiten nutzen Sie ihre Sehhilfe?

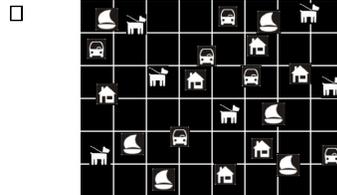
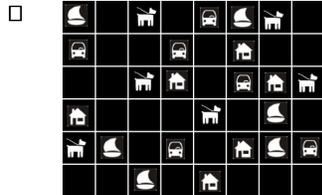
beim Autofahren
 beim Lesen
 beim Fernsehen
 bei der PC-Arbeit
 immer

Studiengang: _____

Abbildung A.3: Demographischer Teil des Fragebogens.

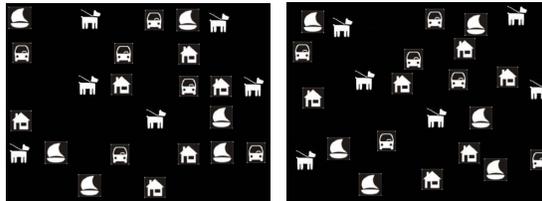
Zum Test:

Welche Anordnung konnten Sie sich leichter einprägen?



Haben Sie eine bestimmte Strategie verwendet, um sich die Bilder und Positionen leichter einzuprägen? Wenn ja, welche?

Hätte die Abwesenheit des Gitters einen Einfluss auf Ihre Erinnerungsleistung gehabt?



Schlechtere
Erinnerungsleistung

Bessere
Erinnerungsleistung

Abbildung A.4: Testbezogener Teil des Fragebogens.

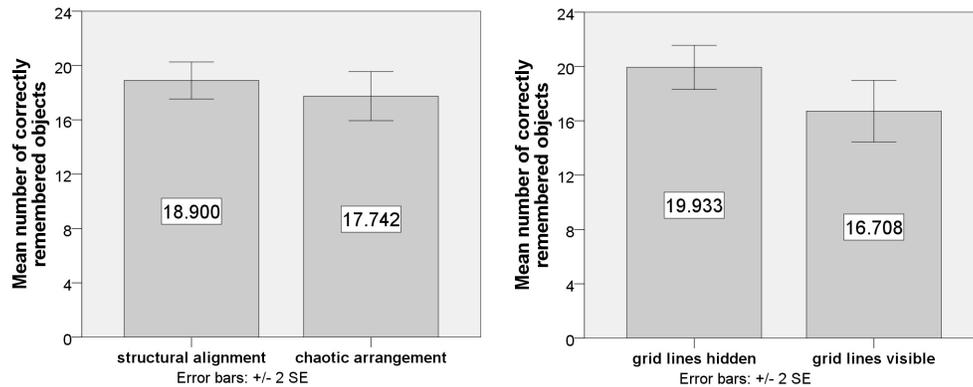
Anhang B

Ergebnisgraphen Gitter-Experiment

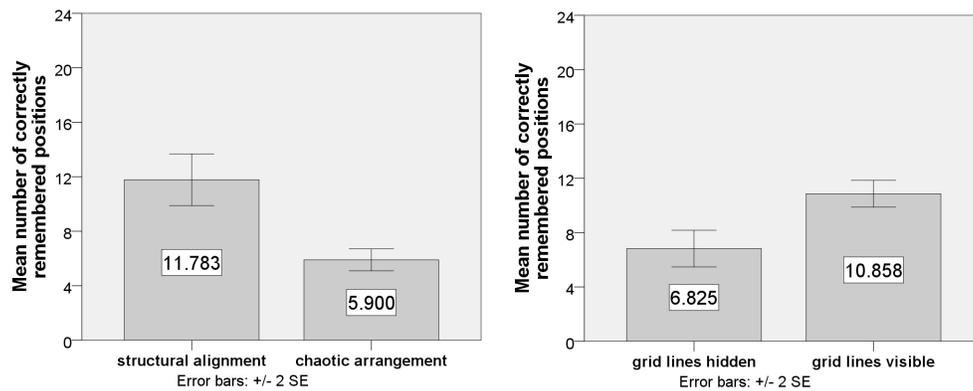
In diesem Kapitel werden die Resultate des Gitter-Experimentes ausführlich graphisch dargestellt. Dort befinden sich Schaubilder für folgende Ergebnisse:

- Balkendiagramme der Haupteffekte
 - Inhaltliches Gedächtnis
 - Rein räumliches Gedächtnismaß
 - Kombiniertes Gedächtnismaß
- Interaktionseffekt kombiniertes Gedächtnismaß
- Zeitliche Entwicklung der Erinnerungsleistung (Lernkurven)
 - Inhaltliches Gedächtnis
 - Rein räumliches Gedächtnismaß
 - Kombiniertes Gedächtnismaß

Die nach Faktorstufen getrennten Lernkurven dienen lediglich der Veranschaulichung und sind deshalb nicht mit Werten versehen.



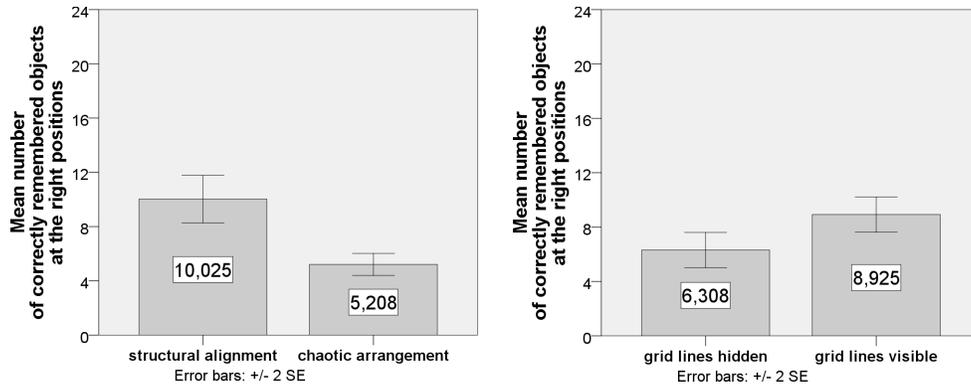
(a) Inhaltliches Gedächtnis. Abgetragen ist jeweils die durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Objekte.



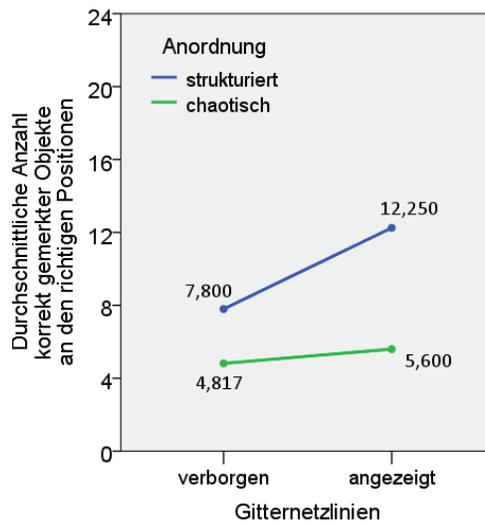
(b) Rein räumliches Gedächtnismaß. Abgetragen ist jeweils die durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Positionen.

Abbildung B.1:

Balkendiagramme für die Haupteffekte der unabhängigen (links Anordnung, rechts Anzeige von Gitternetzlinien) auf die abhängigen (oben inhaltlich, unten räumlich) Variablen. Die Ergebnisse sind jeweils mit einem Fehlerbalken von plus/minus dem zweifachen Standardfehler dargestellt.



(a) Balkendiagramme für die Haupteffekte der unabhängigen (links Anordnung, rechts Anzeige von Gitternetzlinien) Variablen auf das kombinierte Gedächtnismaß. Abgetragen ist jeweils die durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Objekte an den richtigen Positionen. Die Ergebnisse sind mit einem Fehlerbalken von plus/minus dem zweifachen Standardfehler dargestellt.



(b) Interaktionseffekte zwischen den Faktoren Gitternetzlinienanzeige (x-Achse) und Anordnung (getrennte Linien).

Abbildung B.2:

Haupt- und Interaktionseffekte des kombinierten inhaltlich-räumlichen Gedächtnismaßes.

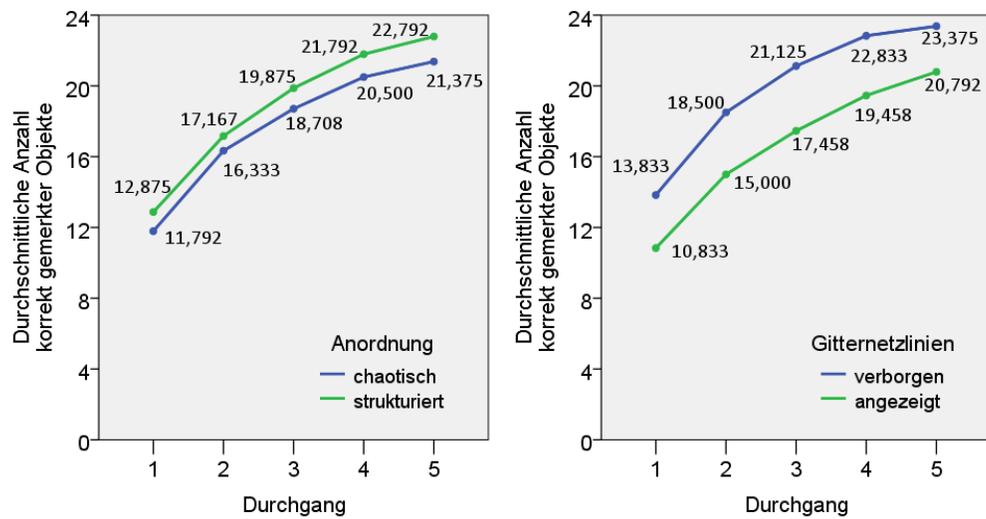
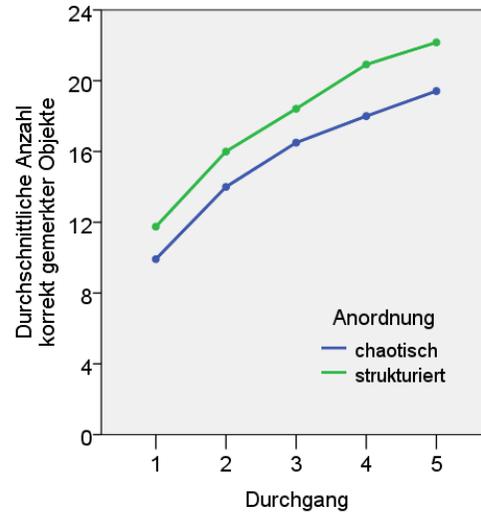
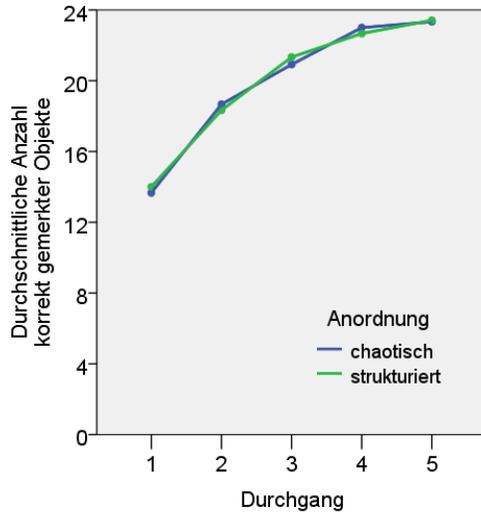
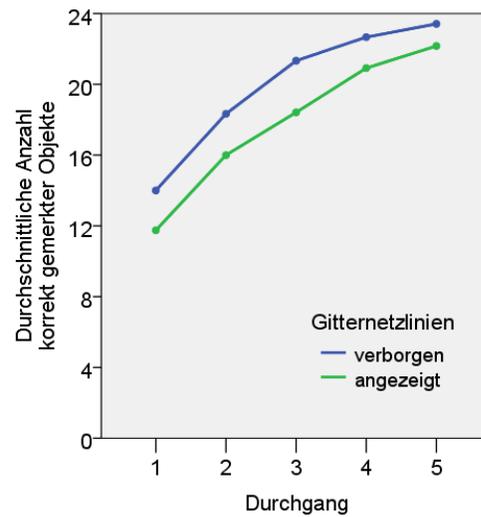
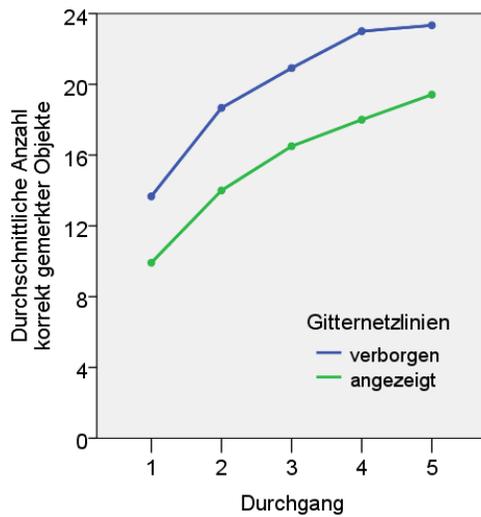


Abbildung **B.3**: Inhaltliches Gedächtnis.
 Abgetragen ist jeweils die durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Objekte für die Faktoren Anordnung (links) und Anzeige von Gitternetzlinien (rechts).



(a) Faktor Anordnung bei verborgenen (links) und sichtbaren (rechts) Gitternetzlinien.



(b) Faktor Anzeige von Gitternetzlinien bei chaotischer (links) und strukturierter (rechts) Anordnung.

Abbildung **B.4**: Inhaltliches Gedächtnis.

Trennung nach Faktorstufen von Gitternetzlinienanzeige (oben) und Anordnung (unten).

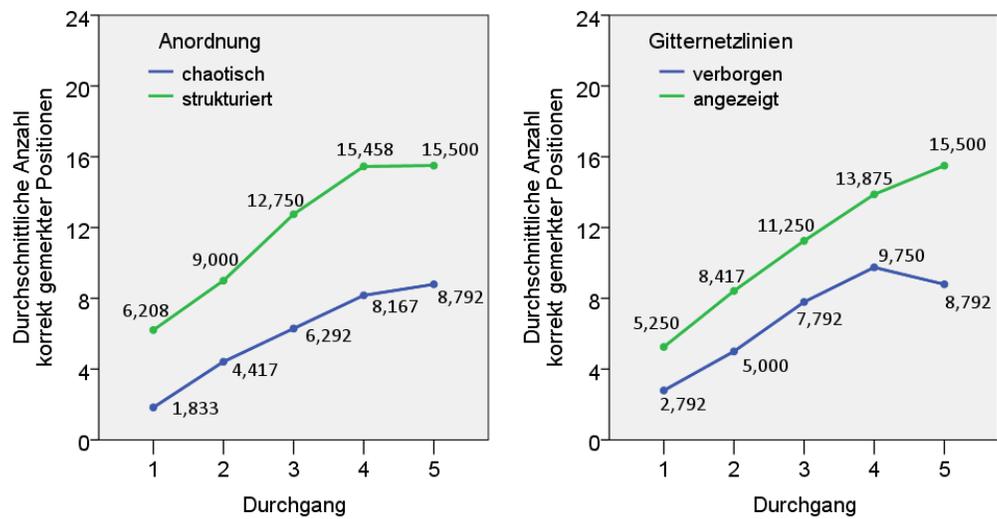
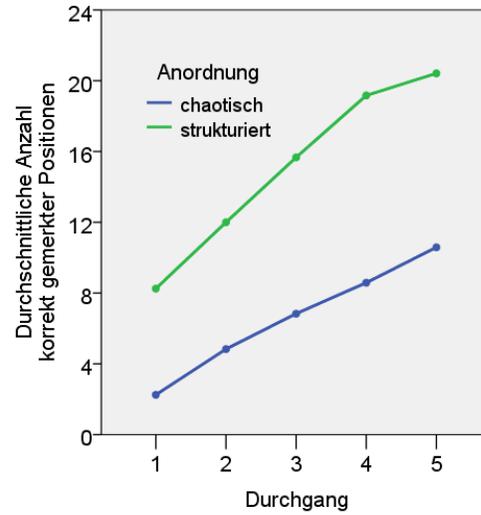
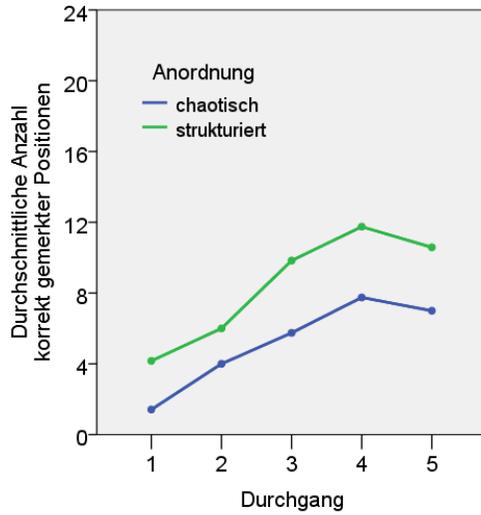
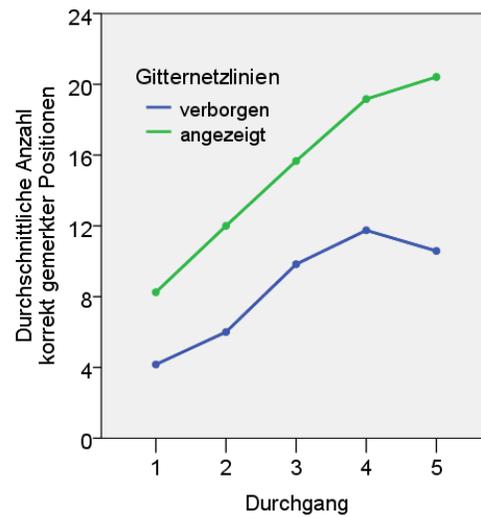
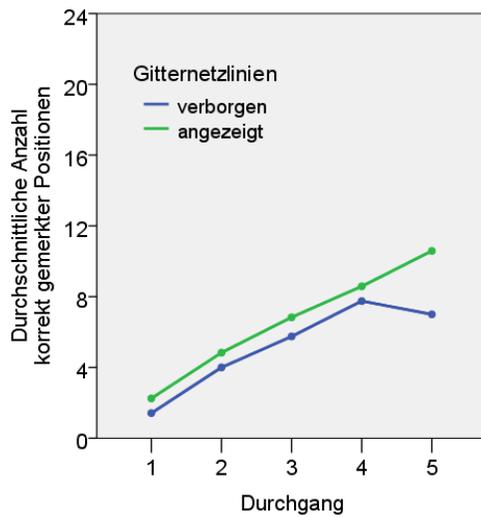


Abbildung **B.5**: Rein räumliches Gedächtnismaß.
 Abgetragen ist jeweils die durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Positionen für die Faktoren Anordnung (links) und Anzeige von Gitternetzlinien (rechts).



(a) Faktor Anordnung bei verborgenen (links) und sichtbaren (rechts) Gitternetzlinien.



(b) Faktor Anzeige von Gitternetzlinien bei chaotischer (links) und strukturierter (rechts) Anordnung.

Abbildung **B.6**: Rein räumliches Gedächtnismaß.
Trennung nach Faktorstufen von Gitternetzlinienanzeige (oben) und Anordnung (unten).

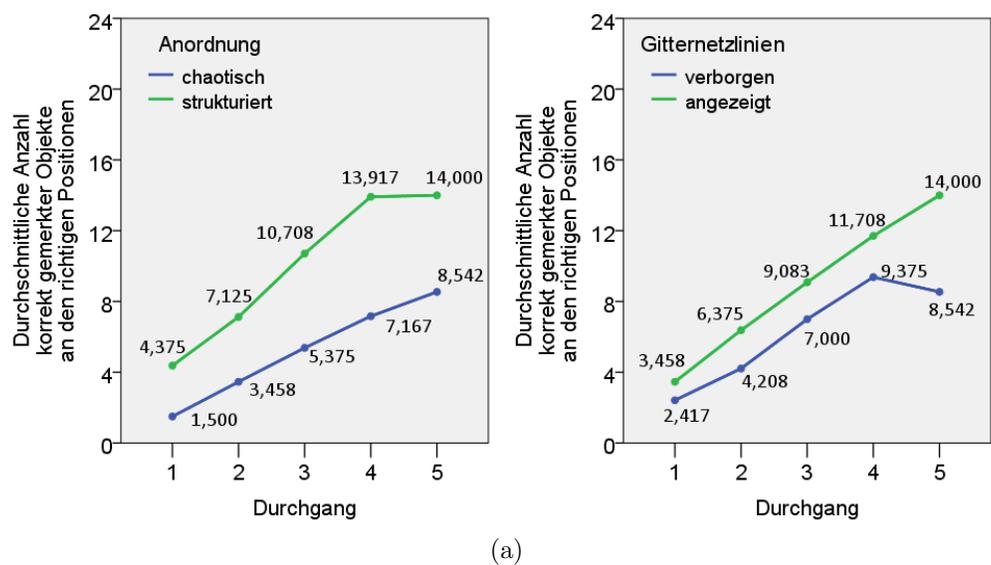
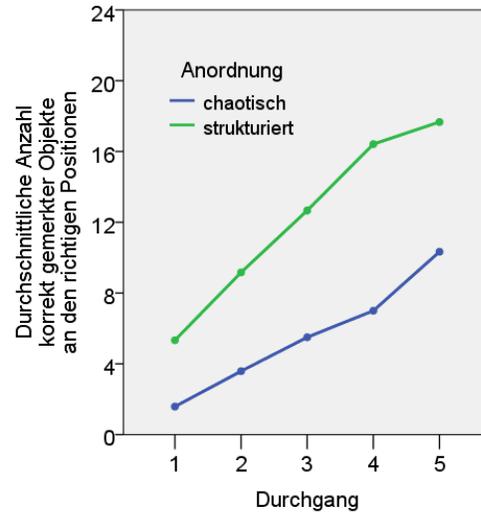
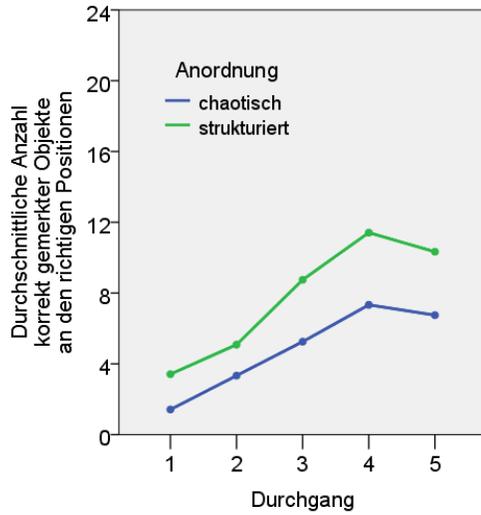
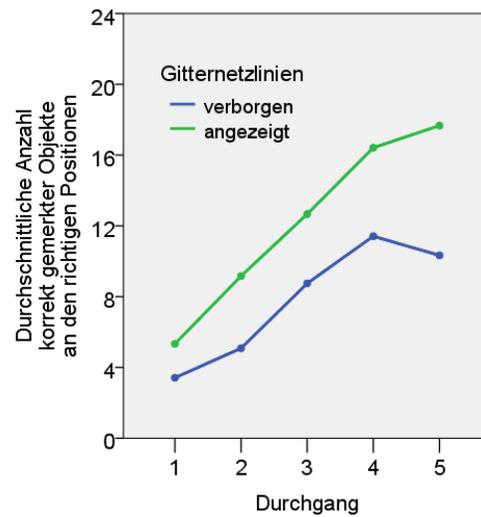
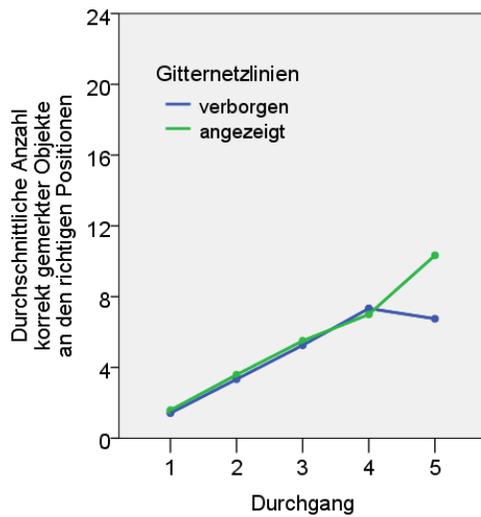


Abbildung **B.7**: Kombiniertes inhaltlich-räumliches Gedächtnismaß. Abgetragen ist jeweils die durchschnittliche Anzahl der korrekt gemerkten Positionen für die Faktoren Anordnung (links) und Anzeige von Gitternetzlinien (rechts).



(a) Faktor Anordnung bei verborgenen (links) und sichtbaren (rechts) Gitternetzlinien.



(b) Faktor Anzeige von Gitternetzlinien bei chaotischer (links) und strukturierter (rechts) Anordnung.

Abbildung **B.8**: Kombiniertes inhaltlich-räumliches Gedächtnismaß. Trennung nach Faktorstufen von Gitternetzlinienanzeige (oben) und Anordnung (unten).

Glossar

ANOVA

Analysis of Variance. Eine ANOVA vergleicht die Varianzen innerhalb der Versuchsgruppen (V_{in}) mit jenen zwischen ihnen (V_{zw}), um zu eruieren, ob ein *signifikanter* Unterschied zwischen ihnen besteht. Den Quotienten aus V_{zw} und V_{in} bezeichnet man in Abhängigkeit der Freiheitsgrade df als F-Wert im Stil $F(df_{zw}, df_{in}) = \frac{V_{zw}}{V_{in}}$, woraus der Signifikanzwert p berechnet wird.

asymmetrischer Lerneffekt

Spezialfall eines *Übertragungseffektes*. Bei *Innersubjektfaktoren* können Lerneffekte auftreten, wenn Strategien zum Lösen einer Aufgabe von einer Bedingung auf eine andere übertragen werden können. Man spricht von asymmetrischen Lerneffekten, wenn diese nur in einer Richtung auftreten, das heißt, wenn man Strategien von Faktorstufe A auf B übertragen kann, aber nicht von B auf A.

ausbalancieren

Versuchsbedingungen eines *Innersubjektdesigns* werden als ausbalanciert bezeichnet, wenn ihre Reihenfolge für unterschiedliche Versuchspersonen gleichmäßig variiert wird. Gibt es zwei Bedingungen A und B, so testet man die eine Hälfte der Versuchspersonen in der Reihenfolge A-B, die andere Hälfte in der Reihenfolge B-A.

between-subjects	Siehe <i>Zwischensubjektdesign</i> .
Ceiling-Effekt	Ist die während eines Experimentes gestellte Aufgabe zu „leicht“, sodass die Teilnehmer zum Beispiel keine Fehler machen oder den Test in minimaler Zeit absolvieren, spricht man vom Ceiling-Effekt. Er kann weitere Effekte überdecken, wenn aufgrund von insgesamt „guten“ Resultaten keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen zu erkennen sind.
F-Test	Siehe <i>ANOVA</i> .
Faktor	Siehe <i>Variable</i> .
Fehler	Störende Einflüsse, welche die Qualität der Untersuchung gefährden, werden in zufällige und systematische Fehler unterteilt. Zufällige Fehler sind natürliche Schwankungen, die den Mittelwert der Ergebnisse nicht verändern, sondern nur ihre Varianz, also die Abweichung vom Mittelwert, erhöhen. Treten zufällige Fehler gehäuft auf, vor allem wenn sie die Resultate nur in eine Richtung beeinflussen und nur eine Versuchsbedingung betreffen, nennt man sie systematische Fehler, die das Ergebnis der Auswertung verfälschen können, da sie den Mittelwert und damit die gesamte Ergebniskurve verschieben.
Haupteffekt	Als Haupteffekt bezeichnet man den Einfluss, den die unabhängige auf die abhängige <i>Variable</i> hat.

Hypothese

Eine Hypothese ist die vorab gegebene vermutete Antwort auf eine Forschungsfrage.

Die Kausalhypothese erwartet einen eindeutigen Zusammenhang zwischen zwei *Faktoren*, der dem Ursache-Wirkungs-Prinzip genügt. Sie beschreibt den Effekt, den eine unabhängige auf eine abhängige Variable hat.

Als Alternativhypothese H_1 bezeichnet man die vom Forscher aufgestellte Hypothese, die meist einen Effekt vermutet. Sie steht im Gegensatz zur Nullhypothese H_0 , welche den Rest der möglichen Ergebnisse abdeckt und meist von der Abwesenheit eines Einflusses oder dessen umgekehrter Richtung ausgeht.

Innersubjektdesign

Engl.: *within-subjects design*. Alle Versuchspersonen testen alle Faktorstufen. Vergleicht man zum Beispiel zwei Bedingungen, werden alle Teilnehmer mit beiden konfrontiert, für gewöhnlich *ausbalanciert*, um *Übertragungseffekte* zu vermeiden.

Interaktionseffekt

Einen Einfluss, den eine unabhängige *Variable* auf das durch eine andere unabhängige *Variable* erzeugte Ergebnis hat, nennt man Interaktionseffekt. Schneidet etwa, wenn eine Bedingung B_1 gilt, bei einem anderen *Faktor* A_1 besser ab als A_2 , wenn aber B_2 gilt, ist A_2 besser als A_1 , so spricht man von einem Interaktionseffekt zwischen den beiden *Faktoren* A und B.

Landmarke

Eine Landmarke ist ein Reiz, der zur Beschreibung oder Wiedererkennung eines Weges genutzt wird.

In der realen Welt kann dies zum Beispiel das Straßennetz sein, Ampeln oder Gebäude. Man unterscheidet zwischen globalen Landmarken, an denen vor allem die grobe Richtung abgelesen werden kann, etwa ein Fernsehturm, der fast überall in der Stadt zu sehen ist, oder lokalen Landmarken wie Bushaltestellen oder besonders markante Häuser in der näheren Umgebung.

In der virtuellen Welt kann eine globale Landmarke zum Beispiel aus einem speziellen Hintergrundbild bestehen, während als lokale Landmarken auch andere, benachbarte Objekte in Frage kommen, an deren Lage man sich – insbesondere bei einer thematisch sortierten Anordnung – orientieren kann.

Landschaft, virtuelle

Als virtuelle Landschaft wird hier eine sich im Hintergrund befindliche digital dargestellte zweidimensionale Oberfläche bezeichnet, auf der im Vordergrund Objekte verortet sind.

N

Anzahl der betrachteten Menge an Subjekten, meist Anzahl der Versuchsteilnehmer.

p-Wert

Siehe auch *F-Test*. p gibt an, wie groß die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der gemessenen Daten ist, unter der Annahme, dass die Nullhypothese zutrifft. In dieser Arbeit wird die Nullhypothese ab einem Wert von $p < 0,05$, also bei einer Wahrscheinlichkeit von weniger als fünf Prozent, verworfen und die Alternativhypothese vorläufig angenommen.

Pinching	In einer touchbaren Zoom-Landschaft bezeichnet Pinching die Bewegung mehrerer Finger einer Hand aufeinander zu, was ein Herauszoomen bewirkt. Gegenteil von <i>Spreading</i> .
Regressionsanalyse	Werden Zusammenhänge zwischen der unabhängigen und der abhängigen <i>Variablen</i> vermutet, so kann eine Regressionsanalyse Aufschluss darüber geben, welcher Art die Beeinflussung ist, ob also zum Beispiel eine lineare oder quadratische Abhängigkeit besteht.
Repeated-Measures-Design	Wird der gleiche abhängige <i>Faktor</i> zu mehreren Zeitpunkten gemessen, um etwa eine Entwicklung über die Zeit zu untersuchen, so spricht man von einem Repeated-Measures-Design, einem Spezialfall des <i>Innersubjektdesigns</i> .
Signifikanz	Überschreiten die Unterschiede, welche zwischen den Ergebnissen der Faktorstufen der unabhängigen <i>Variable</i> gemessen wurden, einen gewissen Wert, so werden sie als signifikant bezeichnet, da die Wahrscheinlichkeit, dass diese Unterschiede trotz der Abwesenheit eines Einflusses auftreten, sehr gering ist. Auf Signifikanz wird hier mit Hilfe einer <i>ANOVA</i> getestet.
Split-Plot-Design	Versuchsdesign, bei dem ein Teil der <i>Variablen zwischen</i> und ein Teil <i>innerhalb</i> der Versuchspersonen-Gruppen getestet wird. So können nicht nur die <i>Haupteffekte</i> der einzelnen Faktoren bestimmt werden, sondern auch eventuelle <i>Interaktionseffekte</i> zwischen ihnen.

Spreading

Bewegt man in einem touchfähigen zoombaren Interface mehrere Finger einer Hand auseinander, so nennt man dies eine Spreading-Geste, die ein Hineinzoomen in den virtuellen Raum bewirkt. Gegenteil von *Pinching*.

Stimulus

Als Stimulus wird ein Reiz bezeichnet, der zum Beispiel akustisch, optisch oder haptisch sein kann.

In dieser Arbeit ist damit ein einzelnes Objekt gemeint, welches verinnerlicht und später wiedererkannt werden soll. Die Verwendung des Begriffes ist hier also analog zu „Objekt“ oder „Element“.

Übertragungseffekt

Wird ein *Innersubjekt*design verwendet, kann die Reihenfolge der *Faktoren* einen Einfluss auf das Ergebnis haben, etwa wenn beim Vergleich von zwei Bedingungen A und B immer A zuerst getestet wird. Durch die im ersten Teil des Tests erhaltene zusätzliche Übung, etwa beim Lösen eines speziellen Aufgabentyps, könnte es dann passieren, dass die Ergebnisse des zweiten Teils, in dem B untersucht wird, deutlich besser ausfallen als wenn die Reihenfolge umgekehrt wäre. Kann oft durch *ausbalancieren* ausgeglichen werden, nicht aber, wenn zum Beispiel ein *asymmetrischer Lerneffekt* auftritt.

Variable	Auch <i>Faktor</i> . Eine Variable ist der zu verändernde Teil der <i>Hypothese</i> . Man unterscheidet zwischen unabhängigen Variablen, die vom Experimentator manipuliert werden, um ihren Einfluss auf das Ergebnis zu untersuchen, und abhängigen Variablen, die durch die Veränderung der unabhängigen Variable beeinflusst werden. Variablen, die einen unerwünschten Einfluss auf das Versuchsergebnis haben, bezeichnet man als Stör- oder Drittvariablen, etwa das Alter der Probanden, aber auch <i>Fehler</i> .
Varianzanalyse	Siehe <i>ANOVA</i> .
within-subjects	Siehe <i>Innersubjektdesign</i> .
Zwischensubjektdesign	Engl.: <i>between-subjects design</i> . Die Versuchspersonen werden in je eine Gruppe pro Faktorstufe aufgeteilt und jeder Proband wird nur mit dieser einen Ausprägung der <i>Variablen</i> konfrontiert. Verglichen wird zwischen den Gruppen.

Quellenverzeichnis

- [Apple] Apple-Produkthomepage: „Apple – iPhone 5 – Hintergrundinformationen zur Entwicklung des iPhone 5“. URL: <http://www.apple.com/de/iphone/design/> [Stand: 8. Januar 2013].
- [Baddeley] Baddeley, Alan David (1994): *Human Memory: theory and practice*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- [Bammel, Gerding] Bammel, Katja/Gerding, Michael (1998): „Auflösungsvermögen“. In: Greulich, Walter (Hrsg.): *Lexikon der Physik*, Bd. 1. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- [Berthold et al.] Berthold, Michael R./Borgelt, Christian/Höppner, Frank/Klawonn, Frank (2010): *Guide to Intelligent Data Analysis. How to Intelligently Make Sense of Real Data*. London: Springer, S. 156-157.
- [Biederman] Biederman, Irving (1981): „Do background depth gradients facilitate object identification?“ In: *Perception*, Vol. 10, 573-578.
- [Bradford] Bradford, K. T.: „Fusion Garage Grid10 Review – Second Time’s The Charm? Not Quite“. URL: <http://www.gottabemobile.com/2011/10/07/fusion-garage-grid10-review/> [Stand: 14. Januar 2012].
- [Cestari et al.] Cestari, Vincenzo/Lucidi, Annalisa/Pieroni, Laura/Rossi-Arnaud, Clelia (2007): „Memory for Object Lo-

- cation: A Span Study in Children“. In: *Canadian Journal of Experimental Psychology*, Vol. 61, No. 1, 13-20.
- [Chan, Bergen] Chan, Ting Ting/Bergen, Benjamin (2005): „Writing Direction Influences Spatial Cognition“. In: *Proc. of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Erlbaum, Mahwah, New Jersey, 412-417.
- [Elmqvist et al.] Elmqvist, Niklas/Riche, Yann/Henry, Nathalie/Feke-te, Jean-Daniel (2010): „Mélange: Space Folding for Visual Exploration“. In: *The IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 16, No. 3, 468-483.
- [Furnas, Bederson] Furnas, George W./Bederson, Benjamin B. (1995): „Space-scale diagrams“. In: *Proc. CHI*, ACM Press, 234-241.
- [Hübner] Hübner, Ronald (2010, 30. März). Persönliches Gespräch mit Professor Doktor Ronald Hübner, Arbeitsgruppe Kognitive Psychologie, Universität Konstanz.
- [Jetter] Jetter, Hans-Christian (2012): „Design and Implementation of Post-WIMP Interactive Spaces with the ZOIL Paradigm“. Dissertation, Universität Konstanz.
- [Jetter et al.] Jetter, Hans-Christian/Leifert, Svenja/Gerken, Jens/Schubert, Sören/Reiterer, Harald (2012): „Does (Multi-)Touch Aid Users’ Spatial Memory and Navigation in ‚Panning‘ and in ‚Zooming & Panning‘ UIs?“. In: *AVI*, ACM Press, 83-90.
- [Jul, Furnas] Jul, Susanne/Furnas, George W. (1998): „Critical Zones in Desert Fog: Aids to Multiscale Navigation“. In: *Proc. of UIST*, ACM Press, 97-106.
- [Leifert 2011] Leifert, Svenja (2011): „The Influence of Grids on Spatial and Content Memory“. In: *CHI EA*, ACM Press, 941-946.

- [Leifert 2012] Leifert, Svenja (2012): „Bericht über das Masterprojekt ‚Planung und Durchführung eines Gedächtnisexperimentes in der Mensch-Computer-Interaktion‘“. Masterprojektbericht, Universität Konstanz.
- [Martin et al.] Martin, Romain/Houssemand, Claude/Schiltz, Christine/Burnod, Yves/Alexandre, Frédéric (2008): „Is there continuity between categorical and coordinate spatial relations coding? Evidence from a grid/no-grid working memory paradigm“. In: *Neuropsychologia*, Vol. 46, 576-594.
- [Microsoft Surface] Microsoft-Produktthomepage: „Photos 1.0 SP1“. URL: [http://technet.microsoft.com/en-us/library/ee692031\(v=surface.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/en-us/library/ee692031(v=surface.10).aspx) [Stand: 8. Januar 2013].
- [Morris et al.] Morris, Meredith Ringel/Lombardo, Jarrod/Wigdor, Daniel (2010): „WeSearch: Supporting Collaborative Search and Sensemaking on a Tabletop Display“. In: *Proc. CSCW*, ACM Press, 401-410.
- [Postma et al.] Postma, Albert/Jager, Gerry/Kessels, Roy P.C./Koppeschaar, Hans P.F./van Honk, Jack (2004): „Sex differences for selective forms of spatial memory“. In: *Brain and Cognition*, 24-34.
- [Puglisi et al.] Puglisi, J. Thomas/Park, Denise Cortis/Smith, Anderson D./Hill, Gregory W. (1985): „Memory for two types of spatial location: Effects of instructions, age, and format“. In: *The American Journal of Psychology*, Vol. 98, No. 1, 101-118.
- [Reiterer et al.] Reiterer, Harald/Heilig, Mathias/Rexhausen, Sebastian (2009): „MedioVis 2.0 - A novel User Interface for Seeking Audio-Visual Media Libraries“. In: *Workshop Audio Visuelle Medien*, sachsmmedia, Chemnitz, 3-12.
- [Robertson et al.] Robertson, George/Czerwinski, Mary/Larson, Kevin/Robbins, Daniel C./Thiel, David/van Dantzych,

- Maarten (1998): „Data Mountain: Using Spatial Memory for Document Management“. In: *Proc. of UIST*, ACM Press, 153-162.
- [Sarkar, Brown] Sarkar, Manojit/Brown, Marc H. (1994): „Graphical fisheye views“. In: *Communications of the ACM*, ACM Press, 73-83.
- [Schubert] Schubert, Sören (2011): „Auswirkung verschiedener Eingabegeräte auf das Erlernen räumlich-visueller Merkmale einer virtuellen Informationslandschaft“. Masterarbeit, Universität Konstanz.
- [Tan et al.] Tan, Desney S./Stefanucci, Jeanine K./Proffitt, Dennis R./Pausch, Randy (2002): „Kinesthetic Cues Aid Spatial Memory“. In: *CHI EA*, ACM Press, 806-807.
- [Zechmeister, Nyberg] Zechmeister, Eugene B./Nyberg, Stanley E. (1982): *Human memory, an introduction to research and theory*. Monterey, Kalifornien: Brooks/Cole Publishing Company.

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Thema

Theorie und experimentelle Untersuchung des Einflusses von Interaktionsdesign auf das räumliche und inhaltliche Gedächtnis

selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen, die aus anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall durch Angabe der Quelle, auch der benutzten Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Konstanz,

.....

Unterschrift