

Bachelorarbeit

**Eine Evaluierung von Touch-basierten und
räumlichen Zoomen und Pannen**

Martin Schüßler

Seerosenweg 5, 39291 Möser, Deutschland

research@mschuessler.de

7. Januar 2013



INF

FAKULTÄT FÜR
INFORMATIK



Gutachter:
Prof. Dr. Preim
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg
Tel: +49-391-67-58512
Email: preim@isg.cs.uni-magdeburg.de

Betreuer:
Dipl. Ing. Martin Spindler
Arbeitsgruppe User interface & Software Engineering
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg
Tel: +49-391-67-52189
Email: spindler@isg.cs.uni-magdeburg.de

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Zoomen und Pannen auf mobilen Bildschirmen. Als Alternative zu dem Navigieren mittels Multitouch Fingergesten wird eine Technik vorgestellt, die die Position des Gerätes im Raum als Eingabe nutzt. Bei dieser Technik fungiert der mobile Bildschirm als physisch bewegbares Guckloch in einen virtuellen Informationsraum. Beide Interationskonzepte werden genau beschrieben und es wird eine Nutzerstudie mit 40 Teilnehmern zur Evaluierung mittels eines dafür entworfenen Prototyps vorgestellt. Die Messwerte zeigen, dass weibliche sowie männliche Probanden mit der räumlichen Technik sowohl auf iPhone und iPad mindestens gleich schnell und sehr häufig sogar signifikant schneller navigierten als mit der Touch-Technik.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziele der Bachelorarbeit	4
1.3 Gliederung der Arbeit	4
1.4 Definition häufig verwendeter Begriffe	4
1.4.1 Pannen	4
1.4.2 Zoomen	5
1.4.3 Tracken	5
1.4.4 Nachsetzen	5
1.5 Verwandte Arbeiten	5
1.5.1 Grundlegende Konzepte	5
1.5.2 Übertragung des Ansatzes auf Mobilgeräte	7
1.5.3 Konzepte für das Zoomen und Pannen	9
1.5.4 Erweiterungen der Touch-Interaktion	10
1.5.5 Forschung am Lehrstuhl	12
1.6 Fazit und Beitrag dieser Arbeit	13
2 Interaktionskonzepte	14
2.1 Allgemeine Konzepte	14
2.1.1 Space-scale diagram	14
2.1.2 Bewegliche Schlüsselloch- Metapher/ Bewegliche Informationsraum-Metapher	15
2.1.3 Nachsetzentechnik	17
2.1.4 Begrenzung von Informationsräumen	17
2.2 Touchbasiertes Zoomen und Pannen	17
2.2.1 Fingerberührungen als Eingabe	17
2.2.2 Drag zum Pannen	17
2.2.3 Pinch-Geste	18
2.2.4 Bouncing als Begrenzung des Informationsraumes	19
2.2.5 Feinabstimmung der Touch-Interaktion	19
2.3 Lagebasiertes Zoomen und Pannen	20
2.3.1 Lage im Raum als Eingabe	20
2.3.2 In der Ebene verschieben zum Pannen	20
2.3.3 Heben/ Senken zum Zoomen	20
2.3.4 Kupplungsmechanismus	23
2.3.5 Begrenzung des Informationsraumes	24

2.3.6	Variationsmöglichkeiten	25
2.4	Aufforderungscharakter der unterschiedlichen Metaphern	26
2.5	Kombination beider Techniken	27
2.6	Fazit	27
3	Benutzerstudie	28
3.1	Zu untersuchende Faktoren	28
3.1.1	Interaktionstechnik	28
3.1.2	Interaktionintention	28
3.1.3	Bildschirm und Gerätegröße	28
3.1.4	Geschlecht	29
3.2	Hypothesen	29
3.2.1	Quantitative Hypothesen	29
3.2.2	Qualitative Hypothesen	31
3.3	Methode	32
3.3.1	Stichprobe	32
3.3.2	Aufgaben	33
3.3.3	Szenario	33
3.3.4	Unterschiedliche Auflösung der Displays	34
3.3.5	Position der Rechtecke im Informationsraum	35
3.4	Versuchsdurchführung	38
3.4.1	Vorbereitung und Gruppenzuteilung	38
3.4.2	Praktischer Einsatz der ersten Interaktionstechnik	38
3.4.3	Fragebogen	40
3.4.4	Wiederholung für die zweite Interaktionstechnik	41
3.4.5	Abschluss	41
3.4.6	Apperatur	41
3.4.7	Logging	43
3.5	Fazit	43
4	Prototyp	44
4.1	Anforderungen	44
4.1.1	Funktionalität insbesondere Richtigkeit und Interoperabilität .	44
4.1.2	Zuverlässigkeit insbesondere Reife, Fehlertoleranz und Wiederherstellbarkeit	45
4.1.3	Effizienz insbesondere Zeitverhalten	45
4.1.4	Wartbarkeit insbesondere Modifizierbarkeit	45
4.1.5	Übertragbarkeit auf mehrere Geräte	46
4.2	Entwicklungsumgebung und Programmiersprachen	46
4.3	Umsetzung der Touch-Interaktionstechnik	46
4.4	Umsetzung der räumlichen Interaktion	46
4.4.1	Trackingmodul: Position und Rotation des Gerätes im realen metrischen Raum bestimmen	47

4.4.2	Interaktionsraummodul: Koordinatentransformation auf einem dreidimensionalen kanonischen Interaktionsraum	48
4.4.3	Interaktionsmappingmodul: Transformation der Positionsänderung auf den zweidimensionalen Informationsraum	48
4.4.4	Darstellungsmodul: Visualisierung & Lösung des Speicherproblems	49
5	Ergebnisse	50
5.1	Leistungsdatenanalyse	50
5.1.1	Hypothese H1: Effekt der Interaktionstechnik für Zoomaufgaben	50
5.1.2	Hypothese H2: Effekt der Interaktionstechnik für Pannenaufgaben	51
5.1.3	Hypothese H3: Effekt der Interaktionstechnik für Suchaufgaben	51
5.1.4	Hypothese H4: Effekt der Pan-Richtungen bei der räumlichen Technik	54
5.1.5	Hypothese H5: Effekt der Pan-Richtung bei Touch	54
5.1.6	Hypothese H6: Effekt der Bildschirmgrößen	54
5.1.7	Geschlechtereffekt	55
5.2	Subjektive Ergebnisse aus Selbstauskünften	56
5.2.1	H7: Qualitative Einschätzung der Techniken durch die Probanden	56
5.2.2	Einstellung zur Nachsetzentechnik	57
5.3	Beobachtete Einflussfaktoren	57
5.3.1	Beobachtungen bei der Verwendung der Multi-Touch-Interaktionstechnik	58
5.3.2	Beobachtungen bei der räumlichen Interaktionstechnik	60
6	Diskussion	62
6.1	Erkenntnisse	62
6.1.1	Interaktion	62
6.1.2	Mapping der räumlichen Technik	64
6.1.3	Unterschiedliche Bildschirmgrößen	64
6.1.4	Einfluss der Geschlechter	65
6.2	Methodenkritik	65
6.2.1	Gelegentlich schlechte Touch-Gesten Erkennung	65
6.2.2	Reine Zoom Aufgaben zu einfach	66
6.2.3	Unterschiedliche Einteilung der Pan-Richtungen in Fragebogen und Aufgabenstellung	66
6.3	Design Guidelines	67
6.3.1	Wann ist der Einsatz der räumlichen Interaktion lohnend?	67
6.3.2	Was ist bei der Implementierung zu beachten?	67
7	Abschluss	69
7.1	Zusammenfassung	69
7.2	Weiterführende Untersuchungen	69
7.2.1	Einsatz anderer Trackingtechnologien	69
7.2.2	Variationen des räumlichen Mappings	70
7.3	Mögliche Anwendungen für die räumliche Technik	70

Inhaltsverzeichnis

7.4 Danksagung	70
Literaturverzeichnis	76
Abbildungsverzeichnis	78
Selbstständigkeitserklärung	79
Anhang	80

1 Einführung

1.1 Motivation

Mobilgeräte wie PDA's und Smartphones werden von Nutzern vor Allem wegen ihrer Portabilität sehr geschätzt. Jedoch bringt die Kompaktheit dieser Geräte auch eine verringerte Bildschirmgröße mit sich. Dies wiederum birgt das Problem, dass sich weniger Informationen zur gleichen Zeit anzeigen lassen und somit eine geringere Informationsbandbreite zwischen Gerät und Nutzer besteht als z.B. bei Desktopsystemen.

Um dennoch große Mengen an Informationen darzustellen werden Informationsräume geschaffen, in denen es Nutzern möglich ist, sich frei zu bewegen. Ein Beispiel hierfür sind Kartenanwendungen, welche geografische Informationen auf einem zweidimensionalen Informationsraum projizieren. Damit der Nutzer sich in einem solchen Raum bewegen kann, sind zwei grundsätzliche Interaktionsaufgaben besonders bedeutsam:

- Das Pannen: Es stellt die Bewegung in der Ebene dar und erlaubt dem Nutzer, Informationen sichtbar zu machen, die sich in unmittelbarer Nähe zu dem gezeigten Ausschnitt befinden.
- Das Zoomen: Es ermöglicht, Inhalte zu vergrößern oder zu verkleinern.

Durch die breite Einführung von kapazitiven Oberflächen auf mobilen Endgeräten etablierte sich Multi-Touch als ein weiterverbreitetes Interaktionskonzept. Das Zoomen geschieht hier mittels der Pinch-Geste, bei welcher Informationen zusammen geschoben und auseinander gezogen werden. Das Pannen geschieht mit der Pan- bzw. Drag-Geste, wobei der Inhalt mit dem Finger verschoben wird.

Ein alternatives Konzept ist die räumliche Interaktion, wobei die Mobilität von Geräten wie Smartphones und Tablets dazu genutzt wird, Zoomen und Pannen mittels der Bewegung im Raum zu ermöglichen. Für das Zoomen hebt und senkt der Nutzer das Gerät und für das Pannen bewegt er es in die gewünschte Richtung. In der alltäglichen Anwendung findet das Gebrauchsvorteile:

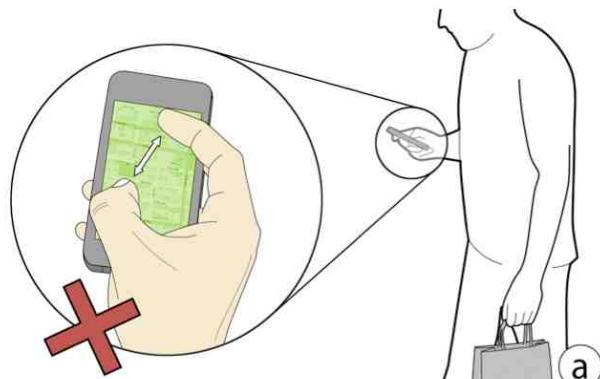
- Bei kleinen Geräten wie Smartphones werden für das Zoomen nicht mehr zwei

Hände benötigt, was Umständlichkeiten in zahlreichen Situationen vermeidet, bei denen Nutzern nur eine Hand frei haben [3, 30].

- Da der Bildschirm nicht berührt werden muss, treten das häufig beklagte Verdeckungsproblem, wobei Informationen mit dem Finger verdeckt werden, sowie Ungenauigkeiten bei der Touch-Gesten Erkennung (z.B. aufgrund von Fingernägeln) nicht auf.
- Es ist weniger Feinmotorik für die Interaktion erforderlich, was besonders Nutzern mit eingeschränkten motorischen Fähigkeiten (z.B. aufgrund von Erkrankungen wie Arthrose oder Gicht) zugute kommt.
- Erfolgt die Navigation mittels der räumlichen Technik, kann die Touch Technik zeitgleich für die Manipulation von Informationsinhalten genutzt werden. Das ist in vielen wie in Abbildung 1.2 gezeigten Situationen nützlich, sonst komplizierte Touch-Interaktion oder einen Moduswechsel erfordern würden (Modiwechsel führen schnell zur Verwirrung der Nutzer [31, 29]).



(a) Typische Alltagssituation, bei der nur eine Hand zur Interaktion zur Verfügung steht



(b) Einhändiges Ausführen der Pinch-Geste problematisch

Abbildung 1.1: Interaktion mit nur einer Hand.

Ein wichtiger Anspruch an die räumliche Interaktionstechnik ist dabei, dass sie mindestens genauso effizient und einfach einzusetzen ist wie die Multi-Touch-Technik. Um dies herauszufinden, wurde eine Benutzerstudie entworfen, die in dieser Arbeit beschrieben werden soll.

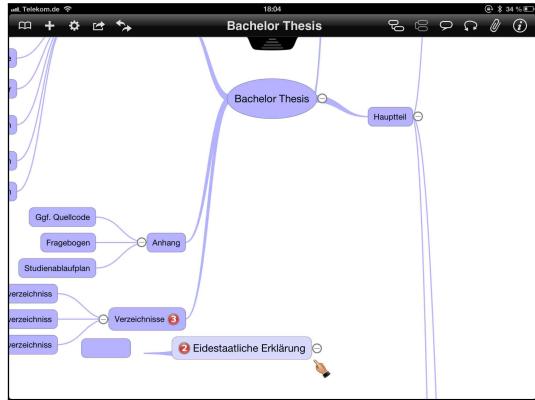


Abbildung 1.2: Bei kapazitiven Touch-Bildschirmen ist es meist nicht möglich, einen Knoten mit einem Finger zu verschieben und gleichzeitig einen anderen Finger zum Pannen oder zum Zoomen zu verwenden. Sobald der Nutzer einen Knoten „aufhebt“ befindet er sich in einem Modus, der ein automatisches Pannen auslöst, sobald sich der Knoten dem Rand des Informationsausschnittes annähert.

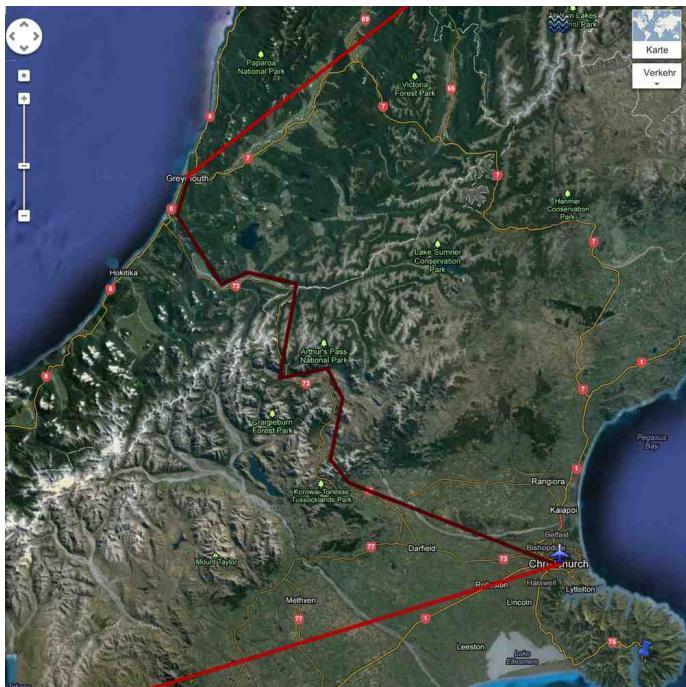


Abbildung 1.3: Um auf einer Karte einen längeren freihändigen Pfad zeichnen zu können, ist immer dann ein Moduswechsel nötig, sobald der Pfad den Rand des aktuellen Kartenausschnittes erreicht. Hierbei muss der Manipulationsmodus verlassen und der Kartenausschnitt verschoben werden. Auf kleinen Bildschirmen kommt hier das Verdeckungsproblem hinzu, was die Aufgabe sehr aufwendig und anstrengend macht.

1.2 Ziele der Bachelorarbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, eine räumliche Interaktionstechnik zu den Multi-Touchgesten Pinch und Pan zu finden, die den Raum um das Gerät zu einem Interaktionsraum umfunktioniert und sich somit seine Mobilität zu Nutze macht. Diese alternative räumliche Interaktionstechnik soll bestmöglich in einem lauffähigen Prototyp implementiert werden und anschließend mit einer Benutzerstudie vergleichend zu Multi-Touch evaluiert werden.

1.3 Gliederung der Arbeit

In den folgenden Kapiteln werden verwandte Arbeiten vorgestellt, die sich mit räumlicher Interaktion auf mobilen Endgeräten und Alternativen zur Multi-Touch-Technik befassen. Im dritten Kapitel werden wichtige allgemeine Interaktionskonzepte, die räumliche Interaktionstechnik und die Multi-Touch-Interaktionstechnik mit ihren jeweiligen Metaphern beschrieben. Anschließend werden im vierten Kapitel die zu untersuchenden Faktoren mit den dazu aufgestellten Hypothesen sowie der Aufbau der Benutzerstudie erläutert. Im darauffolgenden Kapitel wird die Umsetzung eines Prototyps beschrieben, der sich für die Durchführung einer solchen Studie eignet und sowohl die räumliche Interaktionstechnik als auch die Touch-Interaktionstechnik fehlerfrei umsetzt. Im sechsten Kapitel werden die Hypothesen anhand der ermittelten Leistungskennzahlen der Studie evaluiert. Es werden Beobachtungen erläutert, die während der Durchführung gemacht wurden. Im vorletzten Kapitel werden die aus den Kennzahlen gewonnenen Erkenntnisse beschrieben und diskutiert. Es wird sich sowohl mit der Methodik der Studie als auch mit den beiden Techniken und den aufgetretenen Effekten noch einmal kritisch auseinandergesetzt. Im abschließenden Kapitel wird die Bedeutung der Arbeit eingeordnet und es werden Vorschläge zur Fortführung der hier unternommenen Untersuchungen und Verbesserungsvorschläge für die Techniken unterbreitet.

1.4 Definition häufig verwendeter Begriffe

1.4.1 Pannen

Das Pannen beschreibt die Verschiebung des sichtbaren Informationsausschnittes, es stellt eine Translation auf der x und y Achse im Informationsraum dar.

1.4.2 Zoomen

Das Zoomen beschreibt die Veränderung des Zoom-Faktors. Beim Hereinzoomen wird ein kleinerer Informationsausschnitt in einem höheren Detailgrad dargestellt. Beim Herauszoomen wird analog ein größerer Informationsausschnitt bei geringerem Detailgrad dargestellt.

1.4.3 Tracken

Als Tracken wird die Bestimmung der Position eines Gerätes im physischen realen Raum bezeichnet. Eine solche Positionsbestimmung kann mit einem Trackingsystem erfolgen.

1.4.4 Nachsetzen

Das Nachsetzen oder Interaktionskuppeln (engl. Clutching) bedeutet in dieser Arbeit das mehrmalige Hintereinanderausführen einer Interaktion. In der Regel wird das Nachsetzen häufig dann angewendet, wenn die vorige Interaktion nicht mehr bequem fortgesetzt werden konnte, z.B. wenn bei der Touch-Interaktion der Rand der touchsensitiven Fläche erreicht wurde.

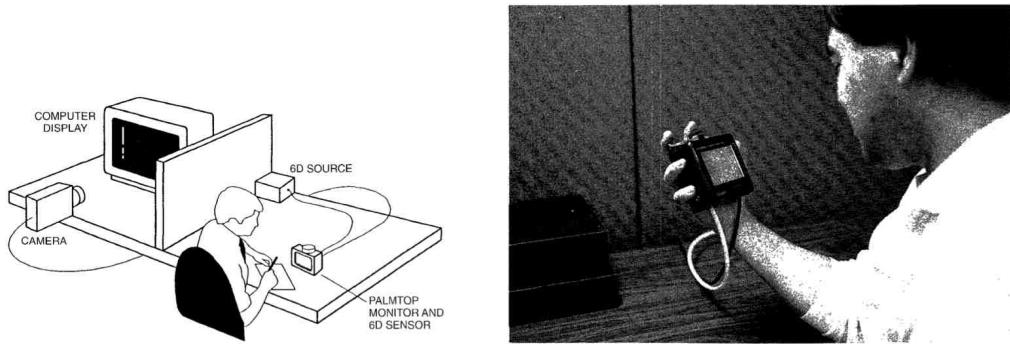
1.5 Verwandte Arbeiten

Es sollen nun Arbeiten vorgestellt werden, die sich mit dem räumlichen Zoomen und Pannen auf handgehaltenen Geräten beschäftigen. Dabei werden zuerst grundlegende Arbeiten vorgestellt, die das konzeptionelle Fundament bilden. Später werden aktuelle Arbeiten gezeigt, die mit verschiedenen Ansätzen versuchen, diese Technik umzusetzen. Anschließend werden kurz Arbeiten beschrieben, die Probleme aufzeigen, die bei der Touch-Interaktion auftreten und Lösungsvorschläge für diese aufzeigen. Abschließend werden verwandte Veröffentlichungen des Lehrstuhls aufgezeigt und der Beitrag dieser Arbeit dargestellt.

1.5.1 Grundlegende Konzepte

Bei dem räumlichen Zoomen und Pannen wird eine Bewegung im physischen Raum auf eine Bewegung im Informationsraum übertragen. Es wird also die Bewegung eines real existierenden Objektes als Eingabe genommen und die daraus resultierende virtuelle Ausgabe erfolgt auf dem gleichen Gerät. Somit verschwimmen hier die Grenzen zwischen der digitalen und der realen Welt. Dieser Übergang ist das zentrale Konzept des

Ubiquitous Computing, welches von Weiser [42] vorgestellt wurde. Der Ansatz, aktive



(a) Die Position des kleinen Bildschirms, wird mit 6 DOF ermittelt und an ein leistungsfähiges Desktopsystem übertragen.
(b) Der Desktop-PC reagiert auf die Interaktion und überträgt den neuen Informationsausschnitt mittels Videokamera an den handgehaltenen Bildschirm.

Abbildung 1.4: Chameleon Prototyp.

Bildschirme als Guckloch in eine digitale Welt zu nutzen, wurde erstmals 1993 [10] von Fitzmaurice veröffentlicht. In der Veröffentlichung stellt er seinen Prototyp Chameleon vor (siehe Abbildung 1.4). Hier wird die Position und Rotation eines handgehaltenen Bildschirms als Eingabe zur Navigation in einem dreidimensionalen Informationsraum genutzt. Es wurde der Versuch unternommen, das dreidimensionale Verständnis des Menschen und seine stark ausgeprägte Fähigkeit mit dreidimensionalen Objekten des täglichen Lebens zu interagieren auf die Interaktion mit einem virtuellen Szenario zu übertragen. Durch die Weiterentwicklung des Chameleon Prototyps, (das Boom Chameleon [40]), ist es mittels eines Touchscreens (wahlweise auch eines Mikrophones) möglich, Annotierungen an dem betrachteten Informationsausschnitt vorzunehmen. Der Ansatz eines beweglichen Gucklochs wurde von Ullmer und Ishii aufgegriffen, wobei sie das MetaDesk System [18] um ein aktives Display erweiterten. Ein solches System fungiert in dieser Konstellation als magische Linse, auf der Informationen, abhängig von ihrer Position zu einer darunterliegenden Hauptbildfläche, darstellt werden. In einer anderen Arbeit stellten Small und Ishii [34] Konzepte vor, wie sich die räumliche Bewegung auf das Scrollen in Zeitungen und Bildern übertragen ließe.

Yee[45] erweitert Fitzmaurice's sog. "window at hand" Metapher auf zweidimensionale Informationsräume. Diese "Peehole" Metapher eignet sich für eine Vielzahl von Anwendungen. In seiner Arbeit interessiert sich Yee auch für die Vorteile der einhändigen Interaktion, welche mit der räumlichen möglich wird. So schlägt er vor,

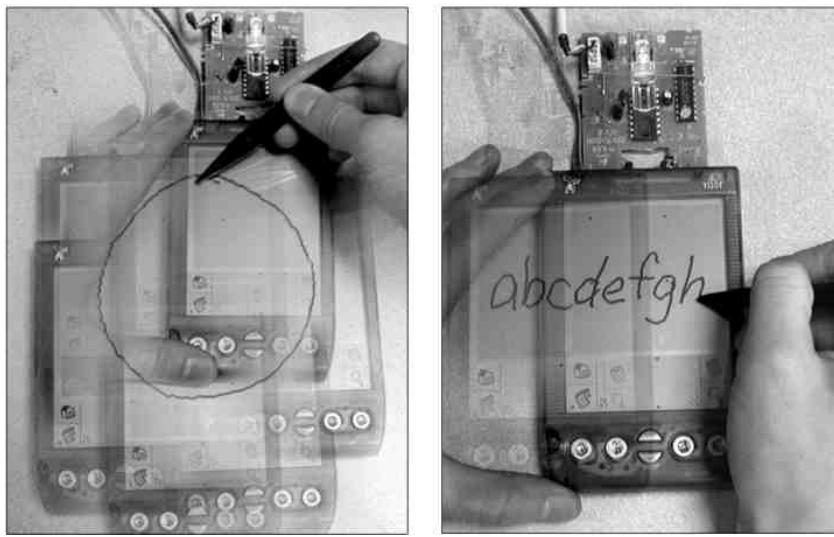


Abbildung 1.5: Verwendung der Peephole Displays zur gleichzeitigen Navigation und Manipulation.

der dominaten Hand diverse Arbeiten (Systeminstruktionen, Manipulationsaufgaben) verrichten zu lassen, während die nicht dominante Hand die Navigation übernimmt (vgl. Abbildung 1.5). Die [45] durchgeführte Benutzerstudie beschränkte sich zwar nur auf die Schlüsselloch-Metapher im zweidimensionalen Bereich, jedoch wurden auch mögliche Anwendungsfälle für eine dreidimensionale Schlüsselloch-Metapher genannt, welche nicht ausführlich evaluiert wurden.

1.5.2 Übertragung des Ansatzes auf Mobilgeräte

Ausgehend von diesen grundlegenden Arbeiten, beschäftigen sich eine Vielzahl von Veröffentlichungen damit, diese Konzepte auf mobile Geräte wie Smartphones zu übertragen. Die in [10, 18, 40, 45] verwendeten fixen Trackingtechnologien schränken die Portabilität der informationsdarstellenden Geräte ein. Dieser Trackingansatz eignet sich also nicht für den täglichen Gebrauch auf Smartphones und Tablets. Jedoch verfügen diese Geräte meist über eine Kamera, welche zu Trackingzwecken verwendet werden kann. Es wurden bereits zahlreiche, hier nicht genauer benannte Arbeiten verfasst, die zeigen, wie man die charakteristischen Merkmale eines optischen Markers nutzen kann. Dabei werden die Entfernung und der Blickwinkel der darauf gerichteten Kamera und somit die Position des Mobilgerätes ermittelt. Eriksson und Hansen erkunden in ihren Arbeiten mögliche Interaktionen mit dem Blickfeld von Kameras [8, 7, 14, 15]. Sie prägen dabei die Terminologie MIXIS, ein Konzept, welches sich

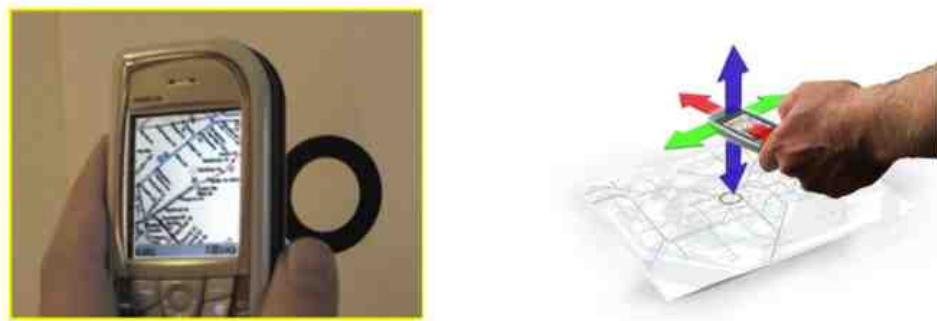


Abbildung 1.6: Der MIXIS Prototyp erlaubt es, eine Karte zu Zoomen und zu Pannen, indem er seine Position mittels optischen Trackings eines Kreises ermittelt.

mit dem „Mixed Interaction Space“ und seinen Nutzungsmöglichkeiten beschäftigt. Ein solcher „gemischter Interaktionsraum“ existiert immer dann, wenn ein physisch existierender Raum mittels einer Kamera auf einen virtuellen Raum gemappt wird. Neben anderen Anwendungen wird hier auch der Image-Zoom-Viewer vorgestellt, eine Applikation, die es dem Benutzer erlaubt, Karten oder Bilder mittels physischer Bewegung des Gerätes zu scrollen und zu zoomen (siehe Abbildung 1.6). Die Position des Gerätes wird hierbei ebenfalls über einen optischen Marker ermittelt. Dieser Ansatz wurde [15] einer Evaluierung unterzogen. Hierbei wurde die räumliche Interaktionstechnik mit dem konventionellen Interface, welches mittels eines Steuerkreuzes bedient wurde, verglichen. Von den 15 Probanden zeigten 80% eine klare Preferenz für die räumliche Interaktionstechnik. Jedoch sind die gemessenen Performancedaten weniger signifikant, da Teilnehmer mit der räumlichen Technik nicht immer schneller waren. Dies ist u.a. auch auf Ungenauigkeiten des Erkennungsalgorithmus zurückzuführen.

Die notwendige Platzierung eines Markers wirkt sich negativ auf die Portabilität und Einfachheit der Benutzung aus. In [14, 15] beschreiben Eriksson und Hansen einen zweiten Ansatz, mit dem sie die Bewegung des Gerätes mit Hilfe von Gesichtstracking ermitteln. Dafür ist ihrer Meinung nach die Sensorik, die sich in den meisten aktuellen Telefonen befindet, bereits ausreichend:

„Interaction techniques that use integrated cameras strongly resemble interactions that can be designed with accelerometers. The movement, rotation and tilting of the device, can partly be extracted from running optical flow algorithms on the camera images. However, the camera images can provide more information than the movement, tilting or rotation vector. It can be used to identify a fixed point, and it can calculate its relative

rotation, tilting and position according to this point.“

Neben dem in [14] verwendeten CamShift [4] Algorithmus und vielen weiteren, die hier nicht alle erwähnt werden sollen, wird in [13] ein Algorithmus beschrieben, der es erlaubt, aus dem zweidimensionalen Kamerabild die dreidimensionale Position des Gerätes zu extrahieren und diese für räumliche Interaktion zu nutzen.

Ein Problem bei dem Gesichtstracking ist, dass es keine Möglichkeit gibt, die Position des Gerätes zu bestimmen, wenn der Nutzer sich aus dem Sichtfeld der Kamera bewegt. Moderne Smartphones mit einem Vibrationskreisel (engl. Vibrating structure gyroscope) und einem Beschleunigungssensor verfügen über eine Sensorik, die es ermöglicht, die Position des Gerätes zu approximieren, sobald das optische Tracking verloren geht. „Looking At You“ [23] nutzt eine Sensorfusion, um das Gesichtstracking der Frontkamera mit den gemessenen Beschleunigungen des Vibrationskreisels zu kombinieren, woraus die Position des Nutzers ermittelt wird. Dieser Trackingansatz wurde für das Zoomen und Pannen von parallaxen Bildern und Karten verwendet. Die Interaktionsmetapher für das Pannen unterscheidet sich dabei von dem klassischen Schlüssellochansatz. Der Nutzer bewegt das Gerät hier nicht in eine bestimmte Richtung, um zu pannen, sondern er neigt das Gerät entlang seiner vertikalen Achse, was ein automatisches Scrollen auslöst. Die neue Technik wurde in einer Benutzerstudie mit 10 Teilnehmern untersucht, wobei mehrere Varianten des facetrackingbasierten Zoomens und Pannens mit der Touch-Interaktion verglichen wurden. Dabei bevorzugten in etwa die Hälfte aller Teilnehmer die konventionelle Touch-Technik und waren mit dieser auch meist wesentlich schneller.

Einige weitere erwähnenswerte Alternativen zum Tracken von Makern oder Gesichtern werden u.a. in [9, 16, 17] vorgestellt. Dabei handelt es sich um Algorithmen, die die Bewegung der Kamera anhand von gut verfolgbaren Merkmalen (optische Fixpunkte) im aufgenommenen Bild ermitteln.

1.5.3 Konzepte für das Zoomen und Pannen

Bederson und Furnas stellen in [2] PAD++ ein zoom- und panbasiertes Interface vor, was sich auch für Mobilgeräte eignet. In dieser Arbeit explorieren sie Konzepte, die das physische Verständnis des Menschen nutzen, um große Informationsräume in einem zusammenhängenden zoombaren Interface darzustellen. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Konzept des Space-scale diagrams, welches sich eignet, einen zoombaren zweidimensionalen Informationsraum auf den dreidimensionalen Raum zu mappen. Dieses Konzept wird in einer separaten Arbeit [11] nochmals detailliert beschrieben.

1.5.4 Erweiterungen der Touch-Interaktion



(a) Touchgesten die kein Nachsetzen erfordern. (b) Fat Thumb [3] nutzt die Berührungsfläche des Daumens, um den Zoom zu steuern.

Abbildung 1.7: Alternative Touch-Gesten für das Pannen und Zoomen.

Die Problematik der einhändigen Touch-Interaktion wird in [26] beschrieben. Die in [27] vorgestellten Touchgesten CycloPan und CycloZoom+ sind in Abbildung 1.7(a) dargestellt. Sie ermöglichen kontinuierliches Zoomen und Pannen ohne Nachsetzen. Ergänzend zu diesen Techniken wird in [3] die Interaktionstechnik Fat Thumb vorgestellt, welche die Berührungsfläche des Daumens als Eingabemodalität nutzt, um einhändiges Zoomen zu ermöglichen (siehe Abbildung 1.7(b)). Die durchgeführte Benutzerstudie zeigt, dass es den Probanden gelang, sich ihrem Ziel mit dieser Technik schneller anzunähern als mit den anderen Techniken. Lucid touch [44] ist ein interessanter Ansatz zur Lösung des Verdeckungsproblems und der Ungenauigkeit von Toucheingaben aufgrund der großen Berührungsfläche mit der touchsensitiven Oberfläche. Dieser Prototyp erweitert ein handgehaltenes Touchdisplay um eine touchsensitive Fläche auf der Rückseite, wobei die Position der Finger auf dem Bildschirm visualisiert wird. Dadurch kann der Nutzer auch die Finger sehen, die sich hinter dem Gerät befinden und diese für Touch-Interaktionen nutzen. Da hier mehr Finger für die Interaktion zur Verfügung stehen, ist dieser Ansatz auch eine geeignete Lösung für das in der Motivation beschriebene Modusproblem, da beispielsweise Finger hinter dem Gerät für die Navigation und Finger vor dem Gerät für die Manipulation genutzt werden können. Auch ein solches Gerät könnte um eine räumliche Interaktionstechnik erweitert werden.



Abbildung 1.8: Lucid touch ermöglicht die Touch-Interaktion mit der Rückseite des Bildschirmes.

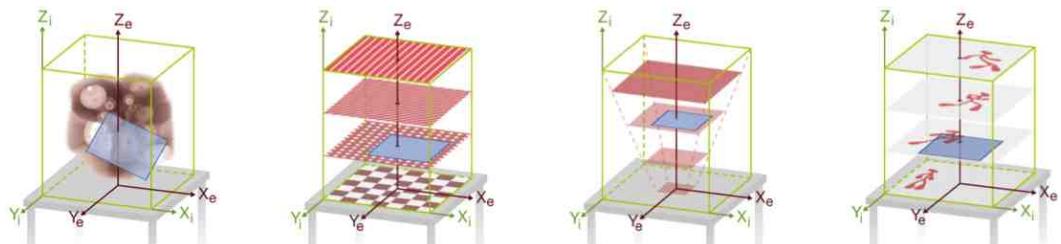


Abbildung 1.9: Verschiedene Arten von Informationsräumen die mit dem Heben und Senken des Papierdisplays erkundet werden können - Links: volumetrische, mittig links: geschichtet, mittig rechts:zoombar, rechts: temoprär.

1.5.5 Forschung am Lehrstuhl

Diese Arbeit steht im engen Zusammenhang mit dem Dissertationsvorhaben von Martin Spindler in dessen Rahmen er den dreidimensionalen Interaktionsraum oberhalb eines Tabletts mit lagebewussten, in der Hand gehaltenen Papierdisplays nutzt um eine sehr direkte, greifbare Interaktion mit verschiedenen Informationräumen zu ermöglichen [37].

In [36] werden dabei Möglichkeiten vorgestellt diesen Interaktionsraum zur visuellen Erkundung verschiedenster Informationsräume zu nutzen. Dabei wird die Höhe des Papierdisplays über dem Tabeltop als Interaktionsmetapher gebraucht. Durch das Heben und Senken der Papierdisplays ist es dem Nutzer möglich, volumetrische, zoomare und tempäre Datenräume zu erkunden (Abbildung 1.9).

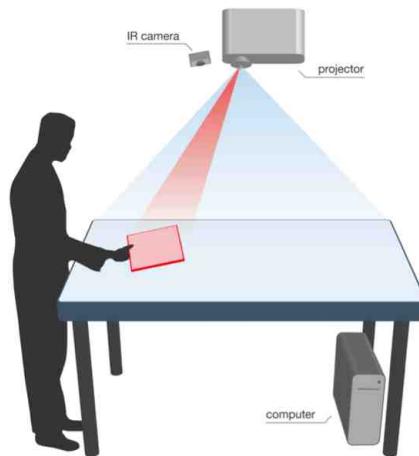


Abbildung 1.10: Konzept des PaperLens Systems.

In [39] werden verschiedene Interaktions- und Visualisierungstechniken für die Papierdisplays vorgestellt, und ein Interaktionsvokabular für häufige Visualisierungsaufgaben geschaffen. Verschiedene Fallbeispiele zeigen dabei den Mehrwert dieses neuen Ansatzes für die Informationsvisualisierung. Des Weiteren wird der technische Aufbau des PaperLens Systems beschrieben (siehe Abbildung 1.10).

Dieses System wurde auch bereits verwendet, um eine andere Benutzerstudie zur Interaktion mit geschichteten Informationsräumen durchzuführen, welche in [38] beschrieben wird. Diese Studie half u.a. grundlegende Fragen wie die optimale Höhe und Anzahl von Informationsschichten zu klären, und das PaperLens System mit visuellem Feedback und perspektivisch korrigierter Darstellung konnte dadurch erweitert werden.

Im Rahmen eines Laborpraktikums im Wintersemester 2011/12 erweiterten René Meye und Martin Schüßler das PaperLens-System um aktive Displays, in dem sie das für die Positionsübermittlung verwendete Yid-Framework auf iOS und Android portierten. Dieses portierte Framework kommt bei der Umsetzung der hier beschriebenen Studie zum Einsatz.

1.6 Fazit und Beitrag dieser Arbeit

Es wurde die Interaktionsaufgaben des Pannens und Zoomens für die Navigation in Informationsräumen vorgestellt. Anschließend wurden Arbeiten vorgestellt, die einen Beitrag geleistet haben um ein räumlichen Interaktionskonzept für diese Aufgaben auf mobilen handgehaltenden Geräten einzusetzen. Obwohl die Intuitivität der räumlichen Interaktion schnell ersichtlich ist, gab es bisher noch keine Studie, die zeigen konnte, dass sie eine performante Alternative zum Multi-Touch darstellt, was verschiedene Gründe hat. Vorangegangene Studien hatten immer wieder mit Ungenauigkeiten ihres Trackingansatzes zu kämpfen [45, 15], was die Signifikanz ihrer erzielten Resultate negativ beeinflusste:

„The most frequent complaint concerned the refresh rate and the sensitivity of the system. This problem was due to the size of the circle: [...] The ImageZoomViewer was due to the sensitiveness considered a bit less precise than the conventional interface.“[15]

Oft waren auch die Interaktionsmetaphern nicht ausgereift und verwendeten ein für manche Nutzer schwer verständliches Mapping. Die durchgeföhrten Benutzerstudien untersuchten nur wenige Einflussfaktoren mit wenigen Teilnehmern. Ausgehend von diesen Arbeiten bietet es sich an, die von Fitzmaurice, Ullmer und Yee vorgestellten grundlegenden Konzepte erneut aufzugreifen und diese bestmöglich mit einem ausgereiften Interaktionskonzept und einem sehr genauen Tracking erneut zu evaluieren, wie es das PaperLens System unter Verwendung eines performanten Prototyps bietet. Dabei soll die räumliche Technik mit der auf Smartphones am stärksten verbreiteten Multi-Touch-Technik verglichen werden. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sollen Aufschluss darüber geben, ob die Entwicklung von flexibeler und stabiler Trackingtechnologie und Trackingalgorithmen dazu führen wird, dass die räumliche Interaktion in Zukunft eine vielversprechende Alternative für das Zoomen und Pannen auf mobilen Endgeräten sein wird und welche Einflussfaktoren bei deren Einsatz zu beachten sind, bzw. wann ein Einsatz überhaupt lohnend ist.

2 Interaktionskonzepte

Im Folgenden sollen die beiden Eingabemodalitäten betrachtet werden, die für diese Arbeit von Bedeutung sind. Das Zoomen und Pannen mittels der Berührung einer touchsensitiven Oberfläche und das Zoomen und Pannen mittels der Bewegung des Gerätes im Raum. Zu Beginn müssen jedoch einige grundlegende Konzepte, die z.T. bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnt wurden, näher erläutert werden.

2.1 Allgemeine Konzepte

2.1.1 Space-scale diagram

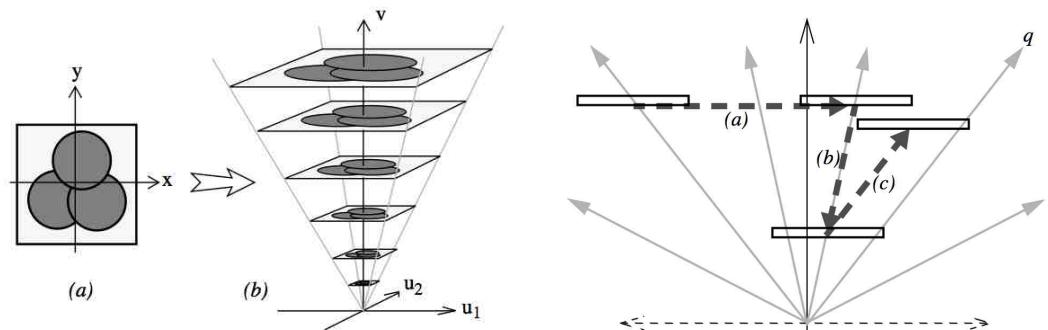


Abbildung 2.1: Das Konzept des Space-scale diagrams.

Um Bewegungen in einem großen Informationsraum mit all seinen möglichen Vergrößerungsstufen zu verstehen, bietet es sich an, das von Furnas und Bederson [11, 2] vorgeschlagene Konzept des Space-scale diagrams zu verwenden. Das Space-scale diagram beschreibt einen Bildausschnitt eines zweidimensionalen Informationsraumes mit drei Komponenten: den Mittelpunkt des Abschnitts (x, y) und den Vergößerungsfaktor (v) (vgl. Abbildung 2.1(a)). Beschreibt man nun die Position einer Bildschirmfläche eben-

falls mit diesen drei Komponenten, so kann sich diese Fläche im Space-scale diagram bewegen, wobei sie dabei einen Ausschnitt des Informationsraumes abhängig von ihrer Position darstellt. Abbildung 2.1(b) zeigt das für einen Pan somit die Bildschirmfläche lediglich auf der x,y Ebene verschoben werden muss (a). Für einen Zoom erfolgt die Bewegung entlang der Zoom-Achse (b). Beispiel (c) zeigt zudem die Möglichkeit des gleichzeitigen Zoomen und Pannens.

2.1.2 Bewegliche Schlüsselloch- Metapher/ Bewegliche Informationsraum-Metapher

Es gibt zwei mögliche in der Literatur unterschiedlich bezeichnete Konzepte für das Pannen. Wann immer der Informationsraum nur teilweise sichtbar ist, muss dem Nutzer eine Möglichkeit eingeräumt werden, mittels Translation die nicht dargestellten Inhalte (eng. offscreen content) zu erreichen. Zur Veranschaulichung kann man sich die Situation so vorstellen: Ein Bilderrahmen liegt auf einem viel zu großem Bild. Der vom Rahmen umfasste Ausschnitt des Bildes ist der sichtbare Teil des Informationsraumes. Er stellt also ein Schlüsselloch dar, durch welches man auf den dahinter liegenden Informationsraum blickt. Um nun einen anderen Teil des Raumes sichtbar zu machen, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Man verschiebt den Bilderrahmen, wie in Abbildung 2.2(a) dargestellt. Um das Beispielbild Australien sichtbar zu machen, ist eine Translation nach rechts erforderlich. Dies wird von Yee [45] als Schlüsselloch-Metapher, von Johnson [20] als “Push Camera” und Mehra [28] als “Dynamic Peephole” beschrieben. In dieser Arbeit wird diese Metapher als bewegliche Schlüsselloch bezeichnet.
- Man bewegt das unter dem Rahmen liegende Bild und belässt den Rahmen selbst an seinem Platz, wie in Abbildung 2.2(b) abgebildet. Um hier Australien sichtbar zu machen, ist eine Translation nach links erforderlich. Die Metapher wird von Johnson [20] als “Push Background” und von Mehra [28] als “Static Peephole” bezeichnet. In dieser Arbeit wird diese Metapher als “beweglicher Informationsraum” definiert.

Diese beiden Konzepte können auch auf das Zoomen übertragen werden. In diesem Fall wird bei der beweglichen Schlüsselloch-Metapher der Rahmen (also das Schlüsselloch) zum Herauszoomen vergrößert (vgl. Abbildung 2.2(c)). Bei der beweglichen Informationsraum-Metapher muss der Informationsraum herunterskaliert (ergo verkleinert) werden (vgl. Abbildung 2.2(d)).

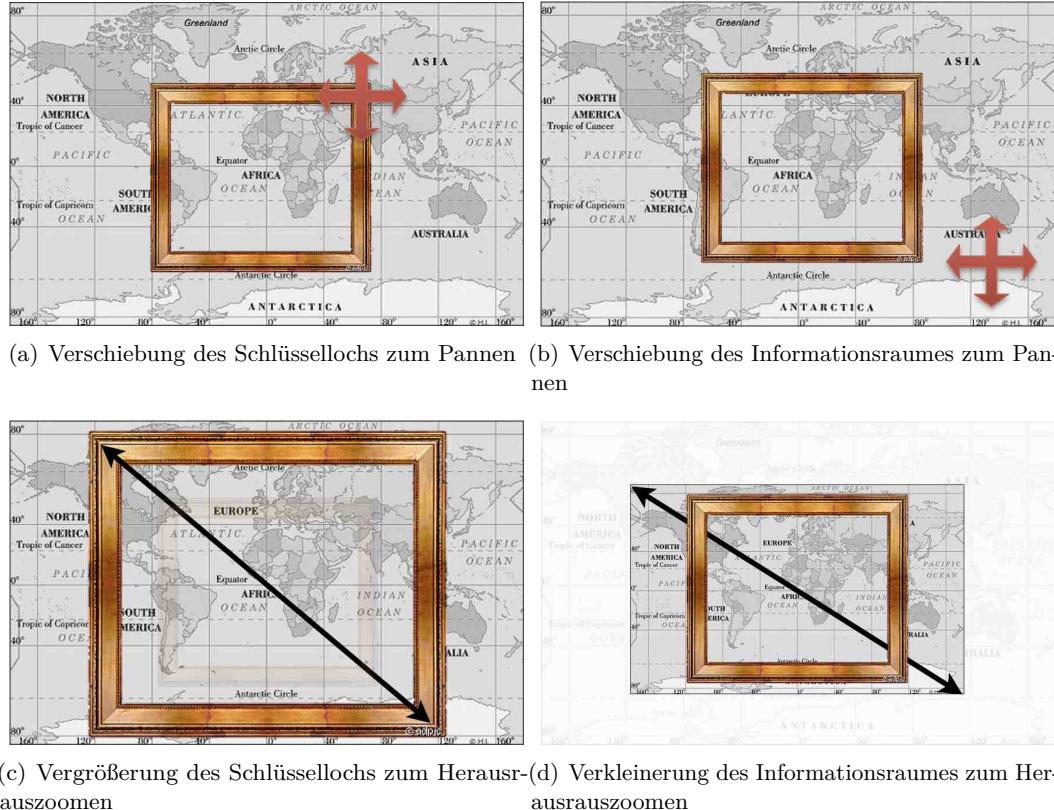


Abbildung 2.2: Links: Bewegliches Schlüsselloch-Metapher. Rechts Beweglicher Informationsraum-Metapher.

2.1.3 Nachsetzentechnik

Viele Interaktionstechniken erlauben das sogenannte Kuppeln (eng. clutching). Beim Kuppeln wird eine Interaktion und somit die Bewegung im Interaktionsraum unterbrochen, damit der Nutzer seine interagierenden Gliedmaßen wieder in eine angenehmere Position bringen kann, um anschließend die Interaktion fortzusetzen. Die Nachsetzentechnik kann jedoch auch zu einer Asynchronität zwischen Interaktionsraum und Informationsraum führen.

2.1.4 Begrenzung von Informationsräumen

Durch die Anwendung der Kupplungstechnik werden sämtliche physischen Begrenzungen des Interaktionsraumes aufgehoben. Wird nun aber ein Informationsraum visualisiert, der beschränkt ist, kann es dem Nutzer passieren, dass er sich zu weit hinausbewegt und die Orientierung verliert und die Grenzen des Informationsraumes überschreitet. Demzufolge muss der Interaktionsraum beschränkt werden (eng. constrained), um dem Benutzer ein Gefühl dafür zu geben, wann er sich an einem Punkt befindet, an dem der Informationsraum endet [8, 29]).

2.2 Touchbasiertes Zoomen und Pannen

2.2.1 Fingerberührung als Eingabe

Die Touch-Interaktion basiert auf direkte Berührungen der Inhalte durch den Nutzer. Bei Multi-Touch ist dies nicht nur auf einen Finger beschränkt, sondern es werden mehrere Berührungspunkte mit der Oberfläche registriert. Die Beschaffenheit und das Verhalten dieser Punkte werden als Gesten interpretiert. Im Folgenden wird die Drag-Geste, welche zum Pannen eingesetzt wird und die Pinch-Geste, welche zum Zoomen eingesetzt wird, betrachtet.

2.2.2 Drag zum Pannen

Die Pan- Geste (gelegentlich auch als Drag- Geste bezeichnet) ermöglicht das Verschieben von Inhalten mittels Zeigefinger oder Daumen (oder eines anderen beliebigen Fingers) und ist auf vielen Smartphones und Tablets weit verbreitet. Einer der ersten Prototypen, der eine solche direkte Touch-Manipulation erlaubte, war der DigitalDesk [43]. Die Technik ist sehr intuitiv, da sie es dem Nutzer erlaubt, Informationsinhalte direkt zu beeinflussen, ohne vorher eine Scrollbar oder Ähnliches suchen zu müssen

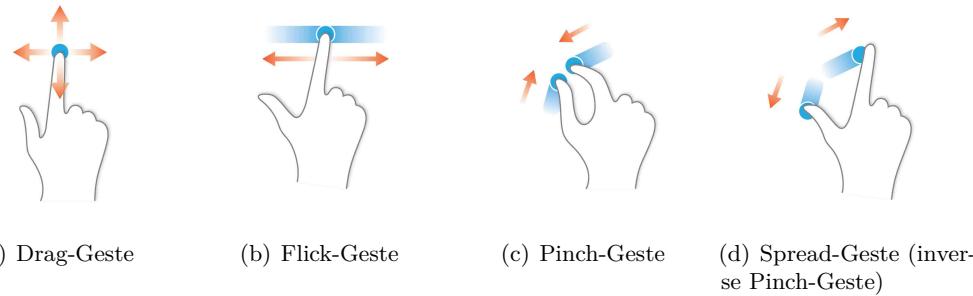


Abbildung 2.3: Touchgesten des Touch-Interaktionskonzeptes

[22]. Das mehrmalige Ausführen der Pan-Geste (vgl. Interaktionkuppel) erlaubt dem Nutzer eine unbegrenzte Translation. Dies ist umso häufiger nötig, umso kleiner die Interaktionsfläche ist.

In einer Nutzerstudie fand Johnson [20] heraus, dass Nutzer, die bewegliche Informationsraum-Metapher bei der Touch-Interaktion bevorzugen, was darauf zurückzuführen ist, dass bei der Touch-Interaktion der Bildschirm (also das Schlüsselloch) sich physikalisch nicht bewegt und somit am gleichen Ort verweilt. Aus diesem Grund empfiehlt sich die Verwendung dieser Metapher für die hier durchgeführte Studie.

2.2.3 Pinch-Geste

Um Inhalte zu vergößern oder zu verkleinern, schiebt der Benutzer diese zusammen oder auseinander. Dies wird auch als Spread bezeichnet, und die Metapher ist mit einem Gummiband vergleichbar, nur dass dieses in dem Zustand verharrt, sobald man die Geste beendet. Jede Zoom-Operation erfordert ein Zoom-Mittelpunkt, d.h. einen Punkt um den herum die Vergrößerung stattfinden soll. Dabei gibt es einen Unterschied, ob die Pinch- Geste auf einem Trackpad oder auf einem Multi-Touchfähigen Display ausgeführt wird. Bei touchsenitiven Bildschirmen liegt der Zoom-Mittelpunkt meist zwischen den beiden Fingern. Bei dem Pinchen auf einem Trackpad ohne Bildschirm ist es meist der Mittelpunkt des aktuellen Informationsausschnittes. Folglich liegt in unserem Fall das Zoomzentrum zwischen den Fingern. Um eine bestimmte Vergrößerungsstufe zu erreichen, kann es notwendig sein, die Pinch- Geste mehrmals hintereinander auszuführen. Diese entspricht dem in Abschnitt 6.1 beschriebenen Kuppeln. Da der Nutzer den Informationsraum direkt berührt und manipuliert, bietet sich auch hier die “bewegliche Informationsraum- Metapher” an.

2.2.4 Bouncing als Begrenzung des Informationsraumes

Wie bereits erwähnt, ist es notwendig, den Informationsraum für den Nutzer auf verständliche Weise abzugrenzen. Für Multi-Touch gibt es dafür bereits eine häufig umgesetzte Lösung, das sogenannte Zurückspringen (eng. bouncing). Versucht man Inhalte weiter zu verschieben, als dies erlaubt ist, stellt sich ein Widerstand ein, d.h. die Inhalte lassen sich schwerer bewegen und springen, sobald man den Finger von dem Bildschirm löst, wieder an die Begrenzung zurück. Dadurch wird das Gefühl vermittelt, dass man von einer Begrenzung abprallt.

2.2.5 Feinabstimmung der Touch-Interaktion

Flicking zum Pannen

Eine Erweiterung der Pan- Geste stellt die Flick- Geste dar. Dabei wird auch hier eine naheliegende Metapher verwendet, nämlich die Bewegung des Werfens [1]. Eine solche Bewegung führen wir zum Beispiel aus, wenn wir Karten oder Bierdeckel über einen Tisch befördern. Die Flick- Geste erweitert die Pan-Geste insofern, dass die Geschwindigkeit bzw. der Schwung gemessen wird, mit der der Nutzer die Pan- Geste ausführt. Sobald der Finger des Benutzers den Bildschirm verlassen hat, wird diese Geschwindigkeit als Wurf interpretiert und durch eine Translation in die entsprechende Richtung übersetzt. Dabei wird dieser Bewegung eine Verzögerung (negative Beschleunigung) entgegengesetzt bis zu dem Zeitpunkt, an welchem die Bewegung zum Erliegen kommt. In der Konsequenz heißt das, je kräftiger ein Nutzer den berührten Inhalt „wirft“, umso eine größere Distanz wird zurückgelegt. Aliakseyeu [1] machte die Beobachtung, dass Nutzer die Flick- Methode für Scrollaufgaben bevorzugen.

Gleichzeitiges Zoomen und Pannen

Eine wichtige Eigenschaft der Pinch- Geste ist, dass sie fließend in eine Pan- Geste übergehen kann. Sobald sich der Abstand zwischen den beiden Fingern nicht mehr verändert und sich beide Finger in die gleiche Richtung bewegen (also eine erkennbare Verschiebung initiieren), wird dieser Teil der Interaktion als Pan interpretiert. Natürlich kann eine Pinch- Geste auch in eine Pan- Geste übergehen, indem ein Finger vom Display genommen wird und umgekehrt.

2.3 Lagebasiertes Zoomen und Pannen

2.3.1 Lage im Raum als Eingabe

Ziel bei der Entwicklung der räumlichen Interaktionstechnik war es, das von Norman [29] geforderte natürliche Mapping umzusetzen und somit eine Brücke zwischen der digitalen und virtuellen Welt zu schlagen[41]. Um eine solche Verknüpfung zu schaffen, wird die Bewegung des bildgebenden Gerätes im Raum auf den darzustellenden Informationsraum gemappt. Diese räumliche Anwendung der Schlüsselloch- Metapher sorgt dafür, dass ein zweidimensionales Navigationsproblem zu einem räumlichen Problem transformiert wird, was dem Nutzer erlaubt, seine dreidimensionalen Orientierungs- und Manipulationsfähigkeiten zu nutzen [45, 10, 36, 41, 28]. Um einen Zoomvorgang elegant beschreiben zu können, bietet es sich an, das Konzept des Space Scale- Diagramms auf den räumlichen Interaktionsraum anzuwenden. Die x- und y- Achse wird dabei von der Längenkante und der Breitenkante des physischen Gerätes beschrieben. Die z- Achse verläuft orthogonal zu diesen beiden Achsen und zeigt somit vom Nutzer weg. Im Optimalfall stellt sie sogar die Sichtachse des Betrachters dar (vgl. Abbildung 2.4). Wird das Gerät im Raum rotiert, so folgen alle drei Achsen dieser Rotation. Es entsteht also ein kartesisches Koordinatensystem um das Gerät herum, in welchem sich das Space-scale diagramm befindet.

2.3.2 In der Ebene verschieben zum Pannen

Um einen großen virtuellen Raum auf einen räumlichen Interaktionsraum zu mappen, eignet sich die “bewegliche Schlüsselloch- Metapher” [45]. Der Nutzer hält dabei das Schlüsselloch in seinen Händen und bewegt es im starren Informationsraum. Um also eine Translation nach rechts vorzunehmen, bewegt der Nutzer das Schlüsselloch (bildgebendes Gerät) nach links (siehe Bild). Eine solche Übersetzung entspricht einer Bewegung des Displays auf einer Vergrößerungsebene innerhalb des Space-scale diagrams.

2.3.3 Heben/ Senken zum Zoomen

Um mehr vom Informationsraum in einer kleinen Vergößerungsstufe zu sehen, muss der Benutzer das Gerät zu sich heranführen. Analog dazu bewegt er es von sich weg zum Hineinzoomen. Im ersten Moment mag es nicht intuitiv erscheinen, Dass es notwendig ist, das Gerät näher an sich heranzuführen, um eine Übersicht zu erhalten oder von sich wegzubewegen, um Inhalte zu vergrößern, aber um die Schlüsselloch- Metapher aus dem

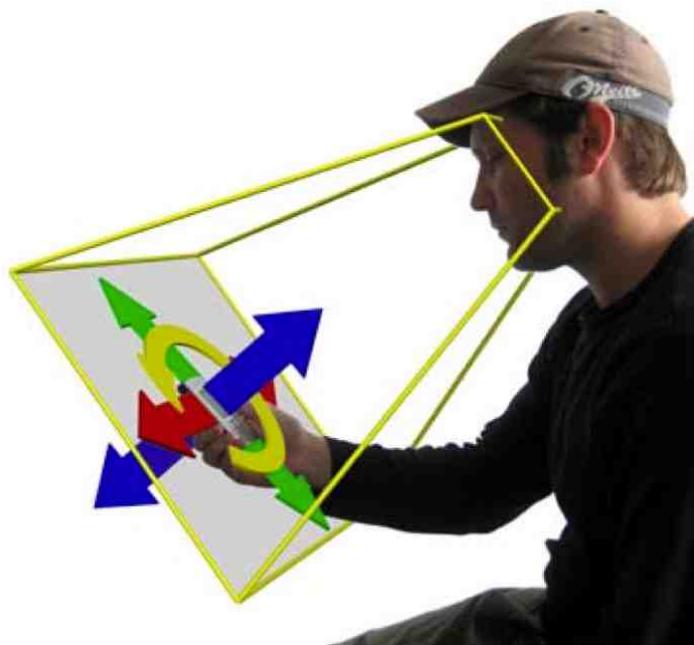
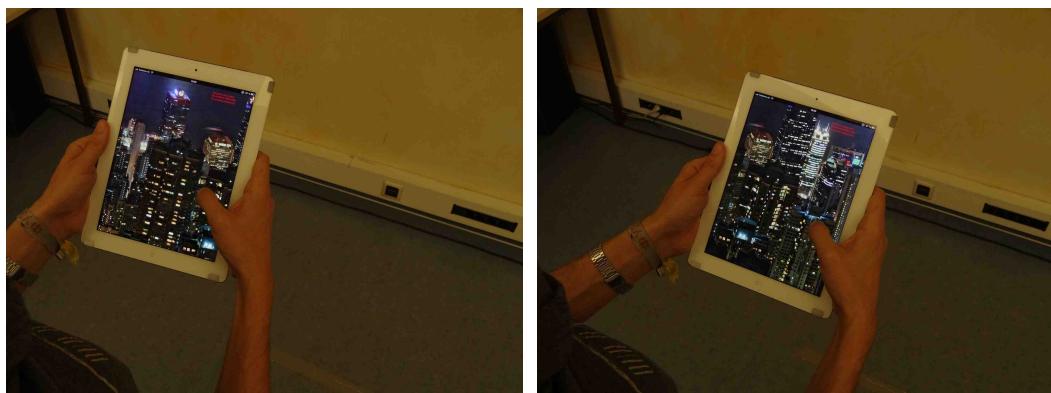


Abbildung 2.4: Grundprinzip der räumlichen Interaktion.



(a) Der Nutzer hält ein Guckloch in der Hand, welches ihn in den Informationsraum blicken lässt. (b) Nach einer Bewegung nach Pan-Bewegung nach rechts, wird der Teil des Informationsraumes angezeigt, der sich zu seiner rechten befindet.

Abbildung 2.5: Räumliches Pannen.



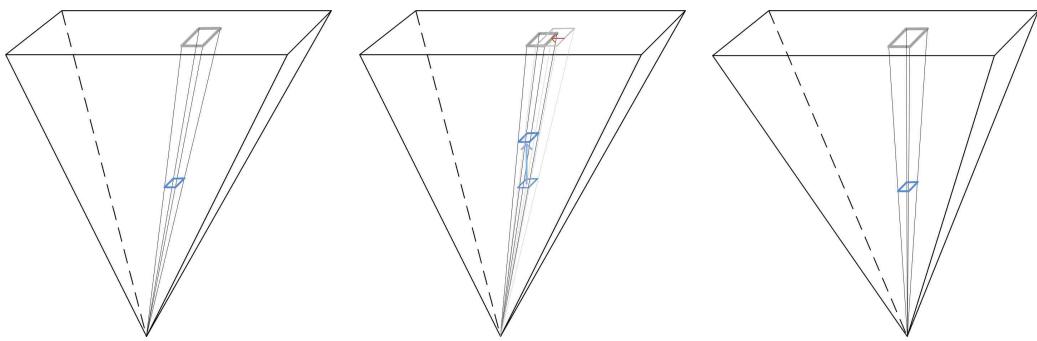
(a) Das nah an den Nutzer herangeführte Guckloch lässt ihn den Informationsraum überblicken. (b) Bewegt er das Schlüsselloch näher an eine Information heran, wird diese vergrößert.

Abbildung 2.6: Räumliches Zoomen.

Blickfeld des Betrachters konsequent durchsetzen zu können, ist ein solches Mapping erforderlich. In einer kleinen Vorstudie (4 Teilnehmer) konnten wir die Feststellung von Yee [45] bestätigen, dass ein solches Mapping für den Zoom auch von den Nutzern intuitiv bevorzugt wird. Es ist somit besser geeignet als das “Vergrößern durch näher an sich heranführen”, wie es z.B. von Hansen und Erkisson [14, 8, 7] verwendet wird.

„Three users tried two variants of the Zoom Viewer: one that zooms out when lifted, and one that zooms in when lifted. All three preferred to zoom out by lifting the display.“[45]

Findet im physikalischen Raum eine Bewegung auf der z- Achse statt, muss diese Bewegung auf das Space-scale diagrams übertragen werden. Im Gegensatz zu der Bewegung in x- und y- Richtung ist es notwendig, hier kein direktes Mapping vorzunehmen. Wie in Abbildung 2.7(b) erkennbar, findet bei einer isolierten Bewegung auf der z- Achse zusätzlich eine Bewegung auf der x,y- Ebene statt, die nicht der Intention des Nutzers entspricht. Der Bildausschnitt verändert sich, dabei sollte er nur vergrößert/ verkleinert werden. Dieses Problem ist aber leicht lösbar. Konsultiert man die Literatur [11], findet man heraus, dass ein Zoom eine Bewegung entlang der Zoom-Geraden ist (siehe Fig 2.1(a)). Die Zoom-Gerade ist der Bildpunkt, um den herum in allen möglichen



(a) Das Viereck auf der Grundfläche ist der dargestellte Informationsausschnitt.

(b) Eine Verschiebung der Bildfläche auf der z-Achse führt, neben einem Zoom, auch zu einer Verschiebung des Bildausschnittes in x,y-Richtung.

(c) Eine Verschiebung der Bildfläche auf der z-Achse führt, neben einem Zoom, auch zu einer Verschiebung des Bildausschnittes in x,y-Richtung.

Abbildung 2.7: Notwendigkeit der Anpassung des Space-scale diagrams.

Stufen vergrößert und verkleinert werden soll. Folglich ist es eine Gerade von der Spitze der Pyramide durch das Display hindurch zur Grundfläche. Eine wichtige Überlegung hierbei ist, welchen Zoom-Mittelpunkt man wählt. Die einfachste Alternative ist es, den Mittelpunkt des aktuell gezeigten Ausschnittes zu wählen. Um nun die Bewegung entsprechend zu mappen, ist es lediglich nötig, das Space-scale diagram so anzupassen, dass die Zoom-Gerade im physikalischen Raum orthogonal zur x,y-Achse steht (siehe Abbildung 2.7(c)). Somit steht das Space-scale diagram nicht fest im Raum, sondern verändert sich entsprechend der Bewegung des Nutzers. Um ein flüssiges Zoomerlebnis zu gewährleisten, bietet es sich zudem an, die Bewegungen auf der z-Achse nicht 1:1 zu übertragen, sondern die Zoombewegung mittels einer Funktion zu glätten. Nach dem Vergleich mehrerer Mapping Funktionen für die z-Achse stellte sich Funktion $\delta_z * z$ als die beste Variante heraus, d.h. jede Bewegung auf der z-Achse wird mit dem aktuellen Zoom-Faktor multipliziert, was Bewegungen auf der z-Achse bei hoher Vergrößerungstufe beschleunigt und bei geringer Vergrößerungsstufe verlangsamt.

2.3.4 Kupplungsmechanismus

Yee [45] empfiehlt bei der Reflektion seines Prototypen einen Kupplungsmechanismus, wie ihn auch schon sein Vorgänger Fitzmaurice [10] bei seinem Chameleon Prototyp benutzte. In diesem Fall war dies ein physischer Button, der wann immer man eine Interaktion durchführen wollte, gedrückt werden musste:

„The system can also switch into 'clutch' mode in which the translation and zoom controls are registered only while the response button is depressed (i.e., the clutch is engaged). When the button is released, the position is frozen, and the user is able to move the palmtop to a closer, more comfortable position or to place the device on the desktop. If the clutch is engaged again, the model adjusts the 3D workspace to the current position of the palmtop to resume movements from the last registered position.“

Die hier definierte räumliche Interaktionstechnik verfügt über exakt denselben Kupplungsmechanismus, lediglich mit der Abweichung, dass aufgrund technischer Einschränkungen kein physischer Button existiert, sondern ein Finger auf der Bildfläche die Interaktion aktiviert. Das bedeutet, die Kupplung ist aktiv, d.h. eine Bewegung im Informationsraum findet statt. Ist die Kupplung nicht aktiv, verbleibt der pyramidenförmige Interaktionsraum um das Gerät herum. Die Displayposition im Space-scale diagram ändert sich nicht. Somit kann der Nutzer den Interaktionsraum bewegen, statt das Display im Interaktionsraum, was es ihm ermöglicht, unangenehme Körperhaltungen zu vermeiden. Die Umsetzung mittels eines haptischen Buttons oder besser noch eines drucksensitiven Rahmens um das Gerät herum würde von dem haptischen Feedback und einer besser umgesetzten Metapher (keine Berührung des Bildschirms) profitieren und sollte bei der Erweiterung dieser Technik berücksichtigt werden.

2.3.5 Begrenzung des Informationsraumes

Dieser Umstand bereitete auch Yee [45] Probleme :

„The most common problem users experienced with the Zoom Viewer is that they would sometimes get lost in the workspace. A distraction could cause them to let their hand drift beyond the edge of the map, leaving them with a blank screen and no indication of where to go.“

Diesen unter Touch verwendeten Bouncingansatz haben wir auch für die räumliche Interaktionstechnik als Grundlage gewählt. Dabei wurde mit zwei Varianten experimentiert: Bei der ersten Variante wird, ähnlich wie bei Multi-Touch, die Bewegung verlangsamt, sobald man die Begrenzung des Informationsraumes überschreitet. Ein Zurückspringen bietet sich in diesem Fall nicht an, da dies nicht zur Schlüsselloch-Metapher passt. Bei der zweiten Variante werden, sobald die Grenze überschritten wird, weitere Bewegungen in Richtung Grenze ignoriert. Danach werden lediglich Zoombewegungen oder Bewegungen von der Grenze weg akzeptiert. Das heißt, der Nutzer

trifft bei der ersten Variante auf eine sich langsam andeutende weiche Begrenzung und im zweiten Fall auf eine plötzlich in Erscheinung tretende harte Begrenzung. Nach mehreren Versuchen stellte sich die zweite Variante als besser passend zur Schlüsselloch-Metapher und somit auch intuitiver heraus.

2.3.6 Variationsmöglichkeiten

Kugelkoordinatensystem



Abbildung 2.8: Mapping des Interaktionsraumes um den Nutzer herum (Kugelkoordinatenmapping).

Der Interaktionsraum, in welchem die räumliche Interaktion stattfindet, wird von der Breiten- und der Längenkante des Gerätes beschrieben und entspricht somit etwa einer Pyramide, die vom Nutzer weg zeigt. Es handelt sich also um ein objektzentriertes Interaktionsmapping. Eine Alternative zu diesem Ansatz wäre ein egozentrisches Mapping, welches dem Nutzer in den Mittelpunkt stellt und den Interaktionsraum um ihn herum legt. Besonders sinnvoll wäre dabei ein Kugelkoordinatensystem, da dieses ein sehr natürliches Mapping beschreibt und der Interaktionsraum durch das begrenzt ist, was der Nutzer mit seinen Armen erreichen kann. Dieser Ansatz würde die Interaktionsfläche maximieren [10].

Beschleunigte Translation

Die Touch-Technik verfügt mit dem Flicking über eine Technik, die es erlaubt, größere Distanzen mittels einer Wurfmetapher zu überwinden [1]. Eine solche Technik würde sich für die räumliche Interaktion ebenfalls anbieten, jedoch gestaltet sich die Wurfmetapher

als schwierig, da die bewegliche Schlüsselloch- Metapher zum Einsatz kommt. Bei der Flick- Technik wirft der Nutzer das Schlüsselloch mitten in den Informationsraum, was zu der beweglichen Informationsraummetapher passt. Allerdings ist diese Methode nicht intuitiv, weil das physische Gerät ja nicht wirklich geworfen wird. Nichtsdestotrotz wäre es interessant, einen solchen Ansatz protoypisch auszuprobieren. Eine andere Möglichkeit ist es, die x,y- Achsen des Space-scale diagrams mit einer Mapping- Funktion zu versehen, ähnlich wie das bei der z- Achse der Fall ist. So könnten schnellere Bewegungen eine höhere Translation verursachen als langsame, obwohl physisch der gleiche Weg zurückgelegt wird.

2.4 Aufforderungscharakter der unterschiedlichen Metaphern

An diesem Punkt sollte deutlich geworden sein, dass die Multi-Touch-Technik eine grundlegend andere Metapher verwendet als die räumliche Interaktionstechnik. Während bei Multi-Touch der Nutzer den Informationsraum berührt und verschiebt bzw. mit seinen Fingern zusammen schiebt oder auseinander zieht, bewegt man bei der räumlichen Technik lediglich das Schlüsselloch, durch welches man den Informationsraum betrachtet. Obwohl diese beiden Metaphern sehr gegensätzlich sind, besitzt diese Studie keine Aussagekraft darüber, welche Metapher nun die bessere ist. Der Grund hierfür ist der Aufforderungscharakter (engl. affordance), ein von Norman [29] geprägter Begriff. Eine vom Betrachter wahrgenommene und auf ihre Nutzbarkeit interpretierte Eigenschaften eines Gegenstandes machen seinen Aufforderungscharakter aus (z.B. Ein Stuhl fordert zum Sitzen auf; nähere Erklärung siehe [29].) Ein Multi-Touchgerät wie das iPhone oder iPad besitzt aufgrund der kulturellen Vorprägung für viele Nutzer den Charakter mit den Fingern zu berühren und die darauf dargestellten Informationen mit diesen zu manipulieren. Dadurch ist die gewählte "bewegliche Schlüsselloch- Metapher" am besten geeignet, da sie dem mentalen Modell der Nutzer am nächsten kommt. Ein Multi-Touchgerät mag im Gegensatz zu einer Lupe oder einer Papierlinse keinen starken Aufforderungscharakter besitzen, diese im Raum zu bewegen, umso wichtiger ist es, dem Benutzer mitzuteilen, dass dies möglich ist. Das ist ein wichtiger Aspekt für zukünftige Interfaces, die diese Technik einsetzen wollen. Hat der Nutzer aber das Gerät als Linse bzw. Guckloch identifiziert, besitzt es einen sehr großen Aufforderungscharakter, es im Raum zu bewegen [45]. Eine einfache Möglichkeit dem Nutzer deutlich zu machen, dass die Kupplung für die Interaktion betätigt werden muss, ist es, ihn explizit visuell z.B. mit einem Dialog dazu aufzufordern. Die nun hier eingesetzte Metapher entspricht dem mentalen Modell einer Linse, die man bewegt und nicht den zu betrachtenden

Informationsraum. Somit ist jedes Konzept und jedes Mapping für die jeweilige Technik optimal und eine Aussage, dass die Metapher die bessere ist, nicht möglich.

2.5 Kombination beider Techniken

Wie bereits in der Motivation erwähnt, ergänzt die räumliche Technik die Touch-Technik. So kann beispielsweise die Touch-Technik für die Manipulation von Objekten und die räumliche Technik zur Navigation im Informationsraum genutzt werden. Aber auch der parallele Einsatz beider Techniken zur Navigation ist möglich. Die dazu verwendeten Metaphern ergänzen sich dabei sehr gut. Während sich die räumliche Technik durch ein sich um das Gerät herum befindlichen räumlichen gemappten Informationsraum bewegt, verschiebt man diesen Informationsraum bei der Touch-Technik mit seinem Finger. Diese Kombination ist sinnvoll, da es den Nutzern erlaubt, längere Wege im Interaktionsraum mitels der räumlichen Technik schneller zu überwinden und Inhalte, sobald sie etwa an der gewünschte Position sind, mittels Touch genau zu positionieren.

2.6 Fazit

Es wurden zwei Interaktionstechniken vorgestellt, welche sich beide zum Pannen und Zoomen eignen und dabei zwei völlig unterschiedliche Metaphern verwenden. Beide Techniken können kombiniert, aber auch einzeln angewendet werden. Im Folgenden soll herausgefunden werden, welche Technik sich auf welchem Gerät am besten zum Pannen und zum Zoomen eignet. Eine solche Evaluierung hat bisher noch nicht stattgefunden und lässt sich auch nicht aus den von Hansen und Joshi [15, 23] durchgeföhrten Nutzerstudien schlussfolgern. Im nächsten Abschnitt wird die von uns durchgeföhrte empirische Studie vorgestellt, die diese Lücke schließen soll.

3 Benutzerstudie

In diesem Kapitel wird die Studie beschrieben, die die beiden Interaktionstechniken vergleichend evaluiert hat. Ziel der Studie war es, die zeitliche Performance für typische Zoom- und Pan-Aufgabenstellungen sowie die subjektive Einschätzung der Teilnehmer für beiden Techniken zu vergleichen. Als Erstes müssen dazu die Faktoren bestimmt werden, die einen Einfluss auf die Dauer einer Aufgabe haben können.

3.1 Zu untersuchende Faktoren

3.1.1 Interaktionstechnik

In der Studie sollte vor allem der Einfluss der Interaktionstechnik auf die zeitliche Performance von Probanden untersucht werden. Wir haben uns die Frage gestellt, mit welcher die Nutzer schneller zoomen und pannen können: mit der räumlichen oder der touchbasierten Technik.

3.1.2 Interaktionintention

Aus dem täglichen Gebrauch von Multi-Touch lassen sich zahlreiche Szenarien ableiten, in welche Zoom- & Pan- Techniken zur Anwendung kommen. Man kann die Intentionen des Nutzers, zur Anwendung wie folgt einteilen und wiederum untereinander beliebig kombinieren:

- Z1: Inhalte in ihrer dargestellten Größe verändern (Zoom)
- Z2: Inhalte auf dem Bildschirm umpositionieren (Pan)
- Z3: Nicht sichtbare Inhalte sichtbar machen (Suche)

3.1.3 Bildschirm und Gerätegröße

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Größes des Bildschirmes. Zahlreiche Studien haben belegt, dass die Bildschirmgröße einen signifikanten Einfluss auf die Informationswahrnehmung [32] und somit auch die benötigte Zeit [21, 12] für die Navigationsaufgaben

hat. Die festgestellten Effekte sind aber recht unterschiedlich [5]. Aus diesem Grund sollen hier zwei Bildschirmgrößen untersucht werden, welche in Tabelle 4.1 aufgeführt sind. Es ist hierbei zu beachten, dass ein größerer Bildschirm den Nachteil der geringeren Mobilität und des erhöhten Gewichts mit sich bringt, was auch möglicherweise die Leistungen der Probanden beeinflusst.

Tabelle 3.1: Die unterschiedlichen Geräte mit den unterschiedlichen Bildschirmgrößen.

Gerät	Display	Abmaße	Gewicht
iPhone4	3,5 Zoll à 326 ppi (960 x 640 Pixel)	115,2 mm x 58,6 mm x 9,3 mm	137g
dritte Generation iPad Wi-Fi + Cellular	9,7 Zoll à 264 ppi (2048 x 1536 pixel)	241,2 mm x 185,7 mm x 9,4 mm	662g

3.1.4 Geschlecht

Pannen und Zoomen stellen Navigationsaufgaben dar, für die Männer und Frauen eine unterschiedliche kognitive Leistungsfähigkeit aufweisen [24, 6]. Um die oben genannten Effekte auf ihre Stärken untersuchen zu können, ist es daher notwendig, das Geschlecht der Teilnehmer als zu betrachtenden Faktor zu berücksichtigen, um mögliche auftretende Effekte von einem Geschlechtereinfluss bereinigen zu können.

3.2 Hypothesen

Über den Einfluss der eben beschriebenen Faktoren wurden Vermutungen in Form von Hypothesen aufgestellt, welche im Folgenden formuliert sind.

3.2.1 Quantitative Hypothesen

Effekt der Interaktionstechnik für Zoomaufgaben

Für das Zoomen ist bei der räumlichen Interaktionstechnik lediglich das Heben und Senken des Gerätes erforderlich, wobei bei der Touchinteraktion die Pinch-Geste verwendet werden muss, welche motorisch anspruchsvoll ist [3]. Darüber hinaus profitiert die räumliche Interaktion von den räumlichen Wahrnehmungs- [10] und Interaktionfähigkeiten [28, 41] des Menschen sowie dessen kinästhetischer Wahrnehmung [41]. Somit sollte das räumliche Zoomen eine bessere Performance als das touchbasierte Zoomen aufweisen.

Wir formulieren deshalb die Hypothese:

H1: Für das Zoomen (Z1) weist die räumliche Interaktionstechnik eine signifikant bessere zeitliche Performance als Multi-Touch auf.

Effekt der Interaktionstechnik für Pan-Aufgaben

Durch die Verwendung der Flicking- Technik unter Multi-Touch ist es Nutzern möglich, große Distanzen schnell zu überwinden [1]. Die hier verwendete räumliche Interaktionstechnik verfügt derzeit noch nicht über eine vergleichbare Erweiterung. Aus diesem Grund formulieren wir die Hypothese für das Pannen wie folgt:

H2: Für das Pannen weist die räumliche Interaktionstechnik keine signifikant schlechtere Performance als Multi-Touch auf.

Effekt der Interaktionstechnik für Suchaufgaben

Entsprechend H1 und H2 müsste sich für das räumliche Suchen ebenfalls eine bessere Performance messen lassen, da ein Suchablauf in der Regel eine Rauszoomphase und eine Reinzoomphase beinhaltet.

H3: Die räumliche Interaktionstechnik weist für die Suchaufgaben eine signifikant bessere zeitliche Performance auf.

Effekt der Pan-Richtung bei der räumlichen Technik

Betrachtet man die möglichen Richtungen des Pannens genauer, gelangt man zu der Vermutung, dass es auch hier je nach Richtungen Unterschiede in der zeitlichen Performance geben wird. Bei der räumlichen Interaktionstechnik muss ein Gerät für eine horizontale Translation nach links oder nach rechts bewegt werden, was eine sehr einfache Aufgabe ist. Für eine vertikale Translation muss es jedoch entlang seiner y-Achse nach oben bzw. vom Benutzer nach unten bzw. an den Benutzer heran bewegt werden. Diese Bewegung ist anspruchsvoller als das horizontale Pannen und nimmt somit womöglich mehr Zeit in Anspruch.

H4: Das räumlich- horizontale Pannen besitzt eine bessere zeitliche Performance als das räumlich- vertikale Pannen.

Effekt der Pan-Richtung bei Touch

Die Interaktiongeräte haben ein ungleiches Bildschirmseitenverhältnis. Werden die Geräte im Hochformat gehalten, wie es häufiger der Fall ist, steht für die horizontale Translation weniger touchsensitive Interaktionsfläche zur Verfügung als für die vertikale. Eine geringere Interaktionsfläche wirkt sich aber nachteilig auf die Performance der Flicking- Geste aus [1]. Somit lässt sich für die Touchinteraktion ein gegenteiliger Effekt zur räumlichen Interaktion erwarten.

H5: Das Pannen mittels Touch besitzt eine bessere zeitliche Performance als das räumlich- vertikale Pannen.

Effekt der Bildschirmgrößen

Fitzmaurice [10] nennt kleine Bildschirmgrößen als den Hauptgrund warum Handheldgeräte weniger Funktionen als Desktopsysteme bieten. Es wird jedoch von einer Tendenz gesprochen, bei der die mögliche Funktionalität und Performance mit der Gerätegröße zunimmt, unter Anderem, weil mehr Informationen dargestellt werden können und somit die Informationsübertragungsbandbreite zwischen Nutzer und Gerät erhöht wird. In [12] werden ebenfalls diverse Navigationsaufgaben auf unterschiedlichen Bildschirmgrößen bearbeitet und es wird eine sehr starke Korrelation zwischen Nutzerperformance und Bildschirmgröße festgestellt:

„As expected, there was a large main effect of display type ($F=88.55, p<0.001$).
[...] even at its best, navigating on the small screen is considerably slower than on the normal screen “

Des Weiteren profitieren Techniken wie die Multi-Touch Interaktionstechnik von einer größeren Interaktionsfläche [1] Diese Behauptung möchten wir wie folgt untersuchen:

H6: Es gibt eine negative Korrelation zwischen der Displaygröße und der zeitlichen Performance (je größer das Display umso besser die Performance).

3.2.2 Qualitative Hypothesen

Über die Performance Daten hinaus, untersuchen wir die subjektive Wahrnehmung der Versuchspersonen hinsichtlich der genutzten Interaktionstechniken. Hier interessierten und berücksichtigten wir die folgenden abhängigen Variablen: Einfachheit des Erlernens, Einfachheit der Benutzung, Effizienz der Benutzung, Funktionalität, Einprägsamkeit. Die räumliche Interaktionstechnik kann nur eine Alternative zu der Touch-Technik

darstellen, wenn sie durch die Probanden qualitativ ähnlich gut oder besser beurteilt wird als die Touch-Technik.

Wir haben deshalb unsere Hypothese wie folgt formuliert:

H7: Die qualitative Bewertung der räumlichen Interaktionstechnik ist nicht schlechter als die der Touch-Interaktionstechnik.

3.3 Methode

Für die Überprüfung der Hypothesen war es notwendig ausreichend, viele Teilnehmer beider Geschlechter sowohl an iPhone als auch iPad unter Zeitmessung mit beiden Techniken arbeiten zu lassen und ihnen eine Möglichkeit zu geben, diese zu bewerten.

3.3.1 Stichprobe

An der Benutzerstudie nahmen insgesamt 40 Versuchspersonen teil, dabei waren die Geschlechter gleichverteilt (20 Männer, 20 Frauen). Alle Versuchsteilnehmer hatten ein normales oder zu normal korrigiertes Sehvermögen. Des Weiteren waren sie bereits mit Multiouchgeräten erfahren oder besaßen sogar selbst eines. Das Durchschnittsalter aller Probanden betrug 23.48 ($SD = 2.27$) Jahre mit einer Altersspanne von 19 - 33 Jahren (vgl. Abb. 3.6). Die weiblichen Teilnehmerinnen waren zwischen 19 und 33 Jahre alt und wiesen ein Durchschnittsalter von 23.25 ($SD = 2.69$) Jahre auf. Bei den Männern lag das Durchschnittsalter mit 23.60 ($SD = 1.82$) Jahren im gleichen Bereich, wobei die Spanne etwas enger war und von 20 bis 28 Jahre variierte.

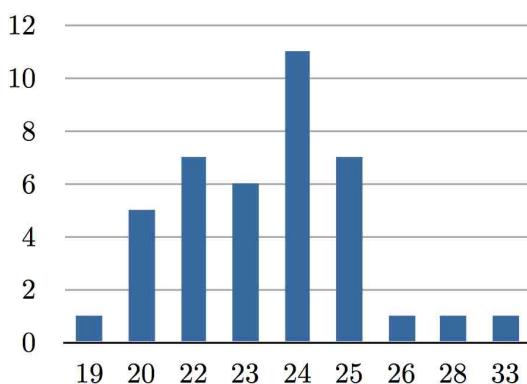


Abbildung 3.1: Altersverteilung der Teilnehmer.

Eine Versuchsperson musste aufgrund der erzielten Gesamtbearbeitungszeit ausgeschlossen werden, da diese außerhalb der definierten Grenze des 1,5-fachen Interquartilabstandes der Gesamtstichprobe lag. Demnach gingen die Ergebnisse von 39 Versuchsteilnehmern in die statistische Analyse ein.

3.3.2 Aufgaben

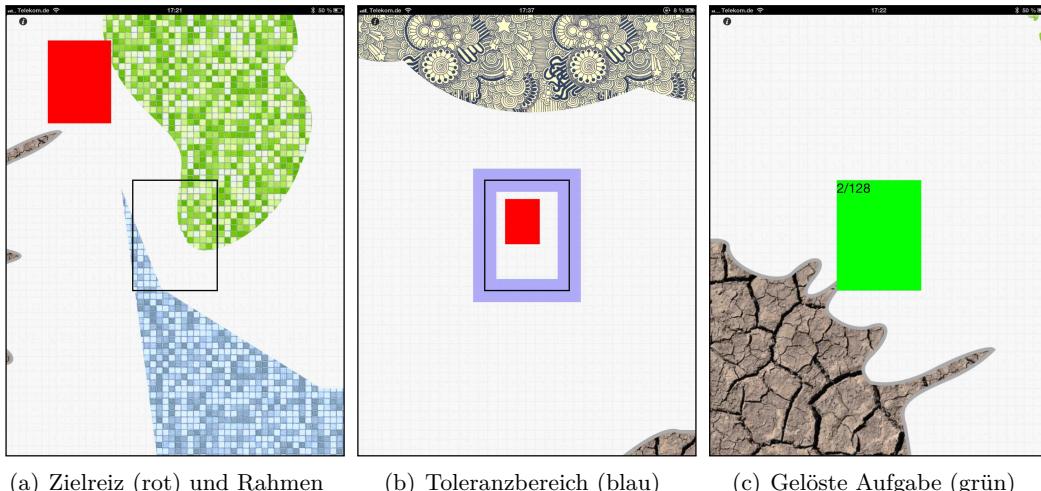


Abbildung 3.2: Interaktionsaufgaben.

Die Aufgabe der Teilnehmer war es, die in einem virtuellen Szenario befindlichen roten Rechtecke in einen Referenzrahmen, welcher sich immer in der Mitte des Bildschirms befand, zu bewegen (vgl. Abbildung 3.2(a)). Damit die Nutzer nicht viel Zeit damit verbringen mussten, die Rechtecke exakt in den schwarzen Rahmen zu positionieren, gab es darum einen gewissen Toleranzbereich, der in Abbildung 3.2(b) sichtbar dargestellt ist. Dieser erledigte automatisch den Rest der Aufgabe, sobald sich ein Rechteck innerhalb dieses Bereichs befand. Eine erfolgreich gelöste Aufgabe ließ sich an einer speziellen Animation erkennen, wobei das Rechteck, wenn es in den Rahmen sprang, sich grün einfärbte (vgl. Abbildung 3.2(c)). Zusätzlich wurde der Proband via Fortschrittsanzeige darüber informiert, die wievielte Aufgabe er aus dem Pool gerade bearbeitete.

3.3.3 Szenario

Das Szenario hatte eine Größe von 4734 x 3682 Pixeln und war, wie in dem vorangegangenen Kapitel beschrieben visuell begrenzt. Damit die Teilnehmer in diesem großen

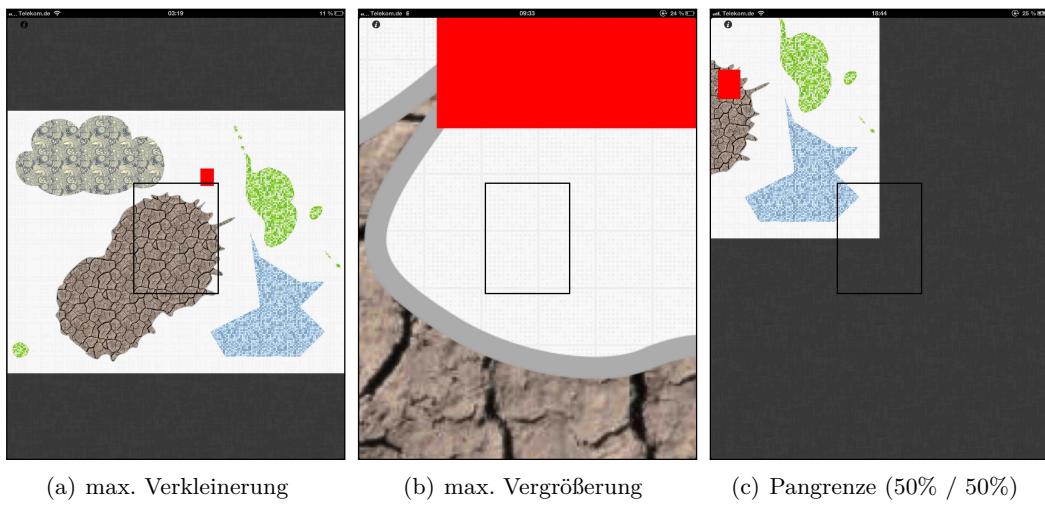


Abbildung 3.3: Szenariobegrenzungen.

Szenario nicht die Orientierung verlieren, war es wichtig, immer visuellen Kontext anzudeuten, welcher ihnen half, ihre Navigationsentscheidungen zu treffen und somit das Desert Fog Problem [25] weitestgehend eliminierte. Das komplette Szenario war mit einer karierten Hintergrundtextur versehen, welche visuelles Feedback für das Zooming und Pannen gab. Des Weiteren waren in dem Scenario mehrere abstrakte Formen mit einer strukturierteren Textur platziert. Die Texturen waren ebenfalls geeignet dem Benutzer Feedback über seine Bewegung zu geben. Die abstrakten Formen sollten den Benutzern zusätzlich helfen, sich zu orientieren, wo sie sich befinden, damit sie bspw. erahnen kannten ob sie sich gerade eher mittig oder eher am linken Rand des Szenarios befinden. Auf Kartenmaterial oder ähnliches wurde bewusst verzichtet um Nutzer, die auf solchen besonders gut orientieren können, nicht zu bevorteilen. Das Szenario konnte mittels reinzoomen maximal um ein Fünffaches vergößert werden (vgl. Abbildung 3.3(b)). Herauszoomen war soweit möglich, bis das gesamte Szenario in seiner vollen Breite auf dem Display zu sehen war (vgl. Abbildung 3.3(a)). In diesem Zustand konnte das Szenario immer noch soweit bewegt werden, das es der Länge oder der Höhe nach noch zur Hälfte zu sehen war (vgl. Abbildung 3.3(c)).

3.3.4 Unterschiedliche Auflösung der Displays

Der Bildschirm des iPhones hat eine um 23,48% höhere Auflösung als das iPad (vgl. Tabelle 4.1). Möchte man nun denselben physischen Interaktionsraum abdecken, ergibt

sich zwangsläufig bei einem 1:1 Mapping, dass das virtuelle Szenario beim iPhone größer sein muss als auf dem iPad. Jedoch schien uns fraglich, ob eine solche Umsetzung auch realistisch sei. Wir untersuchten mehrere Anwendungen, welche auf beiden Geräten eingesetzt wurden und stellten fest, dass in der Realität die höhere Auflösung des iPhones genutzt wird um Inhalte (z.B. Webseiten oder Bilder) etwas kleiner darzustellen. Der Detailgrad blieb in diesem Fall gleich nur die physische Größe des Szenarios reduzierte sich. Wir haben uns entschieden, denselben Ansatz in dieser Studie zu wählen. Das heißt „das virtuelle Szenario ist auf beiden Geräten gleich groß, nur der Interaktionsraum ist in der x,y- Ebene bei dem iPhone entsprechend kleiner.“

3.3.5 Position der Rechtecke im Informationsraum

Die Rechtecke, im Folgenden auch Zielreize genannt, wurden derart positioniert, dass sie jede Interaktionsintention (Z1:Zoom, Z2:Pan, Z3: Suche) hervorriefen.

Um in einem Benutzer die Intention Z1(Zoom) zum Vergrößern oder Verkleinern von Inhalten zu wecken, wurde er mit einem Zielreiz konfrontiert, der sich bereits an der richtigen Position in der x,y-Ebene befindet, jedoch die falsche Vergrößerungstufe hat. In unserer Studie unterscheiden wir die zwei Zoomrichtungen (Vergrößern/Verkleinern) noch einmal in schwache Verkleinerung (Zoom-Faktor: 0.7), starke Verkleinerung (Zoom-Faktor: 0.5), schwache Vergrößerung (Zoom-Faktor: 1.43, invers zur schwachen Vergößerung) und starke Vergrößerung (Zoom-Faktor: 2.0).

Um eine Aufgabe zu erzeugen, welche die Intention Z2 (Pan) hervorruft, kann man einen Zielreiz horizontal (links oder rechts), vertikal (oberhalb oder unterhalb) bzw. diagonal (links/recht oberhalb oder links/rechts unterhalb) zu dem aktuellen Ausschnitt positionieren.

Um die letzte Intention Z3 (Suchen) abzudecken, genügt es Aufgaben mit einem Ausgangszustand zu erzeugen, bei denen der Zeilreiz nicht sichtbar ist, da er weit von der aktuellen Position entfernt ist. Hierbei muss ein wichtiger Unterschied erwähnt werden: Zielreize die auf dem iPad komplett sichtbar sind, werden auf dem iPhone nur teilweise sichtbar, d.h. sie befinden sich am Rand.

Dies führt unter Umständen dazu, dass der Nutzer bei dem Test mit dem iPhone gegebenenfalls bei der Ausgangssituation nicht einschätzen kann, ob eine Vergrößerung oder Verkleinerung des Zielreizes notwendig sein wird. Wie bereits erwähnt, können die Intentionen kombiniert werden. Jede Kombinationsmöglichkeit sollte mehrere Male vorkommen um durch Messwiederholung die statistische Stabilität zu gewährleisten.

Wie aus Tabelle 3.2 und Abbildung 3.4 ersichtlich, gab es 128 Aufgaben. Davon waren 8 Aufgaben reine Zoomaufgaben (Zeile „*kein Pan*“). Ein dutzend Aufgaben waren

3 Benutzerstudie

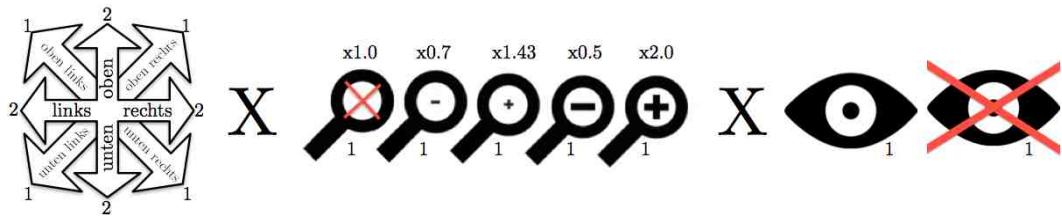
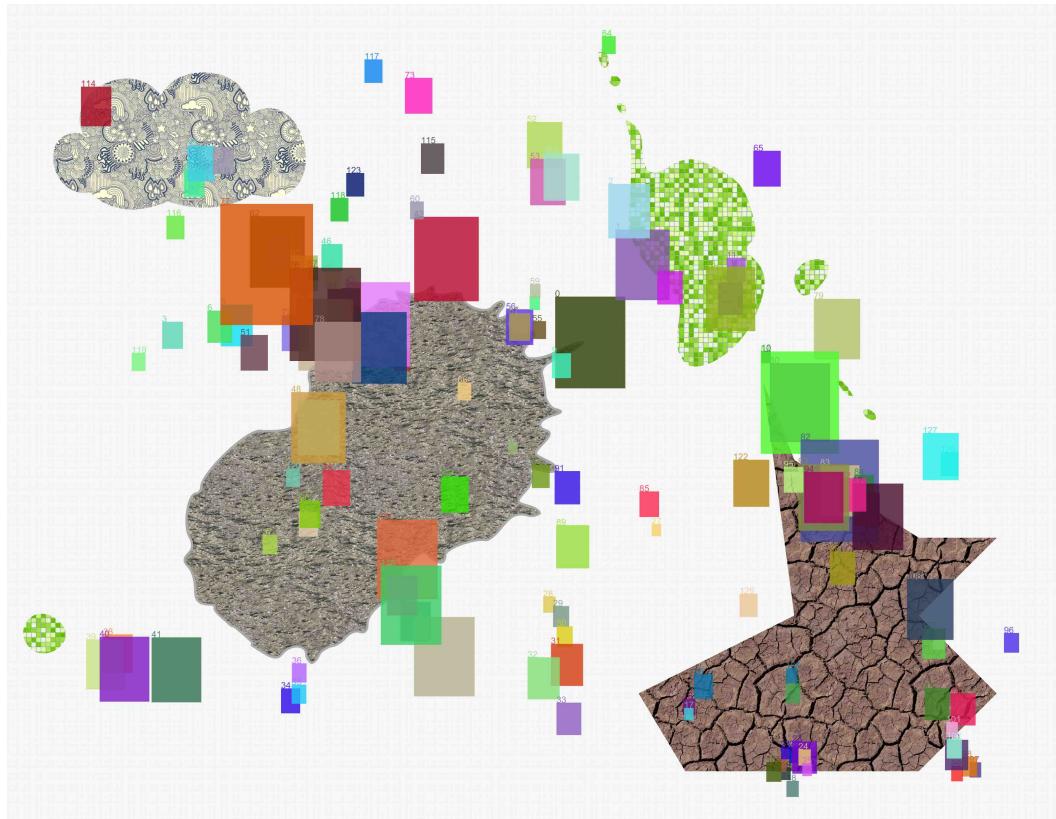


Abbildung 3.4: Zusammensetzung der 120 Aufgaben mit Pannen - links: Panrichtung - mitte: Zoom-Faktor - rechts: Zielreiz (un-)sichtbar.

Tabelle 3.2: Zusammensetzung der Aufgaben: 120 Aufgaben mit Pannen und 8 reine Zoomaufgaben.

	kein Zoom		x0.7		x0.5		x1.43		x2.0	
Zielreiz sichtbar	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein
kein Pan	-	-	2	-	2	-	2	-	2	-
vertikaller Pan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
horizontaler Pan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
diagonaler Pan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

reine x,y-Transaltionsaufgaben (Spalte "kein Zoom"). Suchaufgaben gab es insgesamt 60. Die restlichen Aufgaben waren eine Intentionskombination aus Zoom und Pan. Die genaue Reihenfolge der Aufgaben, die für diese Studie verwendet wurden kann dem Anhang entnommen werden. Einen Überblick über die Verteilung der Zielreize bietet Abbildung 3.5.



3.4 Versuchsdurchführung

3.4.1 Vorbereitung und Gruppenzuteilung

Am Anfang wurde der Teilnehmer über die Zielstellung und den Ablauf der Studie instruiert und seine persönlichen Angaben verifiziert (Alter, Geschlecht, Händigkeit, Studiengang etc.). Bevor begonnen wurde mit dem Gerät zu arbeiten, wurde die Kopfhöhe, Schulterhöhe und Armlänge (Achse bis Ende Handfläche) des Probanden gemessen und vermerkt. Anschließend wurden die Probanden einer Gruppe zugeordnet. Es gab mehrere Probandengruppen, auf die die Teilnehmer gemäß der zu beobachtenden Faktoren aufgeteilt wurden. Die Hälfte aller Männer und die Hälfte aller Frauen arbeiteten mit dem iPhone, die andere Hälfte mit dem iPad. Von den nun jeweils 10 Personen gleichen Geschlechts, die mit demselben Gerät arbeiteten, begann die Hälfte mit der räumlichen Interaktionstechnik und die andere Hälfte mit der Touch-Interaktionstechnik (Counterbalancing), um ggf. auftretende Interferenzeffekte zwischen den Methoden und ihren Metaphern abzufangen. Die genaue Zellenaufteilung nach Geschlecht, Multi-Toucherfahrung und Gerät mit der jeweiligen Altersstruktur ist Tabelle 3.3 zu entnehmen: Es lässt sich ableiten, dass die Aufteilung auf die Geräte

Tabelle 3.3: Aufteilung der Teilnehmer auf die Teilnehmergruppen.

Geschlecht	Gerät	Reihenfolge	Anzahl	Alters- verteilung
Weiblich	iPad	Räumlich, Multi-Touch	5	22.6 (20-24)
		Multi-Touch, Räumlich	5	23.2 (22-25)
	iPhone	Räumlich, Multi-Touch	5	21.8 (19-24)
		Multi-Touch, Räumlich	5	25.4 (22-33)
Männlich	iPad	Räumlich, Multi-Touch	5	23.6 (20-28)
		Multi-Touch, Räumlich	5	23.2 (20-25)
	iPhone	Räumlich, Multi-Touch	5	24.4 (22-26)
		Multi-Touch, Räumlich	5	23.2 (20-25)

und Geschlechter sehr gleichmäßig erfolgt ist und dass auch die Altersstruktur in allen Zellen ähnlich ist. Aus diesem Grund braucht das Alter bei der Auswertung nicht beachtet zu werden.

3.4.2 Praktischer Einsatz der ersten Interaktionstechnik

Im Kern bestand die Studie aus je einem Durchlauf pro Interaktionstechnik. Je nach Teilnehmergruppe, kam dabei zuerst die Touch-Interaktion oder zuerst die räumliche Interaktionstechnik zum Einsatz. Ein Durchlauf sah so aus, dass der Teilnehmer zu

dem Optitrack-System gebeten wurde, wo ihm die zu verwendende Interaktionstechnik im Detail erläutert wurde. Zur Erklärung wurde dabei auch immer die Interaktionsmetapher benutzt. Im Anschluss bekam der Teilnehmer die Möglichkeit, die Technik auszuprobieren. Während dieser Lernphase gab der Versuchsleiter auch kontinuierlich Tipps und Hilfestellungen, insofern dies nötig war. Waren sich Proband und Experimentleiter einig, dass die Technik nun sicher beherrscht wird, wurde mit der Bearbeitung der Aufgaben begonnen, wobei die Teilnehmer sogleich aufgefordert wurden, die Aufgaben so schnell wie möglich, statt so genau wie möglich zu bearbeiten. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte im Stehen, da es den Teilnehmern nicht gestattet war, sich hinzusetzen. Die Probanden wurden von dem Experimentleiter beobachtet und auftretende Aufälligkeiten wurden notiert. Sobald alle Aufgaben gelöst waren, sah der Teilnehmer eine Animation, die ihm signallisierte, dass er fertig war.



Abbildung 3.6: Probandin bei der Durchführung der Studie.

3.4.3 Fragebogen

Für die Benutzerstudie wurde ein Fragebogen entworfen, der die qualitative Bewertung der Interaktionstechnik durch die Probanden darstellt. Der Fragebogen setzte sich in seiner Grundform aus 36 Aussagen zusammen, welche die Probanden auf einer 7-stufigen Likert-Skala (1 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 7 = „stimme voll und ganz zu“) zustimmen oder ablehnen sollte. Die qualitativen Kriterien (Items), nach welchen die Benutzer die interaktionstechnischen bewerten sollen, wurden u.a. aus den Interaktiondesignzielen aus [33] abgeleitet. Zu jeder Skala wurden mehrere Items formuliert, die teils positiv, teils negativ codiert waren.

- Easy to Learn (Einfacheit des Erlernens) - 6 Fragen - Bsp.: *“Es dauert zu lange, um die Bedienung zu erlernen.”*
- Ease of use (Einfacheit der Benutzung) - 6 Fragen - Bsp.: *“Ich könnte mit der Technik ohne Einschränkungen eine Stunde durchgängig arbeiten.”*
- Efficient to use (Effizienz der Benutzung) - 4 Fragen - Bsp.: *“Die Technik arbeitet hinreichend genau, sodass ich bei der Bearbeitung der Aufgaben keine Zeit aufgrund von Ungenauigkeiten verloren habe.”*
- Having good utility (Funktionalität) - 3 Fragen - Bsp.: *“Ich kann mir vorstellen die Technik im täglichen Gebrauch (auf Karten, Bilder u.ä.) anzuwenden.”*
- Easy to remember (Einprägsamkeit) - 2 Fragen - Bsp.: *“In 4 Wochen könnte ich mich bestimmt nicht mehr erinnern, wie die Interaktionstechnik funktioniert und müsste sie erneut erlernen.”*
- User Experience (subjektive Nutzererfahrung) - 2 Fragen - Bsp.: *“Die Interaktion mit dem Gerät hat Spaß gemacht.”*
- Ermüdungserscheinungen - 1 Frage - Hier hatte der Nutzer die Möglichkeit ermüdete Körperteile anzukreuzen bzw. selber einzugeben.

Darüber hinaus wurden die Nutzer auch zu den Interaktionsrichtungen befragt, da diese, wie bereits oben erwähnt womöglich als unterschiedlich schwer zu beherrschen empfunden werden können:

- Horizontal Pannen (Translation in x-Richtung) - 4 Fragen - Bsp.: *“Es war mir ohne Probleme möglich nach links und rechts zu navigieren.”*

- Vertical Pannen (Translation in y-Richtung) - 4 Fragen - Bsp.: "*Es fiel mir schwer Ziele, die sich unterhalb oder oberhalb vom Rahmen befanden, zu erreichen.*"
- Zooming (Vergößerung/Verkleinerung) - 4 Fragen - Bsp.: "*Beim Reinzoomen oder Rauszoomen habe ich mich häufig nach links oder rechts bewegt obwohl das nicht beabsichtigt war.*"

Zusätzlich wurden die Probanden bei der räumlichen Interaktionstechnik noch zu dem Gewicht des Gerätes und ihrer Einstellung zu der Nachsetzentechnik befragt. (Diese Fragen waren zusätzlich zu den 36 Fragen des Grundfragebogens)

- Einstellung zu der Nachsetzentechnik - 3 Fragen - Bsp.: "*Ich habe immer versucht, das Nachsetzen bei der Bedienung zu umgehen.*"

Der komplette Fragebogen befindet sich im Anhang.

3.4.4 Wiederholung für die zweite Interaktionstechnik

Sobald die Beantwortung des Fragebogens abgeschlossen war, erfolgte der zweite Durchlauf mit der jeweils anderen Technik (vgl. Abbschnitt 3.4.2), auf dem gleichen Gerät. Wichtig zu erwähnen ist dabei, das die Übungsphase bei dem zweiten Durchlauf etwas ausgedehnter gestaltet wurde, um die häufig auftretenden Interferenzeffekte abzufangen. Nach der Bearbeitung der Aufgaben wurde erneut der Fragebogen für die eben verwendete Technik ausgefüllt.

3.4.5 Abschluss

Nach der erfolgreichen Beantwortung des Fragebogens des zweiten Durchlaufes wurde dem Probanden abschließend die Möglichkeit gegeben, selbst noch einmal Anmerkungen zu der Technik zu machen. Gab es beobachtbare Auffälligkeiten, wurden diese besprochen. Anschließend wurde die Studie abgeschlossen, wobei die gesamten Studiendauer zwischen 50 - 70 Minuten variierte.

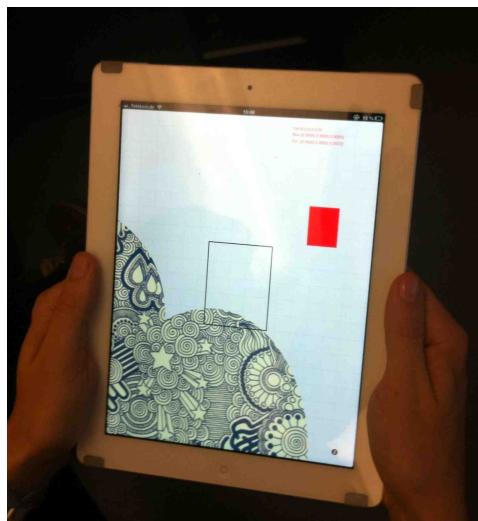
3.4.6 Apparatur

Die Studie wurde mit jeweils einem Teilnehmer in einem ruhigen Raum durchgeführt. Für die Interaktion wurden wie oben erwähnt ein iPhone4 und ein iPad3 verwendet. Die beiden Geräte wurden, wie in Abbildung 3.9(a), 3.9(b) dargestellt, mit Infrarotmarkierungen versehen und von 12 Optitrack Kameras (vgl. Abbildung 3.7) getrackt. Die Kameras sind hervorragend geeignet, um die Position von Infrarotmarkierungen im



Abbildung 3.7: Das Trackingsystem: 12 Optitrack Kameras (V100:R2) mit jeweils einer Auflösung von 640 x 480 Pixeln mit 100 Frames pro Sekunde.

Abbildung 3.8: Infrarotmarkierungen an den Geräten



(a) Das iPad wurde anfangs mit vier, später mit sechs Infrarotmarkern beklebt.



(b) Für das iPhone wurde ein Aufsatz mit drei kugelförmigen Infrarotmarkierungen gebaut.

Raum zu ermitteln. Wir versprechen uns von dem Einsatz fortgeschrittener Tracking-technologie, dass wir die hier beschriebene räumliche Interaktionstechnik stabiler und somit leistungsfähiger umsetzen können, als dies unseren Vorgängern bisher möglich war. Diese hatten immer wieder mit Ungenauigkeiten und Leistungseinbrüchen zu kämpfen [45, 15], was die Aussagekraft der von ihnen durchgeführten Studien schmälert. Die genaue technische Umsetzung ist im nächsten Kapitel beschrieben.

3.4.7 Logging

Während der Bearbeitung wurde jede Interaktion gelogt, d.h. bei Touch jede Drag- und Pinch- Geste mit ihrem Start- und Endzeitpunkt bzw. bei der räumlichen Technik, jede Positionsbestimmung im Raum mit Zeitstempel. Zu jeder dieser Interaktionen wurde Folgendes gespeichert:

- Die gerade angezeigte Aufgabe
- Der auf dem Bildschirm dargestellte Informationsausschnitt
- Die Position im Space-scale diagram.

Alle Messungen erfolgten dabei zeitlich synchronisiert mittels des Interaktionsgerätes um menschliche Fehler bei der Messung auszuschließen.

3.5 Fazit

Es wurden die zu untersuchenden Faktoren und die von uns aufgestellten Hypothesen vorgestellt. Des Weiteren wurde die Methodik beschrieben, mit welcher diese Hypothesen überprüft wurden. Um die Vergleichbarkeit der beiden Techniken zu gewährleisten, ist es wichtig, dass beide Techniken mit der bestmöglichen technischen Performance und Genauigkeit auf den Geräten implementiert wurden. Es wurden deshalb hohe Anforderungen an den zu implementieren Prototyp gestellt. Diese Anforderung und deren Verwirklichung in der Implementierung wird im nächsten Kapitel beschrieben.

4 Prototyp

Um die beiden Interaktionstechniken in der Studie vergleichen zu können, wurden diese gemäß ihrer Interaktionsbeschreibung (siehe Kap. 2) implementiert. Die Umsetzung des Prototyps stellt mit einer Entwicklungszeit von rund 60 Arbeitstagen und einem Umfang von 4787 Zeilen Programmcode mit Abstand den aufwendigsten Teil dieser Arbeit dar. Er soll hier jedoch nur in seinen Grundzügen beschrieben werden, da eine detaillierte Beschreibung den Rahmen dieser Bachelorarbeit sprengen würde. Bei der Umsetzung des Prototyps fiel die Wahl aus Verfügbarkeitsgründen auf ein iPhone 4 und ein iPad 3. Auf beiden mobilen Endgeräten kam das Betriebssystem iOS 6.0 zum Einsatz.

Tabelle 4.1: Technische Eigenschaften der verwendeten Geräte.

Gerät	Hauptspeicher	Prozessor
iPhone4	500 MB dynamischer RAM	Apple A4 Ein Kern mit 1 GHZ untertaktet auf 800 MHz
dritte Generation iPad Wi-Fi + Cellular	1024 MB DDR2 RAM	Apple A5X CPU: Zwei Kerne dynamisch getaktet bis zu 1 GHZ GPU: Vier Kerne

4.1 Anforderungen

Da der Verwendungszweck des hier vorgestellten Prototyps die Durchführung der Benutzerstudie war, wurden besondere Anforderungen an die Konzeptionierung gestellt. Im Folgenden sind die wichtigsten Anforderungen gemäß ISO 9126 kurz aufgeführt.

4.1.1 Funktionalität insbesondere Richtigkeit und Interoperabilität

Jede Interaktion musste korrekt vom System interpretiert werden und den laut der Interaktionsbeschreibung in Kapitel 2 gewünschten Effekt hervorrufen. Bei der Umset-

zung sollte das in Kapitel 3.7 vorgestellte Optitrack-System zum Einsatz kommen. Das Optitrack-System übermittelt die Positionsdaten des getrackten Gerätes über WLAN mittels einer VRPN-Weiterentwicklung namens YID, welche auf C++ basiert, aber auch bereits auf iOS portiert wurde.

4.1.2 Zuverlässigkeit insbesondere Reife, Fehlertoleranz und Wiederherstellbarkeit

Während der Durchführung der Studie musste der Prototyp genau und absturzfrei laufen. Es durften keine Fehler auftreten, die die zeitlichen Messungen verfälscht hätten. Fehlerhafte Trackingdaten mussten gefiltert werden und durften keine ungewünschten Effekte hervorrufen. Gemessene Daten mussten persistent gespeichert werden. Im Falle eines Fehlers war es wichtig, dass der Proband an der Stelle fortfahren konnte, an der er unterbrochen wurde.

4.1.3 Effizienz insbesondere Zeitverhalten

Die Implementierung muss schnell genug sein, um eine flüssige Darstellung und Interaktion zu ermöglichen. Es darf keine großen Performance-Unterschiede zwischen den Techniken oder den Geräten geben. Als besonderes Problem stellt sich dabei die unterschiedliche Hauptspeichergröße heraus, da das iPhone mit seinen 500 MB nur halb so viel Speicher besitzt wie das iPad. Dieser Effekt verstärkt sich dadurch, dass unter iOS laufende Applikationen einen Speicher von dem Betriebssystem zugewiesen bekommen, welcher sich auf dem iPhone auch auf weniger als 100 MB belaufen kann. Das in der Studie verwendete Szenario hatte eine Größe von 4734 x 3682 Pixeln. Bei einer Farbtiefe von 32 Bit ergibt sich dabei eine unkomprimierte Rohgröße von 66.5 Megabyte, was schon einen Großteil des Speichers belegt. Dieses Speicherproblem musste auch in der Nutzerstudie von Boring[3] gelöst werden

4.1.4 Wartbarkeit insbesondere Modifizierbarkeit

Um beispielsweise andere Trackingtechnologien, verschiedene Mapping Varianten, Erweiterungen im Space-scale diagram oder andere Visualisierungstechniken in dem Prototyp nutzen zu können, ist ein modularer Aufbau sehr wichtig. Hier können einzelne Komponenten ausgetauscht und verschiedene Komponenten beliebig miteinander kombiniert werden.

4.1.5 Übertragbarkeit auf mehrere Geräte

Die dargestellte Informationsmenge und die Art und Weise der Visualisierung müssen für beide Techniken und beide Geräte (abgesehen von der Auflösung und Bildschirmgröße) identisch sein. Die Begrenzung des Informationsraumes muss für beide Techniken ebenfalls gleich sein, damit nicht eine Technik bevorzugt ist, da sie eine größere virtuelle Bewegungsfreiheit bietet.

4.2 Entwicklungsumgebung und Programmiersprachen

Die Applikation wurde in der gerätenativen Sprache Objective C und C++ umgesetzt (vgl. Anforderung 4.1.1). Für die Entwicklung fiel die Entscheidung auf XCode Version 4.5, um die native Unterstützung für die parallele Entwicklung mehrerer Gerätetypen nutzen zu können. Bei der Entwicklung kam das Model-, Präsentations-, Steuerungs- und Softwareentwicklungsmuster (engl. MVC: model view controller) zum Einsatz, so dass auf beiden Geräten ein identisches Datenmodell genutzt werden konnte. Lediglich die Präsentation in Form von sogenannten Storyboards wurde gerätespezifisch umgesetzt (vgl. Anforderung 4.1.4 und 4.1.5).

4.3 Umsetzung der Touch-Interaktionstechnik

Die Umsetzung der Touchfunktionalität war denkbar einfach, da iOS nativ über sehr gute Multitouchfunktionalität verfügt. Hierbei wird ein panbarer Bereich im Interface definiert, der von Gestenerkennern überwacht wird. Wird in diesem Bereich eine Pinch- oder eine Drag-Geste registriert, erfolgt die entsprechende Änderung in der Darstellung. Jede von den Gestenerkennern erfolgreich erkannte Geste wurde dabei in einer Logdatei gespeichert.

4.4 Umsetzung der räumlichen Interaktion

Die Umsetzung der räumlichen Interaktionstechnik wurde in drei separate, austauschbare Module unterteilt. Dieser Aufbau ermöglicht es, einzelne Module auszutauschen, um andere Trackingsysteme oder Interaktionskonzepte zu nutzen (vgl. Anforderung 4.1.4). Von der Möglichkeit des Austauschens wurde während der Entwicklung reichlich Gebrauch gemacht, da verschiedene Interaktions- und Darstellungskonzepte getestet und iterativ verbessert wurden.

4.4.1 Trackingmodul: Position und Rotation des Gerätes im realen metrischen Raum bestimmen

Das erste Modul ist dafür zuständig, die Position und Rotation des Gerätes im Raum zu ermitteln. Dabei kann ein beliebiges Trackingsystem zum Einsatz kommen, das in der Lage ist, die Position und die Rotation des Gerätes in hoher Frequenz (mindestens 5 Hz) zu ermitteln. Somit kann die aktuelle Implementierung angepasst werden, um andere Sensoren zu nutzen. Auch der Einsatz anderer Trackingsysteme, wie sie in [35, 15, 23] vorgeschlagen werden, ist so problemlos möglich. In unserem Fall kam das im vorigen Kapitel beschriebene Optitrack-System zum Einsatz (Trackingvorgang in Abbildung 4.1). Die vom System ermittelten Positionen wurden über WLAN mithilfe von YID an das Empfangsgerät übersandt. Sobald eine Position empfangen wurde, durchlief sie einen Filter, der die Korrektheit der Positionsangabe prüfte, um fehlerhafte Daten auszuschließen. Anschließend wurde die neue Position mit einem Zeitstempel versehen und an das nächste Modul übergeben.

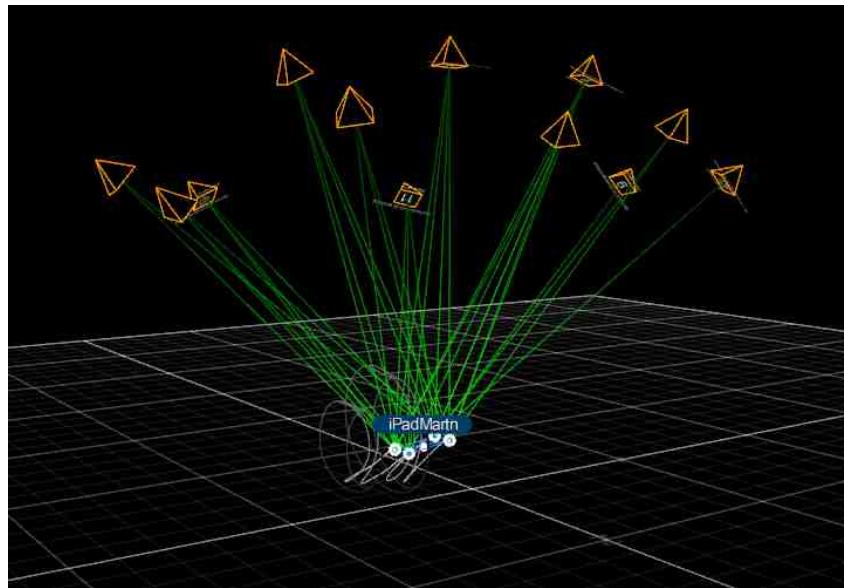


Abbildung 4.1: Positionsermittlung mittels OptiTrack.

4.4.2 Interaktionsraummodul: Koordinatentransformation auf einem dreidimensionalen kanonischen Interaktionsraum

Die Aufgabe dieses Moduls ist es, die Position des Gerätes im absoluten metrischen Raum auf den kanonischen Interaktionsraum zu übertragen. Der Interaktionsraum befindet sich um das Gerät oder den Nutzer herum und besitzt bestimmte, von der Größe des Informationsraumes und dem Mapping abhängige metrische Maße. Wie dieser Referenzraum beschrieben wird, ist dabei frei wählbar. Es ist z.B. denkbar, den Interaktionsraum als Kugel um den Benutzer herum zu betrachten und die Position des Gerätes mittels Kugelkoordinaten zu beschreiben (vgl. Abbildung 2.8). In unserem Fall hat der Interaktionsraum die Form eines Quaders, welcher sich um das Gerät herum befindet. Die Abmaße des Quaders sind frei wählbar und betragen in unserer Studie 900 mm x 700 mm x 350 mm. Wenn man die Auflösung der Geräte und die Größe des Studienszenarios betrachtet, entspricht dies einem 1:1 Mapping zwischen metrischem und virtuellem Raum.

Der Interaktionsraum besitzt einen in den Koordinaten des Trackingsystems angegebenen metrischen Ursprung. Positionsangaben, wie sie von dem Tracking- Modul an dieses Modul gesendet werden, geben die metrische Position und die Rotation des Gerätes an. Die Rotation des Gerätes wird auf die Rotation des Interaktionsraumes übertragen. Der Interaktionsraum dreht sich also immer mit. Dies ermöglicht es, die Position des Gerätes innerhalb des Interaktionsraumes lediglich mit einem kanonischen Ortsvektor zu beschreiben. Die metrische Position des Gerätes wird je nach Zustand der Kupplung unterschiedlich verarbeitet: Ist die Kupplung nicht aktiv, bleibt die Position des Gerätes im kanonischen Interaktionsraum unverändert. Jedoch bewegt sich der gesamte Interaktionsraum. Das heißt, er folgt dem Gerät im metrischen Raum. Ist die Kupplung aktiv, so findet gerade eine Bewegung innerhalb des Interaktionsraumes statt. In diesem Fall wird die vom Trackingsystem gemessene Bewegung auf eine Bewegung des Gerätes im kanonischen Interaktionsraum übertragen. Der Interaktionsraum selbst bewegt sich nicht.

4.4.3 Interaktionsmappingmodul: Transformation der Positionsänderung auf den zweidimensionalen Informationsraum

Sobald eine Bewegung des Geräts stattgefunden hat, erhält das dritte Modul die neue kanonische Position des Gerätes. Die Aufgabe dabei ist es, aus der neuen Position den darzustellenden Ausschnitt des zweidimensionalen Informationsraumes zu bestimmen. Hierbei werden die Bewegungen im Raum wie in Kapitel 2 Abbildung 2.7(c) beschrieben

auf das Space-scale diagram gemappt. Es muss aber nicht nur die neue kanonische Position berücksichtigt werden, sondern es können auch andere Inputs wie z.b. Multitouch-Events oder Gesten genutzt werden. In der für die Studie eingesetzten Umsetzung war kein Multitouch-Input möglich. Jedoch wurde während der Probephase auch eine Variation dieses Konzeptes getestet, die es dem Nutzer erlaubte, der Zoom-Mittelpunkt mittels Berührung selbst festzulegen. Dabei setzte der Nutzer seinen Finger auf einen bestimmten Punkt im Informationsraum und das räumliche Zoomen bewirkte fortan eine Vergößerung um diesen Punkt herum. Es wurde jedoch entschieden, diese Variante in der Studie nicht einzusetzen, da sie als schwerer erlernbar eingestuft wurde. Dieses Modul übergibt dem Darstellungsmodul den Mittelpunkt des Informationssauschnittes und den Vergößerungsfaktor des Informationsraumes.

4.4.4 Darstellungsmodul: Visualisierung & Lösung des Speicherproblems

Dieses Modul ist für die Darstellung des Ausschnittes aus dem Informationsraum zuständig. Die Darstellung wird dabei so oft wie möglich gemäß den Angaben vom Interaktionsmappingmodul aktualisiert. Das Darstellungsmodul ist das rechen- und speicheraufwendigste der Module. Wenn das Szenario komplett geladen wurde, konnte man gelegentliche Performanceeinbrüche bis hin zu Systemabstürzen feststellen, was zum Anlass genommen wurde, eine intelligente und speichereffiziente Darstellung umzusetzen. Zu diesem Zweck wurde die Idee des Space Scale Diagrams erneut aufgegriffen. Je nachdem in welcher Zoomstufe sich der Nutzer gerade befindet, wird ein Ausschnitt des Szenarios (bzw. das gesamte Szenario) in einer bestimmten Auflösung benötigt. Wenn ein Benutzer weit rauszoomt, muss der Ausschnitt nicht in voller Auflösung geladen werden, da die Auflösung des Displays es gar nicht ermöglicht, den vollen Informationsumfang darzustellen. Wenn ein Benutzer weit reinzoomt, benötigt er lediglich den Ausschnitt, den er in hoher Qualität betrachtet, nicht aber das ganze Bild. Somit wurden bei den geringen Vergrößerungsstufen Thumbnails geladen, die eine Qualität besaßen, dass sie die Auflösung des Displays ausnutzten. Bei hohen Vergrößerungsstufen wurde das Szenario in quadratische Kacheln unterteilt. Gehört ein Teil oder die gesamte Kachel zu dem sichtbaren Ausschnitt des Szenarios, wurde sie in voller Qualität geladen. Nicht mehr betrachtete Kacheln oder Thumbnails wurden aus dem Speicher gelöscht. In der finalen Version kamen drei Thumbnaillayer und ein Kachellayer zum Einsatz. Die Anzahl der Thumbnaillayer ist aber frei festlegbar. Es ist jedoch ratsam, nicht zu viele Layer zu verwenden, da auch das Laden eines Layers geringe Verzögerungen der Interaktion verursachen kann, weil auf dem iPhone4 kein echtes Multithreading möglich ist.

5 Ergebnisse

Die erhobenen Daten (objektiv und subjektiv) wurden gemäß der in Kap. 3 formulierten Hypothesen mit repeated measurement ANOVAs (dreifaktoriell; within-factor: Interaktion, between-factors: Interaktionsgerät, Geschlecht) ausgewertet. Für alle ANOVAs wurde der within-factor Greenhouse-Geisser korrigiert und ein Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ zugrunde gelegt. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 20.0 für MacOSX.

5.1 Leistungsdatenanalyse

5.1.1 Hypothese H1: Effekt der Interaktionstechnik für Zoomaufgaben

Um diese Hypothese zu überprüfen, ist es notwendig die Performancedaten der reinen Zoomaufgaben in Tabelle 5.1 zu betrachten. Es lässt sich bei Betrachtung der Mittelwerte für die räumliche Technik \bar{t}_r und der Touch Technik \bar{t}_t feststellen, dass die räumliche Technik hier nur für die starke Verkleinerung (x0.5) bzw. Vergrößerungen (x2.0) signifikant schneller war. Für kleine Vergrößerungen (x1.43) und Verkleinerungen (x0.7) gab es keine signifikanten Performanceunterschiede, obwohl die räumliche Technik trotzdem durchschnittlich besser war. Die Hypothese konnte somit nicht belegt werden, obwohl mit der räumlichen Technik im Mittel bessere Leistungen erzielt wurden.

Tabelle 5.1: Zeitmessung der Zoomaufgaben ohne Translation.

	Räumlich		Touch		F	p	η^2
	\bar{t}_r	σ_r	\bar{t}_t	σ_t			
Zoom in (x2)	1.663	0.922	2.454	1.887	73.070	0.011	0.173
Zoom out (x0.5)	1.844	0.501	2.732	1.326	130.270	0.001	0.271
Zoom in (x1.43)	1.512	0.567	1.622	0.926	0.922	n.s.	
Zoom out(x0.7)	1.576	0.715	1.760	1.271	0.554	n.s.	

5.1.2 Hypothese H2: Effekt der Interaktionstechnik für Pannenaufgaben

Für die Überprüfung dieser Hypothese sind sämtliche Performancedaten relevant, die sich auf einen sichtbaren Zielreiz ohne notwendige Zoomanpassung beziehen, also jeweils die letzte Zeile "*no Zoom*" für jeden Richtung des Pannens in Tabelle 5.3. Betrachtet man die Werte (\bar{t}_r, \bar{t}_t) , erkennt man, dass es kaum signifikante Unterschiede bei der Durchschnittszeit gibt. Somit gibt es keinen Zusammenhang zwischen der verwendeten Technik und der benötigten Zeit für das reine Pannen. Wenn es keinen Zusammenhang gibt, dann weist die Multi-Touch-Technik auch keine signifikant schlechtere Performance auf, was wiederum die Hypothese belegt.

5.1.3 Hypothese H3: Effekt der Interaktionstechnik für Suchaufgaben

Suchaufgaben sind alle Aufgaben, bei denen der Zielreiz nicht sichtbar ist. Bei Betrachtung von Tabelle 5.2 lässt sich feststellen, dass die Probanden mit der räumlichen Interaktionstechnik durchschnittlich immer schneller war und dieser Unterschied auch jedes Mal signifikant ist. Im Schnitt benötigen die Probanden für die Suchaufgaben mit der Touch-Interaktion 60% Prozent mehr Zeit (8.53 Sek.) als mit der räumlichen Technik (5.30 Sek.). Damit ist die Hypothese verifiziert.

Tabelle 5.2: Messwerte für (Such-)Aufgaben mit nicht sichtbarem Zielreiz.

diagonales Pannen											
Zoom	Räumlich		Touch		F	p	η^2	iPad		iPhone	
	\bar{t}_r	σ_r	\bar{t}_t	σ_t				SE	t_{pad}	SE	t_{phone}
in (x2)	4.985	1.570	8.664	4.118	38.780	0.000	0.526	5.741	0.491	7.928	0.502
out (x0.5)	6.142	1.767	8.794	3.155	28.104	0.000	0.445	6.614	0.381	8.348	0.390
in (x1.43)	5.560	1.391	8.637	3.994	28.849	0.000	0.452	6.008	0.453	8.234	0.463
out(x0.7)	5.714	1.368	8.708	3.204	48.894	0.000	0.583	6.125	0.385	8.354	0.394
no Zoom	5.054	1.689	7.871	3.066	29.500	0.000	0.457	5.456	0.337	7.523	0.345
vertikales Pannen											
in (x2)	4.380	1.393	6.559	2.772	24.616	0.000	0.413	4.787	0.343	6.153	0.350
out (x0.5)	6.265	2.181	8.816	3.632	17.621	0.000	0.335	6.650	0.422	8.471	0.432
in (x1.43)	4.231	1.004	6.815	2.756	38.469	0.000	0.524	4.805	0.307	6.274	0.313
out(x0.7)	4.869	1.313	7.935	3.198	34.853	0.000	0.499	5.672	0.377	7.187	0.386
no Zoom	4.340	1.031	6.923	2.989	31.299	0.000	0.427	4.875	0.322	6.419	0.329
horizontales Pannen											
in (x2)	4.755	1.614	7.084	2.954	28.399	0.000	0.448	5.127	0.396	6.689	0.404
out (x0.5)	7.470	3.104	11.121	4.821	24.685	0.000	0.414	8.240	0.692	10.305	0.708
in (x1.43)	4.520	0.987	7.646	3.007	43.575	0.000	0.555	5.619	0.341	6.527	0.348
out(x0.7)	5.585	1.431	9.159	4.240	26.210	0.000	0.428	6.686	0.468	8.053	0.478
no Zoom	4.828	1.136	7.684	3.034	37.342	0.000	0.516	5.546	0.337	6.996	0.345

Tabelle 5.3: Messwerte für Aufgaben mit sichtbarem Zielreiz.

Zoom	diagonales Pannen											
	\bar{t}_r	Räumlich	\bar{t}_t	Touch	F	p	η^2	iPad	iPhone	F	p	η^2
			\bar{t}_{pad}	SE	\bar{t}_{phone}	SE						
in (x2)	2.545	0.648	4.085	1.740	28.702	0.000	0.451	3.210	0.217	3.412	0.222	0.427
out (x0.5)	2.355	1.076	4.196	1.990	22.060	0.000	0.387	3.026	0.231	3.536	0.236	n.s.
in (x1.43)	1.788	0.515	3.291	1.503	43.317	0.000	0.553	2.296	0.177	2.788	0.181	3.805
out(x0.7)	2.455	0.724	4.071	2.180	22.019	0.000	0.386	3.115	0.284	3.416	0.290	n.s.
no Zoom	2.010	0.697	2.021	1.370	0.001	n.s.	1.865	0.186	2.152	0.190	1.160	n.s.
vertikales Pannen												
in (x2)	2.115	1.454	3.410	1.627	16.026	0.000	0.314	2.820	0.257	2.668	0.263	0.170
out (x0.5)	2.372	0.589	4.065	1.995	27.703	0.000	0.442	3.228	0.244	3.228	0.250	n.s.
in (x1.43)	1.890	0.532	3.440	1.336	54.805	0.000	0.610	2.488	0.176	2.818	0.180	1.725
out(x0.7)	2.046	0.581	4.036	2.944	18.873	0.000	0.350	3.004	0.367	3.096	0.375	n.s.
no Zoom	2.091	0.864	1.806	0.727	27.260	n.s.	1.771	0.124	2.127	0.126	4.053	n.s.
horizontales Pannen												
in (x2)	1.698	0.441	3.530	1.434	62.637	0.000	0.642	2.443	0.163	2.765	0.166	1.917
out (x0.5)	2.107	0.426	3.806	1.828	33.210	0.000	0.487	2.928	0.212	2.993	0.217	0.046
in (x1.43)	1.547	0.501	3.414	1.963	37.707	0.000	0.519	2.224	0.232	2.734	0.237	2.354
out(x0.7)	1.902	0.534	3.503	2.158	20.121	0.000	0.365	2.702	0.259	2.714	0.265	0.001
no Zoom	1.719	0.598	2.086	1.371	26.730	n.s.	1.631	0.159	2.189	0.163	5.990	0.020
											0.146	

5.1.4 Hypothese H4: Effekt der Pan-Richtungen bei der räumlichen Technik

Tabelle 5.4: Durchschnittszeiten der verschiedenen Pan-Richtungen.

Räumlich	horizontal		vertikal		F	p	η^2
	\bar{t}_h	σ_h	\bar{t}_v	σ_v			
ohne Zoom	1.720	0.600	2.090	0.864	9.584	0.004	0.215
mit Zoom	1.814	0.383	2.106	50.000	57.213	0.000	0.620

Wie in Tabelle 5.4 zu dargestellt ist, ist das horizontale Pannen tatsächlich signifikant schneller ($\bar{t}_h < \bar{t}_v$). Parallel zu dem horizontalen und dem vertikalem Pannen wurden auch die Performance des diagonalen Pannens mit ausgewertet. Hierbei bestand die Vermutung, dass $\bar{t}_h < \bar{t}_d < \bar{t}_v$ gilt, da angenommen wurde, dass die diagonale Pan-Richtung als Kombination von horizontalem und diagonalem Pannen gesehen werden kann. Jedoch unterstützen die Messwerte diese Vermutung nicht. Dennoch ist die Hypothese als belegt anzusehen, da die diagonale Scrollrichtung nicht explizit Teil der Hypothese war.

5.1.5 Hypothese H5: Effekt der Pan-Richtung bei Touch

Ähnlich wie bei der Hypothese H4 wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Pan-Richtung und der zeitlichen Performance bei der Touch-Interaktion gibt. Jedoch ergaben sich bei der Auswertung keine signifikanten Effekte, weshalb die Hypothese zurückgewiesen werden muss¹.

5.1.6 Hypothese H6: Effekt der Bildschirmgrößen

Um diese Hypothese zu untersuchen, müssen wir die Spalte iPad und iPhone in Tabelle 5.2 und 5.3 betrachten. Hierbei lässt sich schnell erkennen, dass in Tabelle 5.2 für jede Richtung und jede Zoomstufe $\bar{t}_{pad} < \bar{t}_{phone}$ gilt. Dieser Unterschied ist auch außer in einem Außnahmefall (Abschnitt "horizontales Pannen", Zeile "SZoom in (x1.43)") signifikant. Betrachtet man nun die Mittelwerte \bar{t}_{pad} und \bar{t}_{phone} für die Bearbeitung der Aufgaben mit sichtbarem Zielreiz in Tabelle 5.3, stellt man fest, dass auch hier in den meisten Fällen $\bar{t}_{pad} < \bar{t}_{phone}$ gilt. Allerdings sind die zeitlichen Unterschiede nicht

¹Auf die Abbildung von durchweg nicht signifikanten Ergebnissen wurde aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet.

signifikant, um einen Zusammenhang zwischen zeitlicher Performance und Bildschirmgröße für Aufgaben mit sichtbarem Zielreiz herzustellen. Aus diesem Grund ist die ursprüngliche Hypothese nicht haltbar, da sie nur für einen Teil der Aufgaben gilt.

5.1.7 Geschlechtereffekt

Tabelle 5.5: Geschlechterunterschiede für (Such-) Aufgaben mit nicht sichtbarem Zielreiz.

Zoom	Männlich		Weiblich		F	p	η^2
	\bar{t}_m	σ_m	\bar{t}_w	σ_w			
in (x2)	5.966	0.502	7.703	0.491	6.113	0.018	0.149
out (x0.5)	6.638	0.390	8.324	0.381	9.558	0.004	0.215
in (x1.43)	6.442	0.463	7.800	0.453	4.386	0.044	0.111
out(x0.7)	6.685	0.394	7.794	0.385	4.150	0.049	0.106
no Zoom	5.810	0.345	7.169	0.337	7.945	0.008	0.185
vertikales Pannen							
in (x2)	5.309	0.404	6.507	0.396	4.482	0.041	0.114
out (x0.5)	7.979	0.708	10.566	0.692	6.831	0.013	0.163
in (x1.43)	5.368	0.348	6.778	0.341	8.367	0.007	0.193
out(x0.7)	6.384	0.478	8.355	0.468	8.685	0.006	0.199
no Zoom	5.701	0.345	6.841	0.337	5.584	0.024	0.138
horizontales Pannen							
in (x2)	4.849	0.350	6.091	0.343	6.422	0.016	0.155
out (x0.5)	6.465	0.432	8.656	0.422	13.162	0.001	0.273
in (x1.43)	5.034	0.313	6.045	0.307	5.318	0.027	0.132
out(x0.7)	5.975	0.386	6.884	0.377	2.838	n.s.	
no Zoom	4.975	0.329	6.319	0.322	8.534	0.006	0.196

Es wurde der Einfluss des Geschlechtes auf die zeitliche Performance untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass es keine Effekte zwischen Interaktionstechnik und Geschlecht sowie Bildschirmgröße und Geschlecht gab. Jedoch waren Effekte zwischen Geschlecht und Aufgabentyp zu erkennen. Dabei kam es zu signifikanten Performanceunterschieden bei den Aufgaben mit nicht sichtbarem Zielreiz (Tabelle 5.5). Bei diesem Aufgabentyp waren die Männer bis auf eine Ausnahme (Abschnitt "horizontales Pannen", Zeile *SZoom out (x0.7)*) immer signifikant schneller als die Frauen. Bei den Aufgaben mit sichtbarem Zielreiz (Tabelle 5.6) waren die Männer bis auf eine Ausnahme (Abschnitt "horizontales Pannen", Zeile *SZoom out (x0.7)*) ebenfalls immer schneller als die Frauen, jedoch war

die Differenz nur in wenigen Fällen groß genug, um hier einen statistisch begründbaren Zusammenhang zwischen Geschlecht und zeitlicher Performance herzustellen.

Tabelle 5.6: Geschlechterunterschiede bei Aufgaben mit sichtbarem Zielreiz.

diagonales Pannen							
Zoom	Männlich		Weiblich		F	p	η^2
	\bar{t}_m	σ_m	\bar{t}_w	σ_w			
in (x2)	3.153	0.222	3.469	0.217	1.036	n.s.	
out (x0.5)	2.895	0.236	3.666	0.231	5.435	0.026	0.134
in (x1.43)	2.207	0.181	2.876	0.177	7.018	0.012	0.167
out(x0.7)	3.028	0.290	3.504	0.284	1.377	n.s.	
no Zoom	1.810	0.190	2.208	0.186	2.235	n.s.	
vertikales Pannen							
in (x2)	2.278	0.166	2.930	0.163	7.859	0.008	0.183
out (x0.5)	2.677	0.217	3.243	0.212	3.487	n.s.	
in (x1.43)	2.119	0.237	2.839	0.232	4.720	0.037	0.119
out(x0.7)	2.454	0.265	2.962	0.259	1.888	n.s.	
no Zoom	1.637	0.163	2.183	0.159	5.734	0.022	0.141
horizontales Pannen							
in (x2)	2.381	0.263	3.106	0.257	3.880	n.s.	
out (x0.5)	3.209	0.250	3.246	0.244	0.011	n.s.	
in (x1.43)	2.539	0.180	2.767	0.176	0.825	n.s.	
out(x0.7)	2.799	0.375	3.301	0.367	0.914	n.s.	
no Zoom	1.750	0.126	2.148	0.124	5.045	0.031	0.126
nur Zoom							
in (x2)	2.017	0.237	2.111	0.232	0.079	n.s.	
out (x0.5)	2.070	0.156	2.487	0.152	3.663	n.s.	
in (x1.43)	1.582	0.136	1.543	0.133	0.041	n.s.	
out(x0.7)	1.640	0.170	1.692	0.166	0.048	n.s.	

5.2 Subjektive Ergebnisse aus Selbstauskünften

5.2.1 H7: Qualitative Einschätzung der Techniken durch die Probanden

Die Ergebnisse aus dem Fragebogen sind in Abbildung 5.1 dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Einfachheit des Erlernens, die Funktionalität, die Einprägsamkeit, das horizontale und vertikale Pannen in etwa gleich eingeschätzt wurde,

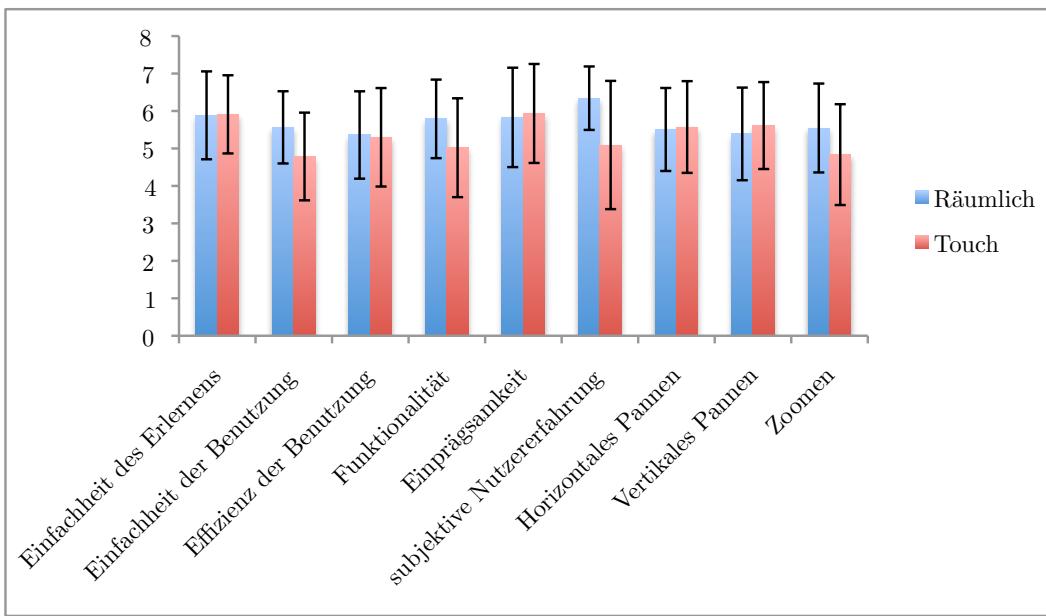


Abbildung 5.1: Ergebnisse des Fragebogens.

da für diese Kriterien keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung vorliegen. Die Einfachheit der Benutzung ($F = 10.788, p = 0.002, \eta^2 = 0.241$) die Effizienz der Benutzung ($F = 9.418, p = 0.004, \eta^2 = 0.217$), die subjektive Nutzererfahrung ($F = 16.084, p = 0.000, \eta^2 = 0.321$) und das Zoomen ($F = 7.624, p = 0.009, \eta^2 = 0.009$) wurden für die räumliche Interaktionstechnik signifikant besser beurteilt. Somit wurde jedes gefragte Kriterium bei der räumlichen Interaktion etwa gleich gut oder besser beurteilt als bei der Touch-Technik, was die Hypothese bestätigt.

5.2.2 Einstellung zur Nachsetzentechnik

Der Fragebogen enthielt auch drei Fragen zur Einstellung der Probanden zur Nachsetzentechnik der räumlichen Interaktion. Hierbei fanden wir heraus, dass die Probanden dieser Technik gegenüber moderat positiv wenn auch nicht sehr positiv eingestellt waren ($M=4.745, SD=1.181$).

5.3 Beobachtete Einflussfaktoren

Wie im Ablaufplan beschrieben, wurden die Probanden von dem Versuchsleiter beobachtet. Dieser notierte sich Auffälligkeiten zu jedem Probanden. Im Folgenden sind die

am häufigsten aufgetretenen Beobachtungen beschrieben:

5.3.1 Beobachtungen bei der Verwendung der Multi-Touch-Interaktionstechnik

Falsches Mapping für die Zoomrichtung

In 26 von 39 Fällen (66,66%) kam es dazu, dass die Probanden das Mapping der Pinch-Geste nicht verinnerlichten und somit fälschlicherweise eine zusammenschiebende Pinch-Geste anwanden, wenn sie Inhalte vergrößern wollten und eine auseinanderschiebende Pinch-Geste benutzten, wenn sie Inhalte verkleinern wollten. Da eine durchgehende Beobachtung nicht möglich war, wurden Schätzwerte notiert, wie häufig dieser Effekt bei den einzelnen Probanden auftrat um Rückschlüsse zu ermöglichen, wie viel Zeit die Teilnehmer durch das vertauschte Mapping verloren haben. In sechs Fällen trat der Effekt bei mindestens der Hälfte der Aufgaben auf. In 14 Fällen trat der Effekt bei weniger als der Hälfte aber mehr als einem Drittel der Aufgaben auf. In sechs Fällen trat der Effekt nur gelegentlich, also weniger als einem Drittel der Aufgaben auf und in 13 Fällen wurde er gar nicht beobachtet.

Falsches Mapping für vertikales und horizontales Pannen

In 11 von 39 Fällen (28,20%) bewegten Probanden Inhalte beispielsweise nach links, obwohl sie die Intention hatten, nach links zu navigieren, wofür eine Verschiebung nach rechts notwendig gewesen wäre. Der gleiche Effekt trat auch für die Bewegung von Inhalten nach rechts, oben oder nach unten auf.

Genauigkeit der Gestenerkennung bereitet Probleme

In 11 von 39 Fällen (28,20%) traten Ungenauigkeiten bei der Touchgestenerkennung auf. Davon entfielen 7 Fälle auf das iPhone und 4 Fälle auf das iPad. Am stärksten äußerten sich die Probleme bei der Anwendung der Pinch-Geste. Diese wurde bei den betroffenen Probanden häufig ungenau und in seltenden Fällen gar nicht erkannt. Oft kam es auch dazu, dass der Gestenerkenner die Pan-Geste nicht eindeutig von der Pinch-Geste trennen konnte, beispielsweise wenn der Nutzer anschließend zu einer Pan-Geste einen weiteren Finger auf das Display setzte um mit einer Pinch-Geste fortzufahren. Den Betroffenen fiel die notwendige Korrektur bei der Fehlererkennung einer Pan-Geste leichter als bei der Pinch-Geste.

Sonstige Beobachtungen bei Anwendung der Pinch-Geste

In 2 von 39 Fällen fiel es den Probanden schwer zu beachten, dass der Ort, an dem sie die Pinch-Geste ausführen, den Zoom-Mittelpunkt darstellt, d.h. dass die Inhalte um diesen Punkt herum vergrößert wurden. Führt man eine Pinch-Geste an einem beliebigen Ort aus ohne den Zoom-Mittelpunkt zu berücksichtigen, tritt häufig der Effekt auf, dass sich der Zielreiz entfernt, obwohl man ihn nur vergößern wollte. Die betroffenen Probanden mussten so mindestens eine zusätzliche Pan-Geste ausführen um ihr Ziel zu erreichen. Eine interessante Beobachtung hierbei ist, dass dieser Fall besonders stark bei einem Probanden mit Multi-Touch- Trackpad Erfahrung auftrat, bei dem kein Zoom-Mittelpunkt beachtet werden muss, wenn die Pinch-Geste ausgeführt wird. Des weiteren lies sich häufig beobachten, dass einige Probanden die Pinch-Geste auch mehrfach zum Pannen verwendeten. Allerdings war auch erkennbar, das in diesem Zuge die Genauigkeit des Pannens schlechter war. Es wurde nicht zu jedem Probanden protokolliert, mit welchen Fingern die Pinch-Geste ausgeführt wurde, jedoch lässt sich anmerken das auf dem iPad die Pinch-Geste mit Daumen und Zeigefinger am häufigsten eingesetzt wurde. Alternativ dazu benutzten einige Probanden den Zeige- und Ringfinger. Auf dem iPhone etablierte sich noch eine dritte recht häufig verwendete Alternative: der Pinch mit zwei Daumen.

5.3.2 Beobachtungen bei der räumlichen Interaktionstechnik

Nachsetzen Technik wird sehr selten angewendet

In 8 von 39 Fällen (20,51%) nutzen die Testpersonen die Nachsetzentechnik sehr selten bis gar nicht. Stattdessen machten sie eher ausladende Bewegungen mit den Armen, in machen Fällen auch mit dem ganzen Körper. Auf die Nachfrage hin, warum sie die Technik so selten anwandten, ergaben sich folgende Gründe:

- Vergessen: In vielen Situation waren sich die Probanden nicht bewusst, dass sie die Nachsetzentechnik hätten anwenden können.
- Zu langsam: Die Probanden versprachen sich durch das Verzichten auf die Technik schneller fertig zu werden.
- Zu aufwendig/ anstrengend: Die Technik wurde aus Bequemlichkeit nicht angewandt.
- Nicht intuitiv: Es fiel den Probanden schwer, die Technik zu verstehen und zu verinnerlichen.

Falsches Mapping für die Zoomrichtung

In 6 von 39 Fällen (15,38%) ließ sich beobachten, dass die Probanden das Gerät nicht immer in die korrekte Richtung für das Rein- und Rauszoomen bewegten. Auch hier wurden wieder Schätzwerte notiert: In einem Fall trat der Effekt bei mehr als der Hälfte der Aufgaben auf, in drei Fällen trat der Effekt bei weniger als der Hälfte jedoch bei mehr als einem Drittel der Aufgaben auf. In zwei Fällen trat er bei weniger als der Hälfte der Aufgaben auf und bei den restlichen 33 Fällen war er nicht zu beobachten.

Falsches Mapping für vertikales und horizontales Bewegung

In 6 von 39 Fällen (15,38%) steuerten das Display nach rechts, wenn sie Inhalte zu ihrer Linken sehen wollten. Analog trat dieser Effekt auch für Inhalte auf, die sich zu ihrer Linken oder oben bzw. unterhalb des aktuellen Ausschnittes befanden. Drei Probanden, die das vertikal und horizontael Mapping nicht immer richtig anwanden, finden sich auch in der vorangegangen Kategorie “Falsche Mapping für Zoomrichtung” wieder.

Fehler durch das Optitrack-System

In 5 von 39 Fällen (12,82%) wurde die Position des Gerätes gänzlich falsch bestimmt, was zu einem für die Testperson unerklärlichem Verhalten des Prototypen führte. In einem solchen Fall wurde der Fehler durch einen Neustart des Systems behoben und der Teilnehmer durfte fortfahren. Die Aufgaben, bei denen ein solcher Fehler auftrat, wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Lerngeschwindigkeit bei der räumlichen Interaktionstechnik

Zu jeder Testperson wurde notiert, wie schnell es ihr möglich war, die räumliche Interaktionstechnik zu erlernen. Dabei ließ sich feststellen, dass lediglich 9 von 39 Probanden eine längere Trainingsphase (über 5 Minuten) benötigten, um die Technik ausreichend sicher zu beherrschen. In allen übrigen Fällen waren die Teilnehmer nach weniger als 5 Minuten in der Lage, das Gerät zu bedienen. Bei drei Probanden war keine Lernphase zu erkennen, da diese die Technik vom ersten Moment an sicher und effizient beherrschten.

Anmerkungen durch die Probanden

In mehreren Fällen wünschten die Probanden ein feineres Mapping für die räumliche Interaktionstechnik, d.h. sie wollten eine größere virtuelle Distanz mit derselben physischen Bewegung zurücklegen, um so mit weniger Bewegungen ans Ziel zu kommen. In vielen Fällen äußerten die Probanden schon während der Bearbeitung der Aufgaben, dass sie die räumliche Interaktion bevorzugen, obwohl sie noch nach keiner Einschätzung gefragt worden waren.

6 Diskussion

Die Ergebnisse der Benutzerstudie haben unsere Erwartungen übertroffen. Die räumliche Interaktionstechnik war im Gesamtdurchschnitt für alle Aufgaben 57,4% schneller als die Touch-Technik. Es gab keinen Teilnehmer, der die 128 Aufgaben mit der Touch Technik schneller bewältigte als mit der räumlichen Technik. In diesem Kapitel sollen die aus den Leistungsdaten gewonnenen Erkenntnisse eingeordnet, interpretiert und diskutiert werden.

6.1 Erkenntnisse

Aus den Leistungsdaten und den Hypothesen konnten zahlreiche Erkenntnisse darüber gesammelt werden welche Faktoren einen relevanten Einfluss auf die zeitliche Performance und auf die subjektive Nutzerbewertung haben der beiden Techniken haben.

6.1.1 Interaktion

An den Daten lässt sich erkennen, dass Probanden mit der räumlichen Technik immer dann schneller waren, wenn sich der Zielreiz nicht mehr mit einer einzelnen Pinch oder Pan-Geste erreichen ließ. Das sieht man daran, dass Probanden mit der räumlichen Technik bei nahen Zoom- und Panaufgaben nicht signifikant schneller als mit Touch-Technik waren, was an der Tabelle 5.3 und Hypothese H1 und H2 deutlich wird. Sobald aber der Zielreiz weiter entfernt ist, sind bei der Touch-Interaktion wesentlich mehr Interaktionen nötig als bei der räumlichen Technik, was dazu führt, dass hier mehr Zeit benötigt wird (vgl. Hypothese H3). Die durchschnittliche Anzahl der Interaktionen wurde stichprobenartig für drei verschiedene Aufgaben aus den Logdaten extrahiert (vgl. Tabelle 6.1).

Hier wird sichtbar, dass für die reinen Zoom- oder Panaufgaben bei beiden Techniken nur wenige Interaktionen nötig waren, wobei bei den Suchaufgaben die Touch-Technik wesentlich mehr Interaktionen erforderte. Der Grund dafür ist unter anderem, dass der

Tabelle 6.1: Anzahl der Interaktion für verschiedene Aufgabentypen (Stichprobe).

Aufgabe	Interaktionen Touch		Interaktionen räumlich	
	iPhone	iPad	iPhone	iPad
Nr. 41(reine Pan-Aufgabe)	2.60	1.65	1.00	1.00
Nr. 62 (reine Zoom-Aufgabe)	1.53	2.70	1.07	1.00
Nr. 65 (Suchaufgabe)	12.87	9.30	2.33	1.95

Interaktionsraum, auf dem ein Zoom gemappt wird, bei beiden Techniken unterschiedlich groß ist. Bei der Pinch-Geste entspricht dieser Raum dem Abstand zwischen dem auf dem Touchdisplay platzierten Daumen und Zeigefinger. Bei der räumlichen Technik entspricht dieser Abstand etwa der Distanz zwischen Hüfte und Brustkorb, die der Nutzer bequem mit dem Gerät zurücklegen kann. Diese Distanz ist also ein vielfaches größer, was bedeutet, dass bei der Touch Technik dieselbe Interaktion mehrmals hintereinander ausgeführt werden muss, um dieselbe Distanz zu überwinden. Das Heben und Senken des Gerätes ist motorisch weniger anspruchsvoll als das Spreizen der Finger und ermöglicht eine höhere Genauigkeit. Des Weiteren erlaubt diese Art der Bewegung dem Nutzer seine kinästhetischen Fähigkeiten (siehe [41]) einzusetzen. Das heißt, er ist in der Lage, die Stellung seiner Arme mit einem bestimmten Informationsausschnitt zu assoziieren und diesen als Referenz- oder Orientierungspunkt zu nutzen. Bei dieser Technik ist es außerdem möglich, das Zoomen und Pannen in einer Interaktion zu vereinen, was bei der Touch-Technik nur bedingt möglich ist (siehe Kap. 2). Dies bedeutet bei der Anwendung der Touch-Technik, dass der Nutzer häufig zwischen einer Drag- und einer Pinch-Geste wechselt muss, was eine zeitliche Verzögerung verursacht. Der häufige Wechsel zwischen den beiden Gesten bedeutet auch einen häufigen Wechsel zwischen zwei Metaphern. Dieser Metapherwechsel ist vermutlich auch die Ursache dafür, dass die Nutzer bei der Touch-Technik häufiger die Richtung der Interaktion verwechseln (vgl. Abschnitt 5.3.1 ff.) Solche Fehler müssen des Öfteren auch wiederum mit mehreren Gesten korrigiert werden, was noch einmal die Anzahl der Interaktionen in die Höhe treibt. Unsere hier gesammelten Erkenntnisse stehen im Einklang mit ähnlichen Studien. So wurde die Notwendigkeit des häufigen Nachsetzens bei Anwendung der Touch-Technik bereits in [27] als Problem identifiziert. Hingegen wurde in [15] die Möglichkeit das gleichzeitigen Zoomens und Pannens als Stärke der räumlichen Interaktion herausgestellt. Das Nutzen der Orientierungsfähigkeit von Menschen im dreidimensionalen Raum für die Navigation im Virtuellen wurde ebenfalls bereits in

zahlreichen Publikationen erörtert (vgl. [10, 28, 41]).

6.1.2 Mapping der räumlichen Technik

Die Metapher für die räumlichen Technik scheint eine gute Wahl gewesen zu sein, da die Probanden die Technik schnell erlernten und während der Bearbeitung selten die Interaktionsrichtungen verwechselten. Allerdings bestätigte sich die Hypothese, dass das horizontale Pannen den Probanden einfacher fiel als das vertikale Pannen. Aus diesem Grund bietet es sich an, das Mapping für das vertikaler Pannen noch einmal zu überdenken. Eine besonders attraktive Alternative stellt dabei ein Kreiskoordinatensystem um den Nutzer herum dar. Die Bewegung des Gerätes auf Kreisbahn um den Nutzer herum ist möglicherweise motorisch einfacher. Es wurde bereits in [10] vorgeschlagen und ist in Abbildung 2.8 zu sehen.

Des Weiteren forderte ein Teil der Probanden ein größeres Mapping zwischen dem physischen Raum und dem Informationsraum, d.h. sie wollten eine größere Entfernung in dem Informationsraum mit der gleichen Bewegung zurücklegen. Die Intention, eine möglichst große Entfernung im Informationsforum mit nur einer Bewegung zurückzulegen, lässt sich auch daran erkennen, dass ein Großteil der Probanden häufig auf die Nachsetzentechnik verzichtete. Folglich wäre der Einsatz eines größeren Mappings besonders für fortgeschrittene Nutzer interessant.

6.1.3 Unterschiedliche Bildschirmgrößen

Bei der Auswertung der Effekte für die Bildschirmgrößen stellten wir fest, dass die Probanden immer dann von einem größeren Bildschirm profitieren, wenn der Zielreiz am Anfang der Aufgabe nicht sichtbar war (Suchaufgaben). Für diesen Effekt gibt es zwei Gründe: Zum einen beginnt eine typische Suche mit dem Herauszoomen, um sich einen Überblick zu verschaffen. Diese Phase ist bei den Geräten mit einem größeren Bildschirm meist kürzer, da der Zielreiz eher sichtbar wird. (Dies lässt sich auch am Space-scale diagram erkennen). Zum anderen sieht der Nutzer auf einem größeren Display zu jedem Zeitpunkt mehr Informationen, welche es ihm erlauben, Entscheidungen für die Navigation zu treffen. Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit [12].

Außerdem zeigten Beobachtungen, dass Probanden das iPhone mit der räumlichen Technik eigenhändig benutzen, das iPad hingegen wurde meist mit beiden Händen gehalten. Daran wird die Wechselwirkung zwischen Mobilität und Bildschirmgröße

deutlich.

6.1.4 Einfluss der Geschlechter

Ursprünglich hatten wir die Vermutung, dass Männer mit der räumlichen Interaktionstechnik schneller sein könnten als Frauen. Jedoch stellte sich ein solcher Effekt nicht heraus. Stattdessen zeigte sich, dass Männer im Allgemeinen bei Suchaufgaben unabhängig von der Interaktionstechnik und dem verwendeten Gerät schneller waren als Frauen. Wie bereits in anderen Studien [24, 6] festgestellt, wurde anscheinend Männern eine bessere Orientierungsfähigkeit zugesprochen, was ihnen beim Lösen von Suchaufgaben behilflich ist. Die räumliche Technik eignet sich somit leider nicht, um Geschlechtereffekte auszugleichen.

6.2 Methodenkritik

Im folgenden Abschnitt sollen mögliche Beeinträchtigungen der Aussagekraft der Studie besprochen werden. Es wurden mehrere Effekte beobachtet, die die Zeitmessung negativ beeinflussten und somit die Messwerte verfälschten. Zu jedem Effekt werden die Ursache und der Einfluss auf die ermittelten Leistungsdaten besprochen.

6.2.1 Gelegentlich schlechte Touch-Gesten Erkennung

Die Ursachen der fehlerhaften Erkennung sind nicht bis in letzte Detail geklärt, jedoch ließen sich folgende mögliche Ursachen beobachten:

Verunreinigungen des Displays

Das fehlerhafte Erkennen trat verstärkt auf, nachdem die Probanden schon einige Zeit mit dem Gerät gearbeitet hatten und dadurch das Display mit einem Film von Schweiß und Fett behaftet war. Obwohl dieser Fehler, sobald er bemerkt wurde, sofort behoben wurde, ist davon auszugehen, dass Aufgaben, die vor der Reinigung bearbeitet wurden, womöglich etwas länger gedauert haben, als dies normalerweise der Fall wäre. Geht man davon aus, dass vor der Reinigung vier Aufgaben langsamer gelöst wurden, als das ohne Verunreinigung der Fall gewesen wäre, so sind insgesamt rund 1% aller Zeitmessungen auf dem iPhone von diesem Effekt betroffen. Die Beeinträchtigung durch die Verunreinigung ist als die schwerwiegendste in der gesamten Studie zu betrachten. Durch eine fettabweisende Schutzfolie auf dem Display hätte eine solche Verfälschung

verhindert werden können. Leider wurde diese Problematik bei dem Entwurf der Studie nicht bedacht.

Fingernägel

Bei vier Probandinnen wurden die Probleme durch Fingernägel verursacht. Obwohl ihre Nägel nicht außergewöhnlich lang waren, ließ sich beobachten, dass die Gesten durch den geringen Hautkontakt mit der Oberfläche nicht erkannt wurden. Eine Probandin löste die Komplikation, indem sie die Finger weiter abspreizte. Diese Herangehensweise war ihr bereits durch die Nutzung ihres Smartphones bekannt.

Fingergröße

Bei zwei männlichen Teilnehmern lag die Vermutung nahe, dass die Ungenauigkeit der Gestenerkennung durch deren verhältnismäßig großen Finger bedingt wurde. Zusätzlich zu diesem Effekt klagten die Teilnehmer darüber, dass sie mit ihren Fingern zu viel von dem sichtbaren Inhalt verdecken würden.

Versehentliche Berührung mit dem Daumen

In machen Fällen kam es dazu, dass Probanden versehentlich beim Festhalten des Gerätes den Daumen auf das Display setzten und damit sämtliche Multi-Touchgesten nicht mehr erkannt wurden.

6.2.2 Reine Zoom Aufgaben zu einfach

Die Zoomaufgaben ohne Pannen mit dem Ziel Zoom-Faktor von 0,7 und 1,43 waren zu einfach, da sie sich bereits in der Mitte und sehr nah am Toleranzbereich der Zielerkennung befanden. Meist genügt es das Gerät kurz zu berühren um die Aufgabe zu lösen, was zu Zeitmessungen von unter 1 Sekunde führte. Dieser Entwurfsfehler schmälert die Aussagekraft von H1.

6.2.3 Unterschiedliche Einteilung der Pan-Richtungen in Fragebogen und Aufgabenstellung

Die Fragen im Fragebogen befassten sich lediglich mit dem Pannen in horizontaler und vertikaler Richtung, dabei gab es auch Aufgaben, die explizit das Pannen diagonaler Richtungen erforderte. Für die diagonalen Aufgaben liegt somit kein subjektives Nutzer Feedback vor.

6.3 Design Guidelines

Anhand der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse können Interaktionsdesignempfehlungen formuliert werden:

6.3.1 Wann ist der Einsatz der räumlichen Interaktion lohnend?

Die räumliche Interaktionstechnik bietet sich besonders für Fälle an, bei denen ein großer Informationsraum auf einem mobilen Bildschirm dargestellt werden soll. Die Technik ist besonders nützlich für die optische Suche in diesem großen Informationsraum. Anwendungen wie z.B. Google Earth, bei denen der Nutzer häufig zwischen weit entfernten Teilausschnitten wechselt, dürften von der Technik damit besonders profitieren. Auch für Überwachungsaufgaben könnte sich die Technik anbieten, z.B. eine Verkehrsüberwachung von einem großen geografischen Raum. Dabei muss die Technik aber noch um eine Offscreenvisualisierung erweitert werden, da dem Nutzer sonst ggf. wichtige Ereignisse entgehen. Auch in Fällen, in denen Multi-Touch nicht zur Verfügung steht oder von den Nutzern (z.B. aus Krankheitsgründen) nicht verwendet werden kann, ist die räumliche Interaktionstechnik eine mindestens ebenbürtige Alternative. Darüber hinaus ist es wichtig zu bedenken, dass die räumliche Interaktionstechnik zum einen einen großen Interaktionsraum benötigt, welche unter Umständen nicht immer zur Verfügung steht. Zum anderen ist uns aufgefallen, dass sich Teilnehmer in manchen Fällen über ihr Erscheinungsbild Gedanken machten, während sie diese Technik ausübten. Die Sorge lächerlich auszusehen oder zu viel Aufmerksamkeit zu erregen, kann einen erheblichen Einfluss darauf haben, ob eine Technik im Alltag tatsächlich verwendet wird.

6.3.2 Was ist bei der Implementierung zu beachten?

Auch wenn es möglich ist, eine grobe Implementierung der räumlichen Interaktion innerhalb von wenigen Stunden umzusetzen, dauert die Feinabstimmung erheblich länger. Der hier verwendete Prototyp nahm bei der Entwicklung rund 800h Entwicklungsaufwand in Anspruch. Der Grund, warum in dieser Studie wesentlich signifikantere Ergebnisse zugunsten der räumlichen Interaktion gewonnen wurden als bei vergleichbaren Studien, ist vor allem darin zu sehen, dass die Implementierung mehrere Interaktionen durchlaufen hat und eine sehr genaue Trackingtechnologie zum Einsatz kam. Bevor die Technik für den professionellen Gebrauch eingesetzt wird, muss unbedingt sichergestellt werden, dass die verwendete Sensorik die Position des Gerätes in hoher Frequenz (>5 Hz) und mit ausreichender Genauigkeit (<2 mm) fehlerfrei bestimmen kann. Bei der Festlegung

des Mappings müssen der Anwendungsfall und unter Umständen auch die Vorlieben des Nutzers berücksichtigt werden. Ein feines Mapping eignet sich für Anwendungen, bei denen eine sehr genaue Bewegung notwendig ist. Ein gröberes Mapping hingegen verbessert die Geschwindigkeit der Interaktion ungemein. Wie bei jeder Interaktion ist Feedback [29] ein wichtiger Faktor. Aus diesem Grund muss die Visualisierung der Bewegung prompt erfolgen, was meist eine leistungsfähige Hardware erfordert. Die Kupplung sollte, wenn möglich, durch einen haptische Knopf, Schalter oder druck-sensitiven Rahmen implementiert sein. Wenn kein haptischer Schalter verfügbar ist, muss unbedingt ein visuelles Feeback für das Kuppeln eingebaut werden, damit der Nutzer erkennen kann, wann die Kupplung aktiv ist. Sie muss einen gewissen Aufforderungscharakter ausweisen, damit der Nutzer versteht, dass er diese betätigen muss, um mit der Interaktion zu beginnen. Die räumliche Technik eignet sich nicht für alle Bildschirmgrößen. Ab einer bestimmten Größe bzw. eines bestimmten Gewichtes ist die Mobilität des Gerätes nicht mehr ausreichend, um die räumliche Technik einzusetzen. Eine flexible Haltevorrichtung, wie sie von [40] verwendet wurde, kann zumindest den negativen Einfluss des Gewichtes auf die Mobilität verringern. Auch bei langer kontinuierlicher Interaktion ist das Gewicht des Gerätes in jedem Fall zu bedenken.

7 Abschluss

7.1 Zusammenfassung

Es wurde eine Studie beschrieben, die ein räumliches Interaktionskonzept zum Zoomen und Pannen auf mobilen Endgeräten mit der etablierten Multi-Touch-Technik vergleicht. Diese Studie unterscheidet sich von anderen vergleichbaren Veröffentlichungen, da eine Vielzahl von Einflussfaktoren untersucht wurde. Es kam ein sehr genaues Trackingsystem, ein ausgereiftes Interaktionskonzept und ein leistungsfähiger Prototyp zum Einsatz. Es wurden zahlreiche signifikante Effekte gemessen und diskutiert. Probanden lösten die meisten Aufgaben mit der räumlichen Technik schneller, da sie es ihnen erlaubte, eine größere Distanz im Informationsraum mit nur einer zusammenhängenden Interaktion zu überwinden. Dabei wirkten sich ihre Fähigkeiten und lebenslangen Erfahrungen mit ihrer dreidimensionalen Umwelt ebenfalls positiv auf die Zeitmessung aus. Somit konnte gezeigt werden, dass ich eine solche Interaktion für die Navigation in großen Informationsräumen auf Smartphones und Tablets eignet. Sie ist dabei als Ergänzung oder Alternative zu der bestehenden Touch-Technik zu betrachten. Für den alltäglichen Einsatz Bedarf es noch eines zuverlässigen und portablen Trackingsystems. Die Entwicklung eines solchen Systems und die Erforschung weiterer Nutzungsmöglichkeiten und Variationen der mobilen räumlichen Interaktion sind interessante zukünftige Forschungsgebiete.

7.2 Weiterführende Untersuchungen

7.2.1 Einsatz anderer Trackingtechnologien

Der in [23] beschriebene Trackingansatz mittels Sensorfusion ist wesentlich flexibler und kostengünstiger als das von uns verwendete Tracking. Durchaus interessant ist, ob sich der dort verwendete Trackingansatz auf unseren Prototyp übertragen ließe. Wäre dies möglich, böte es sich an, die Genauigkeit des Trackings und deren Einfluss auf die zeitliche Performance und subjektive Wahrnehmung der Nutzer in einer weiteren Studie zu untersuchen.

7.2.2 Variationen des räumlichen Mappings

In der Studie haben wir uns darauf beschränkt, die zusätzliche Interaktionsdimension (z- Achse) dazu zu nutzen, einen kontinuierlich zoombaren Informationsraum um das Gerät herum zu kreieren. Zudem ist es denkbar interessant, auch die anderen in [36] vorgeschlagenen Nutzungsmöglichkeiten zu explorieren. So könnte man beispielsweise einen Informationsraum aufspannen, welcher der z- Achse entlang mehrere Informationsschichten besitzt, die sichtbar werden, sobald man sich in der entsprechenden Höhe befindet. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit der z-Achse ist die Visualisierung der zeitlichen Veränderung von Daten. So können beispielsweise Filme oder auch statistische Daten betrachtet werden.

7.3 Mögliche Anwendungen für die räumliche Technik

Die räumliche Interaktion könnte in Applikationen, die die gleichzeitige Navigation und Manipulation erfordern, ergänzend zur Touch-Technik zur Anwendung kommen (vgl. Abbildung 1.2 und 1.1). Neben Anwendungen, die große Informationsräume darstellen wie Kartenanwendungen, könnten man auch Anwendungen entwerfen, die gezielt Informationsinhalte und Menüs und Werkzeuge um den Nutzer herum platzieren. Ebenso ließe sich die räumliche Interaktionstechnik für zoombare Benutzeroberflächen wie ZOIL [19] oder Pad++ [2] einsetzen. Bereits während der Studie äußerten sich einige Teilnehmer positiv über das Anwendungspotential der räumlichen Technik für neuartige Spiele. Einige empfanden das Verfolgen der roten Rechtecke selbst als Spiel. Als Inspiration für weitere Nutzungsmöglichkeiten können die Eigenschaften der räumlichen Technik genutzt werden, die sie von anderen Techniken wie der Touch-Technik unterscheiden.

7.4 Danksagung

Danksagung. Ich bedanke mich für die Beratung beim Studiendesign und die SPSS Aufbereitung der gemessenen Zeiten und der subjektiven Daten bei Marcel Martsch. Martin Spindler möchte ich für die Betreuung dieser Arbeit, Mitwirkung bei der Konzeption des Interaktionskonzeptes und des Prototyps danken. Des Weiteren gilt meine Dankbarkeit den Korrekturleserinnen Uta Schüßler, Antonia Weber und Sina Friede. Bei Michael Kunst bedanke ich mich für die Erläuterung mathematischer Probleme und der Teilnahme an zahlreichen Vorstudien und Probeläufen. Ein weiterer

7.4 Danksagung

Dank gilt den insgesamt 47 Probanden, die sich die Zeit genommen haben, unentgeltlich an dem Studienvorhaben dieser Arbeit teilzunehmen.

Literaturverzeichnis

- [1] ALIAKSEYEU, D., IRANI, P., LUCERO, A., AND SUBRAMANIAN, S. Multi-flick: an evaluation of flick-based scrolling techniques for pen interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2008), ACM, pp. 1689–1698.
- [2] BEDERSON, B. B., AND HOLLAN, J. D. Pad++: a zooming graphical interface for exploring alternate interface physics. In *Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology* (1994), ACM, pp. 17–26.
- [3] BORING, S., LEDO, D., CHEN, X. A., MARQUARDT, N., TANG, A., AND GREENBERG, S. The fat thumb: using the thumbs contact size for single-handed mobile interaction. In *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services* (New York, NY, USA, 2012), MobileHCI '12, ACM, pp. 39–48.
- [4] BRADSKI, G. R. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface. Intel Technology Journal Q2, 1998.
- [5] CHAE, M., AND KIM, J. Do size and structure matter to mobile users? an empirical study of the effects of screen size, information structure, and task complexity on user activities with standard web phones. *Behaviour and Information Technology* 23, 3 (2004), 165–181.
- [6] CUTMORE, T., HINE, T., MABERLY, K., LANGFORD, N., AND HAWGOOD, G. Cognitive and gender factors influencing navigation in a virtual environment. *International Journal of Human Computer Studies* 53, 2 (2000), 223 – 249.
- [7] ERIKSSON, E., HANSEN, T. R., AND LYKKE-OLESEN, A. Movement-based interaction in camera spaces: a conceptual framework. *Personal Ubiquitous Comput.* 11 (2007), 621–632.
- [8] ERIKSSON, E., AND KATRINEBJERG, I. Exploring the aesthetics in mixed interaction spaces. In *The 4th Decennial Aarhus Conference. Conference on Critical*

- Computing: between sense and Sensibility, 20 August 2005, Århus Denmark. Position paper to workshop: Aesthetics as Critical Computing.* (2005).
- [9] FAN, M., AND SHI, Y. Pull and push: Proximity-aware user interface for navigating in 3d space using a handheld camera. *Human Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction Lecture Notes in Computer Science* 5612 (2009), 133–140.
 - [10] FITZMAURICE, G. W., ZHAI, S., AND CHIGNELL, M. H. Virtual reality for palmtop computers. *ACM Trans. Inf. Syst.* 11, 3 (July 1993), 197–218.
 - [11] FURNAS, G. W., AND BEDERSON, B. B. Space-scale diagrams: understanding multiscale interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (1995), ACM, pp. 234–241.
 - [12] GUTWIN, C., AND FEDAK, C. Interacting with big interfaces on small screens: a comparison of fisheye, zoom, and panning techniques. In *Proceedings of Graphics Interface 2004* (2004), Canadian Human-Computer Communications Society, pp. 145–152.
 - [13] HANNUKSELA, J., SANGI, P., TURTINEN, M., AND HEIKKILÄ, J. Face tracking for spatially aware mobile user interfaces. In *Proceedings of the 3rd international conference on Image and Signal Processing* (2008), Springer-Verlag, pp. 405–412.
 - [14] HANSEN, T., ERIKSSON, E., AND LYKKE-OLESEN, A. Mixed interaction spaces—a new interaction technique for mobile devices. *Demonstration at UbiComp* (2005).
 - [15] HANSEN, T. R., ERIKSSON, E., AND LYKKE-OLESEN, A. Mixed interaction space - expanding the interaction space with mobile devices. In *People and Computers XIX The Bigger Picture*. Springer London, 2006, pp. 365–380.
 - [16] HARO, A., MORI, K., CAPIN, T., AND WILKINSON, S. Mobile camera-based user interaction. In *Computer Vision in Human-Computer Interaction*. Springer Berlin / Heidelberg, 2005, pp. 79–89.
 - [17] HUA, G., YANG, T.-Y., AND VASIREDDY, S. Peye: Toward a visual motion based perceptual interface for mobile devices. In *Human-Computer Interaction*. Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 39–48.
 - [18] ISHII, H., AND ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems* (1997), ACM, pp. 234–241.

- [19] JETTER, H., KÖNIG, W., GERKEN, J., AND REITERER, H. Zoil - a cross-platform user interface paradigm for personal information management. In *In "Personal Information Management: PIM 2008", CHI 2008 Workshop, April 5-6, 2008* (2008).
- [20] JOHNSON, J. A. A comparison of user interfaces for panning on a touch-controlled display. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (1995), ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp. 218–225.
- [21] JONES, M., MARSDEN, G., MOHD-NASIR, N., BOONE, K., AND BUCHANAN, G. Improving web interaction on small displays. *Computer Networks 31*, 16 (1999), 1129 – 1137.
- [22] JONES, S., JONES, M., MARSDEN, G., PATEL, D., AND COCKBURN, A. An evaluation of integrated zooming and scrolling on small screens. *International Journal of Human-Computer Studies 63* (2005), 271–303.
- [23] JOSHI, N., KAR, A., AND COHEN, M. Looking at you: fused gyro and face tracking for viewing large imagery on mobile devices. In *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems* (2012), ACM, pp. 2211–2220.
- [24] JR., J. M. D., CHANG, E.-L., STRONG, R. A., AND MILUN, R. Spatial ability, navigation strategy, and geographic knowledge among men and women. *Evolution and Human Behavior 19* (1998), 89 – 98.
- [25] JUL, S., AND FURNAS, G. W. Critical zones in desert fog: aids to multiscale navigation. In *Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology* (1998), ACM, pp. 97–106.
- [26] KARLSON, A., BEDERSON, B., AND CONTRERAS-VIDAL, J. Understanding one handed use of mobile devices. *Handbook of research on user interface design and evaluation for mobile technology* (2008), 86–101.
- [27] MALACRIA, S., LECOLINET, E., AND GUIARD, Y. Clutch-free panning and integrated pan-zoom control on touch-sensitive surfaces: the cyclostar approach. In *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems* (2010), ACM, pp. 2615–2624.

- [28] MEHRA, S., WERKHOVEN, P., AND WORRING, M. Navigating on handheld displays: Dynamic versus static peephole navigation. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 13 (2006), 448–457.
- [29] NORMAN, D. *The design of everyday things*. Basic books, 2002.
- [30] PARHI, P., KARLSON, A. K., AND BEDERSON, B. B. Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices. In *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services* (2006), ACM, pp. 203–210.
- [31] RASKIN, J. *The humane interface: new directions for designing interactive systems*. Addison-Wesley Professional, 2000.
- [32] REEVES, B., LANG, A., KIM, E. Y., AND TATAR, D. The effects of screen size and message content on attention and arousal. *Media Psychology* 1, 1 (1999), 49–67.
- [33] ROGERS, Y., SHARP, H., AND PREECE, J. *Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction*. Wiley, 2007.
- [34] SMALL, D., AND ISHII, H. Design of spatially aware graspable displays. In *CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (1997), ACM, pp. 367–368.
- [35] SPINDLER, M., BÜSCHEL, W., AND DACHSELT, R. Towards spatially aware tangible displays for the masses. In *Proceedings of the 2012 AVI workshop on Designing Collaborative Interactive Spaces for e-Creativity, e-Science and e-Learning* (5 2012).
- [36] SPINDLER, M., AND DACHSELT, R. Paperlens: advanced magic lens interaction above the tabletop. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (2009), ACM, p. 7:1.
- [37] SPINDLER, M., AND DACHSELT, R. Die magische dimension: Be-greifbare interaktion auf & über tabletops. *i-com* 11, 2 (8 2012), 5–11.
- [38] SPINDLER, M., MARTSCH, M., AND DACHSELT, R. Going beyond the surface: Studying multi-layer interaction above the tabletop. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems* (5 2012), ACM, pp. 1277–1286.

- [39] SPINDLER, M., TOMINSKI, C., SCHUMANN, H., AND DACHSELT, R. Tangible views for information visualization. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (2010), ACM, pp. 157–166.
- [40] TSANG, M., FITZMAURICE, G. W., KURTENBACH, G., KHAN, A., AND BUXTON, B. Boom chameleon: Simultaneous capture of 3d viewpoint, voice and gesture annotations on a spatially-aware display. In *ACM UIST Symposium on User Interface Software and Technology* (2002), ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp. 111–120.
- [41] ULLMER, B., ISHII, H., AND JACOB, R. J. K. Token+constraint systems for tangible interaction with digital information. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 12, 1 (Mar. 2005), 81–118.
- [42] WEISER, M. The computer for the 21st century. *Scientific American* 265 (1991), 94–104.
- [43] WELLNER, P. Interacting with paper on the digitaldesk. *Commun. ACM* 36, 7 (July 1993), 87–96.
- [44] WIGDOR, D., FORLINES, C., BAUDISCH, P., BARNWELL, J., AND SHEN, C. Lucid touch: a see-through mobile device. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology* (2007), ACM, pp. 269–278.
- [45] YEE, K.-P. Peephole displays: pen interaction on spatially aware handheld computers. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (New York, NY, USA, 2003), CHI ’03, ACM, pp. 1–8.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Interaktion mit nur einer Hand (Quelle: [3])	2
1.2	Verschieben eines Knotens einer Mindmap	3
1.3	Google Maps als Illustration des Modusproblems - http://maps.google.com	3
1.4	Chameleon Prototyp (Quelle: [10]).	6
1.5	Peephole Displays (Quelle: [45])	7
1.6	MIXIS Prototyp (Quelle: [14])	8
1.7	Alternative Touch-Gesten für das Pannen und Zoomen (Quellen: [27, 3])	10
1.8	Lucid touch (Quelle:[44])	11
1.9	PaperLens: Verschiedene Arten von Informationsräumen (Quelle: [36])	11
1.10	PaperLens (Quelle: [36])	12
2.1	Das Konzept des Space-scale diagrams.	14
2.2	Links: Bewegliches Schlüsselloch-Metapher. Rechts Beweglicher Informationsraum-Metapher.	16
2.3	Touchgesten des Touch-Interaktionskonzeptes - alle Grafiken aus: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Multi-touch&oldid=529296758	18
2.4	Mixis Facetracking (Quelle: [14])	21
2.5	Räumliches Pannen.	21
2.6	Räumliches Zoomen.	22
2.7	Notwendigkeit der Anpassung des Space-scale diagrams.	23
2.8	Kugelkoordinatenmapping (Quelle: [45])	25
3.1	Altersverteilung der Teilnehmer.	32
3.2	Interaktionsaufgaben.	33
3.3	Szenariobegrenzungen.	34
3.4	Zusammensetzung der 120 Aufgaben	36
3.5	Verteilung der 128 Aufgaben im Szenario.	37
3.6	Probandin bei der Durchführung der Studie.	39

Abbildungsverzeichnis

3.7	Trackingsystem	42
3.8	Infrarotmarkierungen an den Geräten	42
4.1	FigBez	47
5.1	Ergebnisse des Fragebogens.	57

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Magdeburg, den 8. Januar 2013

Martin Schüßler

Anhang

Aufgaben

0	PAN_UP_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN		64	PAN_UP_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
1	PAN_UP_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		65	PAN_DOWN_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN
2	PAN_UP	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		66	PAN_DOWN_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
3	PAN_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		67	PAN_UP_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
4	PAN_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		68	PAN_UP_LEFT	INVISIBLE	NO_ZOOM
5	PAN_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		69	PAN_UP	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
6	PAN_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		70	PAN_UP_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
7	PAN_DOWN	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		71	PAN_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
8	PAN_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		72	PAN_DOWN	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
9	PAN_UP	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		73	PAN_UP	INVISIBLE	NO_ZOOM
10	PAN_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		74	PAN_DOWN	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN
11	PAN_UP	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		75	PAN_LEFT	VISIBLE	NO_ZOOM
12	PAN_DOWN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		76	PAN_UP	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
13	NO_PAN	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN		77	PAN_UP_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
14	PAN_DOWN	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		78	PAN_DOWN_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
15	PAN_RIGHT	VISIBLE	NO_ZOOM		79	PAN_RIGHT	INVISIBLE	NO_ZOOM
16	PAN_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		80	PAN_DOWN_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
17	PAN_DOWN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		81	NO_PAN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
18	PAN_DOWN_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		82	PAN_DOWN_RIGHT	VISIBLE	NO_ZOOM
19	PAN_UP_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		83	NO_PAN	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
20	PAN_UP_LEFT	VISIBLE	NO_ZOOM		84	PAN_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
21	PAN_UP_RIGHT	VISIBLE	NO_ZOOM		85	PAN_LEFT	INVISIBLE	NO_ZOOM
22	PAN_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		86	PAN_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
23	PAN_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN		87	PAN_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
24	NO_PAN	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		88	PAN_DOWN_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
25	PAN_DOWN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		89	PAN_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
26	PAN_UP_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		90	PAN_UP	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
27	PAN_UP	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		91	PAN_DOWN	INVISIBLE	NO_ZOOM
28	PAN_DOWN_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		92	PAN_RIGHT	INVISIBLE	NO_ZOOM
29	PAN_DOWN_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		93	PAN_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
30	PAN_DOWN	VISIBLE	NO_ZOOM		94	NO_PAN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
31	PAN_DOWN	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN		95	PAN_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
32	PAN_LEFT	VISIBLE	NO_ZOOM		96	PAN_DOWN_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
33	PAN_DOWN_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		97	PAN_DOWN	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
34	PAN_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		98	PAN_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
35	PAN_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		99	PAN_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
36	PAN_UP	VISIBLE	NO_ZOOM		100	PAN_UP_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
37	PAN_UP	INVISIBLE	NO_ZOOM		101	PAN_UP	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
38	PAN_DOWN_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		102	PAN_DOWN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
39	PAN_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		103	PAN_LEFT	INVISIBLE	NO_ZOOM
40	PAN_RIGHT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		104	PAN_UP	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
41	PAN_RIGHT	VISIBLE	NO_ZOOM		105	PAN_DOWN	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
42	PAN_UP	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		106	PAN_UP_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
43	PAN_DOWN_LEFT	VISIBLE	NO_ZOOM		107	PAN_DOWN_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
44	PAN_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		108	PAN_UP	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
45	PAN_UP	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		109	PAN_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
46	PAN_UP	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		110	PAN_DOWN	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
47	PAN_DOWN	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		111	PAN_DOWN_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
48	NO_PAN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		112	PAN_UP_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
49	PAN_DOWN	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		113	PAN_DOWN	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN
50	PAN_DOWN_LEFT	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		114	PAN_UP	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
51	PAN_UP	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		115	PAN_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
52	PAN_UP_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		116	PAN_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
53	PAN_DOWN	VISIBLE	NO_ZOOM		117	PAN_UP_RIGHT	INVISIBLE	NO_ZOOM
54	PAN_DOWN	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		118	PAN_DOWN	INVISIBLE	NO_ZOOM
55	PAN_UP	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		119	PAN_DOWN_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT
56	PAN_LEFT	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN		120	PAN_DOWN_RIGHT	INVISIBLE	NO_ZOOM
57	NO_PAN	VISIBLE	NEAR_ZOOM_OUT		121	PAN_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN
58	PAN_UP_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		122	PAN_RIGHT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN
59	PAN_UP	VISIBLE	NO_ZOOM		123	PAN_UP_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
60	PAN_UP_LEFT	INVISIBLE	NEAR_ZOOM_IN		124	PAN_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN
61	PAN_LEFT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN		125	PAN_DOWN_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_OUT
62	NO_PAN	VISIBLE	FAR_ZOOM_IN		126	PAN_DOWN_LEFT	INVISIBLE	NO_ZOOM
63	PAN_RIGHT	VISIBLE	FAR_ZOOM_OUT		127	PAN_UP_RIGHT	INVISIBLE	FAR_ZOOM_IN

MIZ-Studie Fragebogen

* Required

Probanen-ID *

Probanden Gruppe *

- 1 (iPad Spatial, iPad Touch)
- 2 (iPhone Spatial, iPhone Touch)
- 3 (iPad Touch, iPad Spatial)
- 4 (iPhone Touch, iPhone Spatial)

[Continue »](#)

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

Wurde vom Exp.-Leiter ausgefüllt

MIZ-Studie Fragebogen

* Required

Fragebogen

Dieser Fragebogen enthält eine Reihe von Aussagen. Bitte geben Sie an, inwiefern Sie jeder einzelnen davon zustimmen. Setzen Sie Ihr Kreuz ganz links, wenn die jeweilige Aussage überhaupt nicht auf Sie zutrifft. Je stärker die Aussage auf Sie zutrifft, umso weiter versetzen Sie Ihre Markierung nach rechts.

Wir bitten Sie, jede Aussage aufmerksam zu lesen und den Fragebogen in der vorgegebenen Reihenfolge zu beantworten. Achten Sie bitte darauf, dass Sie jede Aussage bewerten!

Bitte antworten Sie ehrlich und sorgfältig, jedoch ohne lange zu überlegen! Sollten Sie sich bei einer Aussage nicht sicher sein, wählen Sie bitte die Alternative, die noch am ehesten auf Sie zutrifft. Während der Beantwortung werden Sie sicher feststellen, dass sich einige Fragen sehr ähneln. Lassen Sie sich davon nicht verunsichern. Diese Ähnlichkeiten sind beabsichtigt.

Wichtig: Es gibt dabei keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten. Es zählt allein Ihre individuelle Einschätzung oder Meinung.

Bei Fragen oder Problemen können Sie sich jederzeit an den Versuchsleiter wenden.

Sie können mit der Bearbeitung jetzt beginnen.

Ich könnte mit der Technik ohne Einschränkungen eine Stunde durchgängig arbeiten *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Es dauert zu lange, um die Bedienung zu erlernen *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Es war mir ohne Probleme möglich nach oben und nach unten zu navigieren *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich empfand die Interaktionstechnik als körperlich anstrengend *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich empfand die Interaktionstechnik als sehr natürlich *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Beim Reinzoomen oder Rauszoomen habe ich mich häufig nach oben oder unten bewegt obwohl das nicht beabsichtigt war *

bei nach oben und nach Unten ist die Bewegung im Szenario und nicht die Bewegung des eigenen Körpers im echten Raum gemeint

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Folgende Körperteile musste ich in eine unangenehmen Haltung bringen bzw. wiesen Ermüdungserscheinung auf *

- Finger
- Unterarm
- Oberarm
- Ellenbogen
- Schulter
- Schulter(-blätter)
- Nacken
- Rücken
- Handgelenk
- keine
- Other:

Es fiel mir leicht die Inhalte zu verkleinern und zu vergrößern *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Technik arbeitet hinreichend genau, sodass ich bei der Bearbeitung der Aufgaben keine Zeit aufgrund von Ungenauigkeiten verloren habe *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Beim Navigieren nach links bzw. rechts habe ich oft rein- oder rausgezoomt obwohl das nicht beabsichtigt war *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich könnte jetzt auch anderen die Bedienung der Technik erklären *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Bedienung der Technik war sehr einfach *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich habe viel Zeit benötigt, um zu verstehen wie ich das Gerät bedienen kann *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Beim Navigieren nach oben bzw. unten habe ich oft rein- oder rausgezoomt obwohl das nicht beabsichtigt war *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Bedienung war sehr kompliziert *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Mir fallen verschiedene andere Aufgaben ein, für die sich diese Technik empfiehlt *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich musste mich beim Bearbeiten der Aufgaben zu stark auf die Bedienung der Technik konzentrieren *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Es war mir ohne Probleme möglich nach links und rechts zu navigieren *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich kann mir vorstellen die Technik im täglichen Gebrauch (auf Karten, Bilder u.ä.) anzuwenden *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich war in der Lage, die Bedienung der Technik schnell zu verstehen und anzuwenden *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Es fiel mir schwer Ziele, die sich unterhalb oder oberhalb vom Rahmen befanden, zu erreichen *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Zur Navigation im Szenario empfinde ich die Art der Bedienung nützlich *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Es fiel mir schwer Ziele zu erreichen, die sich links und rechts vom Rahmen befanden *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Beim Navigieren nach links bzw. rechts habe ich mich oft nach oben oder unten bewegt obwohl das nicht beabsichtigt war *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Bedienung hat mich überfordert *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Das Reinzoomen und Rauszoomen empfand ich als schwierig *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Mein Arbeitsfluss wurde immer wieder durch Schwierigkeiten bei der Bedienung unterbrochen *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Beim Navigieren nach oben bzw. unten habe ich mich oft nach links oder rechts bewegt obwohl das nicht beabsichtigt war *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Interaktion mit dem Gerät war frustrierend *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich habe beim Bearbeiten der Aufgaben häufig die Orientierung verloren *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Art und Weise wie man mit dem Gerät agieren muss, prägt sich gut in das Gedächtnis ein *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Beim Reinzoomen oder Rauszoomen habe ich mich häufig nach links oder rechts bewegt obwohl das nicht beabsichtigt war *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Das Halten des Displays bereitete mir keine Schwierigkeiten *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Die Interaktion mit dem Gerät hat Spaß gemacht *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Eine ausgiebige Trainingsphase war zum Erlernen der Bedienung nicht nötig *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

In 4 Wochen könnte ich mich bestimmt nicht mehr erinnern, wie die Interaktionstechnik funktioniert und müsste sie erneut erlernen *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Haben sie eben die räumliche oder die Touch Interaktionstechnik verwendet? *

Fragen Sie den Experimentleiter wenn Sie sich nicht sicher sind

- Touch
- Räumlich

[« Back](#) [Continue »](#)

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

Die nächste Seite (Fragen zum Clutching) erschien nur wenn "Räumlich" als die zuletzt verwendete Technik ausgewählt wurde

MIZ-Studie Fragebogen

* Required

Fragen zum Clutching

Die Anwendung der Nachsetzen Technik war einfach *

Nachsetzen: Finger auf das Display, Bewegung ausführen Finger vom Display nehmen, Display bewegen, Finger wieder auf das Display setzen und Bewegung fortsetzen

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich würde eine Interaktionstechnik bevorzugen, die die Nachsetzen Technik nicht erfordert *

Nachsetzen: Finger auf das Display, Bewegung ausführen Finger vom Display nehmen, Display bewegen, Finger wieder auf das Display setzen und Bewegung fortsetzen

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Ich habe immer versucht, das Nachsetzen bei der Bedienung zu umgehen *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

Das Gewicht des Gerätes bereitete mir keine Schwierigkeiten *

1 2 3 4 5 6 7

stimme nicht zu stimme voll und ganz zu

[« Back](#) [Continue »](#)

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

MIZ-Studie Fragebogen

* Required

Druchgangs-Nr

Durchlauf-Nr.*

1: Bisher nur eine Technik ausprobiert 2:Bereits beide Techniken ausprobiert

Durchlauf 1

Durchlauf 2 (es folgen noch einige abschließende Fragen)

[« Back](#)

[Continue »](#)

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

Die nächste Seite des Fragebogens erschien
nur wenn Durchlauf 2 angewählt wurde

MIZ-Studie Fragebogen

* Required

Abschließende Fragen

Wenden Sie sich an den Experimentleiter damit er Ihnen mündlich eine Frage stellen kann *

Ja, ist mir Aufgefallen

[« Back](#)

[Continue »](#)

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)

Es wurde gefragt, ob dem Probanden aufgefallen ist, dass er zwei Mal dieselben 128 Aufgaben bearbeitet hat, in dem Sinne, dass er bei Suchaufgaben noch genau wusste, wo das rote Rechteck zu finden ist. Die Frage wurde mündlich gestellt, weil sie in schriftlicher Form zu oft falsch verstanden wurde und das ohnehin zu mündlichen Fragen führte.