

# Evaluation eines Multitouch-basierten Menüs für Magic Lenses im Vergleich zu klassischen Menüs

---

Stephanie Sara Groß

*21. August 2016*



Technische Universität Dresden

Fakultät Informatik  
Institut für Software- und Multimediatechnik  
Professur für Multimedia-Technologie

Bachelorarbeit

# **Evaluation eines Multitouch-basierten Menüs für Magic Lenses im Vergleich zu klassischen Menüs**

Stephanie Sara Groß

- 1. Gutachter*    **Prof. Dr.-Ing. Raimund Dachsel**  
Fakultät Informatik  
Technische Universität Dresden
- 2. Gutachter*    **Dr. Annett Mitschick**  
Fakultät Informatik  
Technische Universität Dresden
- Betreuer*        Ulrike Kister und Patrick Reipschläger

21. August 2016

**Stephanie Sara Groß**

*Evaluation eines Multitouch-basierten Menüs für Magic Lenses im Vergleich zu klassischen Menüs*

Bachelorarbeit, 21. August 2016

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Raimund Dachsel und Dr. Annett Mitschick

Betreuer: Ulrike Kister und Patrick Reipschläger

**Technische Universität Dresden**

*Professur für Multimedia-Technologie*

Institut für Software- und Multimediatechnik

Fakultät Informatik

Nöthnitzer Straße 46

01187 Dresden

# Zusammenfassung

Die komplexe Analysen großer Datensätze stellt in der Informationsvisualisierung eine zunehmende Herausforderung dar. Mit Hilfe von *Magic Lenses* wird die teilweise unübersichtliche Visualisierung dieser Datensätze lokal manipuliert und vereinfacht. Dabei spielen besonders der Umfang an Filterfunktionen und wie sie verändert werden können eine Rolle. Die Vorteile eines Multitouchdisplays im Vergleich zu herkömmlicher Maus- oder Keyboardinteraktion kommen dabei zum Einsatz. Es treten jedoch stetig Probleme bei der Adaption bisheriger Menüdesigns auf. Da *Magic Lenses* über Menüs parametrisiert werden sollen, stellt sich die Frage welche Menü- und Interaktionsarten besser dazu geeignet sind. In dieser Arbeit wird ein Multitouch-basiertes Kontextmenü für *Magic Lenses* evaluiert. Es befindet sich direkt am Linsenrand und ist kompakt jedoch neuartig. Es wird die Konkurrenzfähigkeit zu einem speziell für die Studie entworfenen und implementierten klassischen, globalen Menü getestet. Dieses ist für Nutzer vertrauter, aber distanziert sich von der Linse. Die Ergebnisse werden anschließend unter quantitativen und qualitativen Punkten zusammengefasst und ausgewertet. Es zeigt sich, dass klassische Menüs mit Touchinteraktion performanter waren. Das Multitouch-basierte Kontextmenü war allerdings bei den Probanden beliebter und wurde für die Arbeit mit Linsen bevorzugt.

## Abstract

The complex analysis of huge data sets is an increasing challenge in information visualization. With the help of *Magic Lenses* the sometimes confusing visualization of those data sets is being locally manipulated and simplified. Especially the amount of filter functions and how they can be altered matter. The advantages of multitouch displays in comparison to conventional mouse and keyboard interaction are used. However, there occur continual problems with the adaption of existing menu designs. Since *Magic Lenses* have to be parameterized with those menus the question arises which kind of menu and interaction are more fitting. In this work we evaluate a multitouch based context menu for *Magic Lenses*. It is located directly at the lens and compact but new to users. We test its competitiveness to a classical global menu specifically designed and implemented for this study. Users are more familiar with it but it is distanced from the lens. Finally, the results are summarized and analyzed under quantitative and qualitative points. It turns out that classical menus with touch interaction performed best. The multitouch-based context menu though was more popular with probands and was preferred for the work with lenses.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ausgangssituation . . . . .	1
1.3	Zielsetzung . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Verwandte Arbeiten</b>	<b>5</b>
2.1	Linsen und Graphen . . . . .	5
2.2	Vergleich von Touch und Maus . . . . .	8
2.2.1	Direkte und Indirekte Eingabe . . . . .	9
2.2.2	Ein- und Beidhändige Interaktion . . . . .	12
2.2.3	Horizontale und vertikale Displays . . . . .	13
2.3	Menüs . . . . .	14
2.3.1	Klassische Menüs . . . . .	14
2.3.2	Multitouch Menüs . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Design des klassischen Menüs</b>	<b>17</b>
3.1	Entwurf . . . . .	17
3.2	Umsetzung . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Studiendurchführung</b>	<b>23</b>
4.1	Apparatus . . . . .	23
4.1.1	Probanden . . . . .	23
4.1.2	Aufbau . . . . .	24
4.2	Methodik . . . . .	27
4.2.1	Design . . . . .	28
4.2.2	Ablauf . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>33</b>
5.1	Quantitative Performance . . . . .	33
5.1.1	Beobachtung . . . . .	34
5.1.2	Auswertung . . . . .	36
5.2	Qualitative Performance . . . . .	38
5.2.1	Beobachtung . . . . .	39
5.2.2	Auswertung . . . . .	42

**6 Schlussfolgerung** 45  
6.1 Fazit . . . . . 45  
6.2 Ausblick . . . . . 47  
**Literatur** 49



# Einleitung

## 1.1 Motivation

*Magic Lenses* [Bie+94] bieten Nutzern bei immer komplexer werdenden Datensätzen eine einfache Möglichkeit eine Visualisierung nach ihren Wünschen anzupassen und so die benötigten Daten hervorzuheben. Tominski et al. schrieben, dass insbesondere für komplexe Analysen großer Datensätze Maus und Keyboard schnell ihr Limit erreichen [Tom+14]. Außerdem machen sie die Notwendigkeit von graphischen User Interfaces (GUI) deutlich, die eine Manipulation von Linsen und ihren Parameterwerten ermöglichen.

Multitouch bietet hierbei eine gute Grundlage für eine direkte Interaktion mit den Linsen. Auf intuitive Weise können so grundlegende Parameter, wie Radius und Position, geändert werden. Für weitere Manipulationen stellt das Multitouch-Kontextmenü am Linsenrand eine geeignete Lösung dar. Zum einen wurde es - im Gegensatz zu bisherigen *Interaktiven Linsen* - speziell für Multitouchinteraktionen entworfen. Zum anderen bietet es durch bessere Erreichbarkeit und direkten Kontextbezug viele Vorteile für große Displays und ist für Multi-User-Anwendungen geeignet.

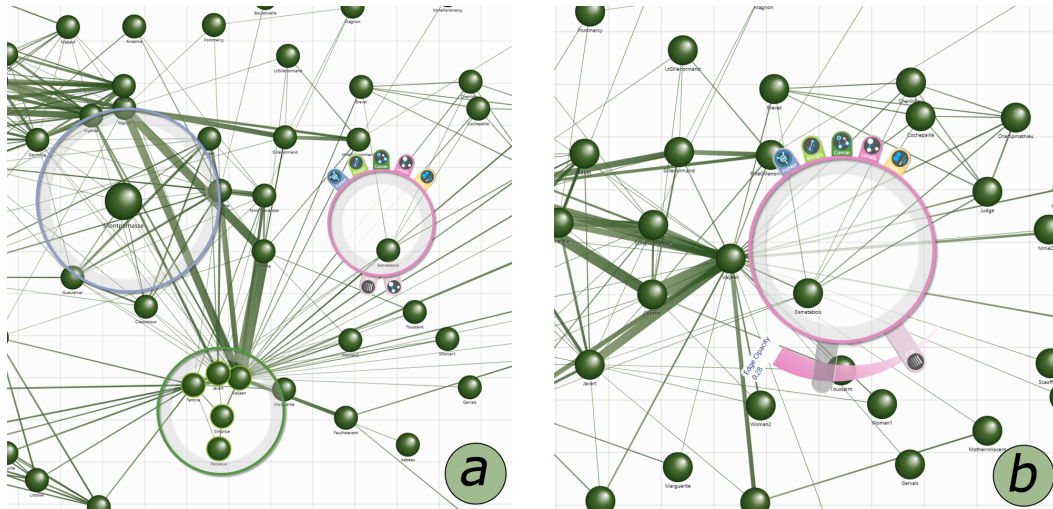
## 1.2 Ausgangssituation

Multitouch als Eingabemodalität hat sich besonders im letzten Jahrzehnt immer mehr durchgesetzt. So findet es auch in der Informationsvisualisierung vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten. Mit Hilfe von *Magic Lenses* und der Option diese mit mehreren Filterfunktionen gleichzeitig einzusetzen, lassen sich so neue Wege beschreiten.

Als Grundlage für diese Arbeit diente ein Prototyp, der bereits *Magic Lenses* inklusive des Multitouch-basierten Menüs am Linsenrand beinhaltete. Auch verschiedene Filterfunktionen waren bereits implementiert und wurden in einer vorangegangenen Publikation präsentiert [Kis+14] (Abb. 1.1). Das Menü, und damit die Möglichkeit Einstellungen an den *Magic Lenses* vorzunehmen, ist dabei von besonderer Bedeutung. Es ist wichtig, dass Nutzer flüssig und effizient Parameter einstellen können.

Außerdem bestanden im Prototypen zusätzliche Funktionen, die jedoch für diese Studie deaktiviert wurden. Sie hätten den Rahmen der Evaluation überschritten oder waren für den angestrebten Vergleich nicht von Relevanz.

Einige dieser Funktionen sind dennoch von Bedeutung für die Interaktion mit den Linsen. Es können beispielsweise mehrere Linsen durch Übereinanderverschieben verbunden werden. Es gibt ein umfangreiches Gesten-Set, über das sich Filterfunktionen aktivieren lassen und es besteht die Möglichkeit, neue Linsen zu erstellen oder diese zu löschen.



**Abb. 1.1:** Ausgangssituation des Prototypen: (a) verschiedene Linsen mit unterschiedlichen Filterfunktionen, eine mit aktivem Kontextmenü, (b) eine Linse während der Bearbeitung eines Parameterwertes

Auf dieser Grundlage wurde eine Evaluation über Interaktions- und Menüart angestrebt, um die Effizienz des neuartigen Multitouch-basierten Kontextmenüs im Gegensatz zu einem klassischen Menü mit Mauseingabe zu testen.

## 1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer vergleichenden Studie. Es soll die Frage geklärt werden, ob das Multitouch-Kontextmenü mit klassischen Menütechniken konkurrieren kann. Dabei wird vor allem die Performance im Sinne von zeitlicher Effizienz und geringen Fehlerraten, aber auch die Präferenzen der Nutzer betrachtet.

Drei verschiedene Kombinationen sollen verglichen werden:

1. klassisches Menü am Displayrand mit Mauseingabe
2. Kontextmenü am Linsenrand mit Toucheingabe
3. klassisches Menü am Displayrand mit Toucheingabe

In Vorbereitung auf die Evaluation muss der bestehende Prototyp erweitert werden, um den Anforderungen der Studie gerecht zu werden. Entsprechend soll ein klassisches Menü für den Vergleich entworfen und umgesetzt werden. Die Designphase und folgende Umsetzung wird in Kapitel drei vorgestellt. Außerdem werden Implementierungen für einen grundlegenden Aufgabenablauf als auch für das Logging der Nutzerinteraktionen benötigt. Diese Themen als auch Design und Ablauf der Studie werden in Kapitel vier behandelt. Im Anschluss erfolgt eine Aufbereitung und Auswertung der erfassten Daten, welche in Kapitel fünf erläutert werden. Schließlich befasst sich Kapitel sechs mit einer abschließenden Schlussfolgerung und einem Ausblick für zukünftige Arbeiten.

Es ist außerdem wichtig, einen Überblick über verwandte Arbeiten in den Bereichen Linsen und Graphen, Studien über den Vergleich von Multitouch- und Mauseingabe sowie Menüs in Multitouchanwendungen zu erlangen. Diese theoretische Arbeit wird im zweiten Kapitel beschrieben.



## Verwandte Arbeiten

Im folgenden Kapitel wird auf Publikationen, die für die Vorbereitung und Durchführung der Vergleichsstudie von Bedeutung sind, eingegangen. Im ersten Abschnitt werden Veröffentlichungen zu Linsen und Graphen zusammengefasst. Diese sind für das grundlegende Verständnis der *Magic Lenses* und deren Funktionalitäten von Bedeutung. Außerdem wird auf die Umsetzung der Visualisierung von Linsen eingegangen.

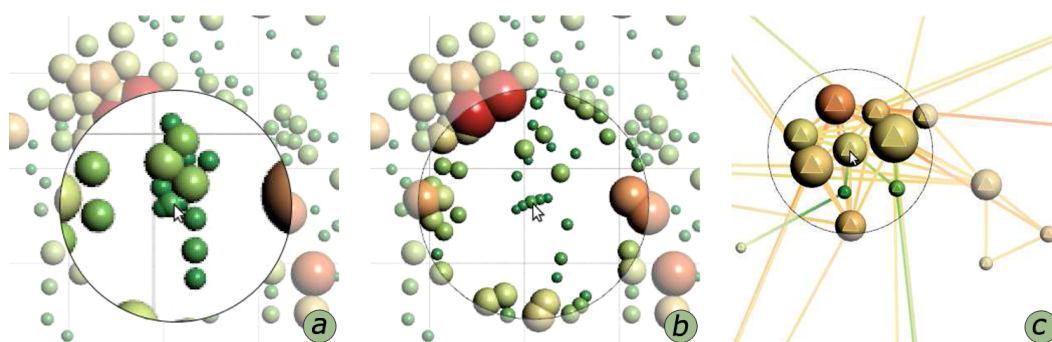
Im zweiten Abschnitt wird auf Vergleichsstudien über Touch- und Mausinteraktion eingegangen. Es werden die Ergebnisse von Studien, die der geplanten Evaluation ähneln, gegenübergestellt. Außerdem zeigt sich, auf welche möglichen Probleme Rücksicht genommen werden muss.

Im dritten Abschnitt werden verschiedene Menüarten und bisherige Adaptionen für Multitouchumgebungen vorgestellt. Dadurch wird eine Grundlage für den folgenden Vergleich der beiden Menüs und ein Überblick über andere Lösungsansätze auf dem Gebiet gestellt.

### 2.1 Linsen und Graphen

Die Vereinfachung der Analyse und Darstellungsmodifizierung von Graphen ist ein Thema, dem sich die Forschung schon lange widmet. Bereits 1994 haben Forscher hierzu Hilfsmittel in Form von *Magic Lenses* entwickelt.

Als *Magic Lens* versteht man einen "graphischen Filter, der eine individuell angepasste Ansicht auf Anwendungsobjekte darstellt" [Bie+94]. So bieten diese speziellen Filter



**Abb. 2.1:** Filterfunktionen an verschiedenen Beispielen: (a) einfache Vergrößerung, (b) *Fisheye* Filter Verzerrung, (c) *LayoutLens* [Tom+14]

die Möglichkeit für kontextbezogenes Feedback und erlauben es, Detail und Kontext simultan anzuzeigen. Dies wird bewirkt, indem das Aussehen der Objekte unter den *Magic Lenses* direkt modifiziert wird.

Tominski et al. definierten später *Interaktive Linsen*. Diese werden als "interaktive, parametrierbare, räumliche Selektion, auf deren Grundlage eine Basisvisualisierung verändert wird" beschrieben [Tom+14]. Dabei kann der Effekt innerhalb als auch außerhalb der Linse Wirkung zeigen. Der Fokus ihrer Veröffentlichung lag jedoch auf Techniken mit einem lokalen Effekt.

Wichtig für *Interaktive Linsen* sind ihre Eigenschaften und wie sie vom Nutzer manipuliert werden können. Dabei zählen Form, Position, Größe und Ausrichtung als grundlegende Standards. Außerdem machen Tominski et al. deutlich, dass aus den Daten und Aufgaben des Nutzers Rückschlüsse auf die anzuwendende Linse gezogen werden können.

Unter den vielen Funktionalitäten von *Interaktiven Linsen*, die von Tominski et al. aufgezählt werden, gibt es einige Beispiele, die für diese Arbeit von Bedeutung sind. Für Daten in Form eines Graphen werden Linsen vorgeschlagen, die die Anzahl der sichtbaren Kanten reduzieren (*EdgeLens* [Won+03]). Außerdem wird für spezialisierte Aufgaben die *LayoutLens* [Tom+09] beschrieben. Sie dient dazu, die visuelle Repräsentation des Graphen neu anzuordnen (Abb. 2.1 (c)).

Die *PushLens* [Sch+10] ist ein weiterer Filter zur Manipulation der visuellen Darstellung des Graphen. Hierbei werden nur Kanten, die zu Knoten innerhalb der Linse führen, unverändert gelassen. Alle anderen Kanten in diesem Bereich werden um die Linse herum geleitet. Es handelt sich also um eine Alternative zur zuvor genannten *EdgeLens*.

Furnas befasste sich bereits in den 1980ern mehrmals mit der Steigerung der Navigationseffizienz als auch mit *Fisheye* Filterfunktionen (Abb. 2.1 (b)). Er fasste dies in einer weiteren Publikation zusammen [Fur06]. Dabei fokussierte er sich vor allem auf die Balance zwischen Fokus und Kontext und ob das *Wie* oder das *Was* in der Umsetzung von Filtern wichtiger ist. Er zeigte, dass *wie* Informationen dargestellt werden nebensächlich ist und das *Was*, und damit das Interesse des Nutzers, ausschlaggebend ist.

Eine weit verbreitete Methode zur gleichzeitigen Darstellung von Kontext und Detail sind *Overview+Detail* Interfaces (Abb. 2.2). Diese bestehen meist aus einer fokussierten Detailansicht und einer getrennten Übersicht.

Der große Unterschied von Linsen zu *Overview+Detail* Interfaces ist, dass es bei Linsen keine räumliche Trennung der Ansichten in x- und y-Richtung gibt. Stattdessen

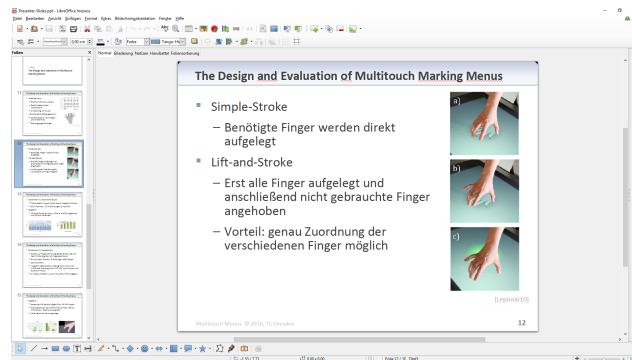


Abb. 2.2: LibreOffice Impress: Beispiel einer Overview+Detail Darstellung

findet im Falle von Zoom-Linsen (Abb. 2.1 (a)) eine Schiebung in z-Richtung statt oder eine gänzlich andere Modifikation der Ansicht [Coc+09].

Die Manipulation der Darstellung eines Graphen kann allerdings auch ohne Linsen geschehen. So haben Schmidt et al. [Sch+10] zusätzlich zu der bereits genannten *PushLens* weitere Techniken vorgestellt, um Graphen direkt über Multitouch zu verändern. Dabei liegt der Fokus auf der Abwandlung von Form und Position der Kanten. Durch einfache Gesten sollen diese vom Nutzer individuell manipuliert werden können. Eine dieser Gesten, das *TouchBinding*, bringt die Kanten mehrerer Knoten zusammen. Dies wird durch eine Trichter-förmige Geste bewirkt (Abb. 2.3).

Die Umsetzung der Visualisierung von Linsen spielt ebenfalls eine große Rolle. Tominski et al. [Tom+14] haben sich dazu an der Visualisierungs-Pipeline von Card et al. orientiert [Car+99] (Abb. 2.4). Die Pipeline beschreibt, wie Daten aus der Quelle über Tabellen und visuelle Abstraktionen zur eigentlichen Ansicht umgewandelt werden. Dieser Ablauf entspricht der Umsetzung einer Linsenfunktion.

Zuerst muss die Filterfunktion ausgewählt werden. Danach wird der Linseneffekt generiert und muss anschließend mit der Basisvisualisierung verbunden werden. Dabei spielt der Zeitpunkt der Verknüpfung eine große Rolle. Wenn dieser an einem

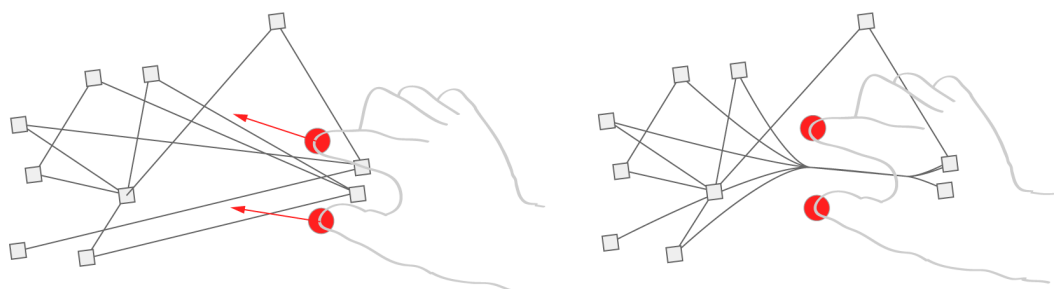


Abb. 2.3: Direkte Manipulation eines Graphen durch *TouchBinding*: Ausführung einer Trichter-förmigen Geste, um mehrere Kanten zu bündeln [Sch+10]

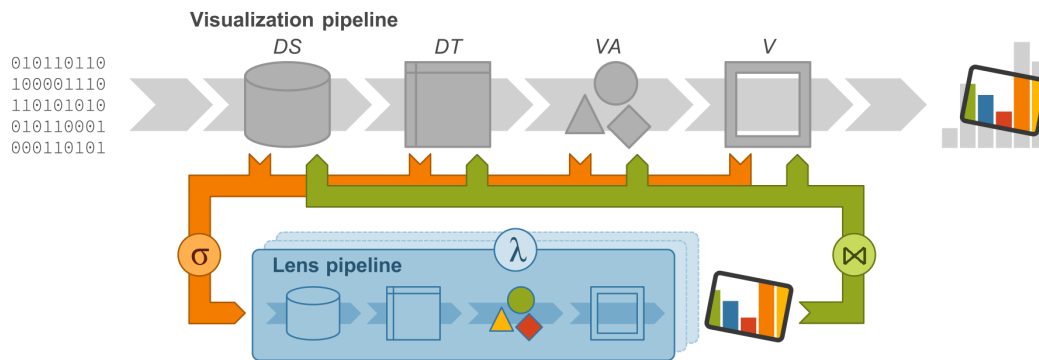


Abb. 2.4: Konzept der Visualisierung einer Linse [Tom+16]

frühen Punkt der Visualisierungs-Pipeline stattfindet, hat die Linsenfunktion mehr Optionen und kann einen größeren Effekt erzeugen.

Sollte man mehrere Funktionen kombinieren wollen, ist zudem die richtige Ausführung der einzelnen Selektionen von Bedeutung, um Konflikte zu vermeiden.

Es wird deutlich, dass in der Vergangenheit eine Vielzahl von Linsenfiltern entwickelt wurde. Viele von den Filterfunktionen, die im Prototypen umgesetzt wurden, finden Vorläufer und verwandte Funktionen in früheren Entwicklungen [Kis+14]. So ist beispielsweise der *BringNeighbors* Filter [Tom+06] eine Abstraktion der zuvor genannten *LayoutLens* und der *LocalEdge* Filter [Tom+06] ist eine Version der *EdgeLens*.

## 2.2 Vergleich von Touch und Maus

Im Folgendem werden einige Studien, die sich mit dem Vergleich von Touch- und Mauseingabe befassen, unter verschiedenen Kriterien zusammengefasst. Dabei liegt der Fokus auf den Ergebnissen der Studien und den Vor- und Nachteilen der Interaktionsarten, die festgestellt wurden.

Im ersten Abschnitt wird auf den allgemeinen Vergleich direkter und indirekter Eingabe eingegangen. Es werden eine Vielzahl von Publikationen gegenübergestellt und die teilweise widersprüchlichen Ergebnisse gezeigt. Der zweite Abschnitt befasst sich mit den Unterschieden von ein- und beidhändiger Eingabe und insbesondere, für welchen Aufgabentyp welche Interaktion besser geeignet ist. Im dritten Abschnitt werden horizontale und vertikale Displays in Bezug auf Touch- und Mauseingabe gegenübergestellt und die jeweiligen Vor- und Nachteile hervorgehoben.



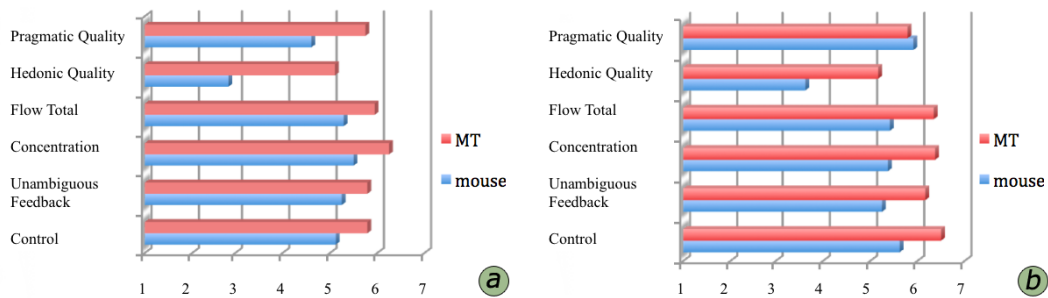
## 2.2.1 Direkte und Indirekte Eingabe

Viele Studien haben sich mit dem Vergleich von Multitouch- und Mauseingabe auseinander gesetzt. So wurden verschiedene Vorzüge hervorgehoben. Insbesondere Touch weist zumeist kürzere Ausführungszeiten auf. Aber auch immer wieder auftretende Nachteile, wie die häufig höheren Fehlerraten, wurden deutlich (Tab.2.1). Viele dieser Vor- und Nachteile lassen sich auf den Unterschied zwischen direkter und indirekter Eingabe zurückführen.

	<b>direkte Eingabe (Touch)</b>	<b>indirekte Eingabe (Maus)</b>
<b>schnellere Ausführungszeit</b>	neuartige Manipulation von Parametern [DK11]	Maus-simulierende Selektion [Mat+09]
	Ziehen eines Knotens und Zoomen [Fin+13]	Ziehen, Zoomen und Panning [Mey+94]
	Auswählen, Ziehen und Platzieren (beidhändig) [For+07]	Auswählen, Ziehen und Platzieren (einhändig) [For+07]
	Navigation in Panning UIs [Jet+12]	Navigation in Zoomen & Panning UIs [Jet+12]
	Selektieren von statischen Zielen [SS91], [Kin+09], [Coc+12], [Kar+86]	Ziehen [Coc+12]
	Selektieren von sich bewegenden Zielen und Andocken von Objekten [LC11] (Abb. 2.5)	
	Nachzeichnen einer Linie [Zab11]	
<b>geringere Fehlerrate</b>	Ziehen eines Knotens und Zoomen [Fin+13]	Ziehen, Zoomen und Panning [Mey+94]
		Auswählen, Ziehen und Platzieren [For+07]
		Nachzeichnen einer Linie [Zab11]
		Selektieren von sich bewegenden Zielen [LC11]
		Selektieren und Ziehen [Coc+12]

**Tab. 2.1:** Einordnung der Studienergebnisse über den Unterschied zwischen Touch- und Mauseingabe

In Tabelle 2.1 sind die Resultate mehrerer Vergleichsstudien zu direkter und indirekter Eingabe gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind dabei teilweise komplett widersprüchlich. Dies lässt sich in manchen Fällen auf das Alter der Veröffentlichungen und den entsprechenden Stand der Technik von Touchgeräten zurückführen. Hauptsächlich sind jedoch die verschiedenen, getesteten Aufgaben der Grund dafür.

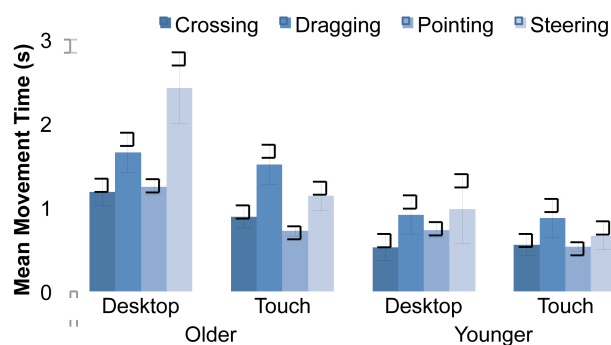


**Abb. 2.5:** Gegenüberstellung der qualitativen Resultate über: (a) Selektion beweglicher Objekte, (b) Andocken von Objekten [LC11]

Erstmals wurde die Computermaus von Doug Engelbart präsentiert und hat ihren Ursprung in den 1960ern [Vil+09]. Seitdem ist sie nahezu unverändert und hat sich auf dem Markt behauptet.

Touch als Eingabeprinzip hat seine ersten Vorreiter in den 1960 und 70ern durch Publikationen wie *Sketchpad* und *PLATO IV Touch Screen* [PD10] (Kapitel 11.1). Einen wirklichen Durchbruch auf dem Markt gab es jedoch erst im Jahr 2007 durch *Apple*.

Im Vergleich steht Touch entsprechend noch in seinen Anfängen und hat nach wie vor viel offenes Potential. Gerade in Bezug auf Fingerfertigkeit und Geschicklichkeit nutzt die Computermaus bei weitem nicht das volle Maß der menschlichen Fähigkeiten aus [Vil+09].



**Abb. 2.6:** Gegenüberstellung der Ausführungszeit von Touch- und Mauseingabe im Vergleich von jüngeren und älteren Erwachsenen [Fin+13]

Es lassen sich zusätzlich zum Geschwindigkeitsvorteil viele weitere Vorzüge von Toucheingabe finden. So stellten Findlater et al. fest, dass durch Touch die Performance-Lücke zwischen jungen und alten Nutzern reduziert wird [Fin+13] (Abb. 2.6). Sie testeten jeweils Touch- und Mauseingabe im Vergleich an Nutzern unterschiedlichen Alters. Es zeigte sich, dass Toucheingabe im Allgemeinen wesentlich schneller war als Mauseingabe. Bei älteren Menschen war der Unterschied besonders groß.

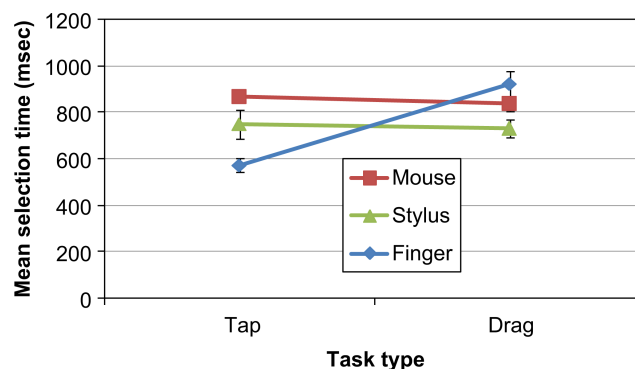
Außerdem wirkt sich Touchinteraktion in Navigationstasks positiv auf die Performance aus, solange es sich um reine Panning-UIs handelt [Jet+12]. Als Panning-UI wird ein Interface verstanden, das nur in und aus dem visualisierten Bereich geschoben werden kann, jedoch über keine zusätzliche Zoom-Funktion verfügt. Kann auch Zoom genutzt werden, hat Mauseingabe die besseren Ergebnisse. Die Ursache dafür ist laut Jetter et al. eine positive Auswirkung von direkter Eingabe auf das räumliche Gedächtnis. Durch Zoomen wird diese allerdings reduziert.

Beheshti et al. konnten in ihrer Studie keine signifikante Auswirkung von direkter Eingabe auf die Navigationsfähigkeit der Nutzer nachweisen [Beh+12]. Die Karte, durch die zu navigieren galt, konnte rotiert und gezoomt werden. Es deckt sich also mit dem Ergebnis von Jetter et al.

Allgemein hilft Nutzern die direkte Interaktion mit dem Display bei der Orientierung und stellt damit einen großen Vorteil von Toucheingabe dar. Hingegen bringt Mausinteraktion immer eine Distanz zwischen Darstellung und eigentlicher Interaktion mit sich, die durch direkte Eingabe ebenfalls aufgehoben wird.

Auch auf Gruppenarbeit wirken sich Touchinteraktionen positiv aus. So fördern sie nachweislich die Zusammenarbeit und das Bewusstsein der Nutzer [Hor+08]. Es kommt allgemein zu mehr Interferenzen als bei gemeinsamer Mauseingabe. Jedoch werden diese schneller gelöst, da Nutzer offener für Kommunikation sind [Hor+08], [MTS08]. Es wurde außerdem gezeigt, dass mehr Nutzer zwar nicht proportional die Performance direkter Eingabe steigern, aber die Genauigkeit pro Nutzer verbessert wird [LC11].

Vor allem aber stellten Forscher immer wieder fest, dass Nutzer mehr Spaß an der Interaktion mit Touchgeräten haben.



**Abb. 2.7:** Vergleich der Ausführungszeiten je Aufgabenart mit Touch, Maus und Stylus [Coc+12]

Nichtsdestotrotz sprechen auch einige Punkte gegen Toucheingabe und somit für die Computermouse.

Eines der größten Probleme von Touch ist die unvermeidliche Verdeckung des Displays durch Hand und Arm. Insbesondere dass es durch den interagierenden Finger selbst verdeckt wird, ist ein großer Nachteil. Die Selektion von Objekten, die kleiner als der eigene Finger sind, wird so zunehmend erschwert [For+07], [PH12], [SS91]. Ursache dafür ist, dass das Ziel komplett verdeckt wird [Coc+12]. Entsprechend steigt die Fehlerrate, je kleiner das Ziel ist. Allgemein wird dies als *fat-finger*-Problem bezeichnet [Voi+09]. Es beschreibt die auftretenden Fehler als Folge von Unterschieden in Druckstärke, Winkel und Fingerform. Diese wirken sich auf die Form und Größe der Berührungsfläche aus und erschweren somit eine exakte Interpretation des gewünschten Interaktionspunktes.

Außerdem haben Cockburn et al. festgestellt, dass Ziehen von Objekten auf Touchgeräten erheblich langsamer ist [Coc+12] (Abb. 2.7). Sie vermuten die Ursache dafür in der erhöhten Reibung bei Toucheingabe.

Benko et al. haben verschiedene Techniken vorgestellt, um die Selektion kleiner Ziele zu erleichtern und Fehler zu reduzieren [Ben+06]. Dabei stellten sie fest, dass eine Vergrößerung des Ziels genügt um der Verdeckung durch Finger hinreichend entgegen zu wirken.

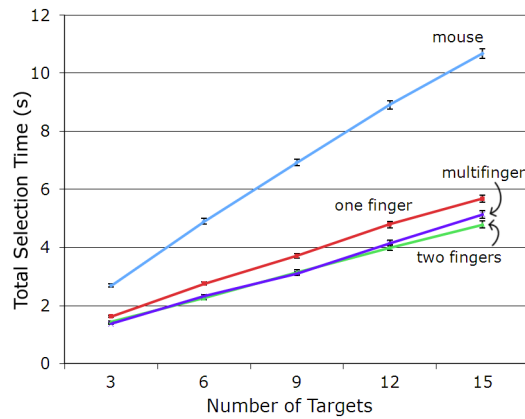
Große Displays bringen zudem das Problem der Erreichbarkeit mit sich [Bai+10]. In Gruppenarbeiten verdecken zusätzlich die Hände und Arme der anderen Nutzer das Display [Hor+08], [MTS08]. Auch das Nutzen mehrerer Finger führt zu einer Vergrößerung der verdeckten Displayfläche [Kin+09].

Ein weiteres Problem bei Zusammenarbeit sind versehentliche Berührungen, die den Nutzern meist sehr unangenehm sind [Hor+08], [MTS08].

## 2.2.2 Ein- und Beidhändige Interaktion

Die Anzahl der Hände und Finger, mit denen man interagiert, hat ebenfalls Auswirkungen auf die Performance. Forlines et al. zeigten, dass Mauseingabe für einhändige und Multitouch für beidhändige Interaktionen bessere Ergebnisse erzielte [For+07]. Sie verglichen dabei die Arbeit mit zwei Mäusen durch einen Nutzer mit beidhändiger Multitouchinteraktion. Dabei wurden die zwei Mäuse symmetrisch zueinander gemappt. Durch den Unterschied zwischen der dominanten und nicht-dominanten Hand sind beidhändige Bewegungen jedoch eher asymmetrisch. Dadurch ist Multitouch hier die intuitivere Interaktion. Bei der Arbeit mit zwei Mäusen gleichzeitig kommt es zudem schnell zur Verwirrung des Nutzers. Insofern es ein angemessenes, visuelles Feedback gibt, erreicht man trotzdem eine gute Performance [BH99].

In einer weiteren Studie wurde die Interaktion von zwei Fingern einer Hand mit der von zwei Fingern an je einer Hand verglichen [MH08]. Es wurde festgestellt, dass



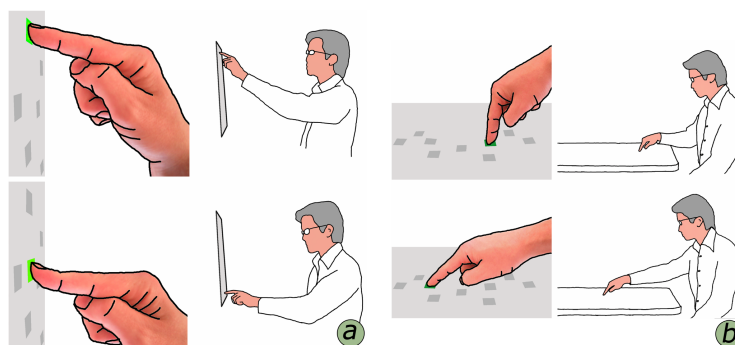
**Abb. 2.8:** Verhältnis der Ausführungszeit zur Anzahl von zu selektierenden Zielen für Maus, Touch und Multitouch [Kin+09]

Interaktionen mit einer Hand besser für integrierende Aufgaben, wie gleichzeitige Rotation und Translation, sind. Für separate Aufgaben eignet sich eher beidhändige Eingabe.

Kin et al. untersuchten zudem den Unterschied zwischen der Interaktion mit einem Finger gegen die mit mehreren Fingern einer Hand [Kin+09] (Abb. 2.8). Dabei wurde deutlich, dass Interaktionen mit nur einem Finger besonders für sequenzielle Aufgaben geeignet sind. Nutzer merken es zudem eher, wenn eine Selektion nicht erfolgreich war. Sie wissen dadurch häufiger, welche Interaktion sie wiederholen müssen. Das Nutzen mehrerer Finger steigert zwar die Geschwindigkeit, jedoch sind bei mehr als zwei Fingern die Fehlerraten sehr hoch.

### 2.2.3 Horizontale und vertikale Displays

Die Orientierung des Displays wirkt sich nachweislich auf Geschwindigkeit und Fehlerrate aus [PH12]. Bei Touchinteraktion geht Tippen schneller auf vertikalen Displays. Ziehen dagegen ist auf horizontalen Oberflächen schneller und fehlerfrei-



**Abb. 2.9:** Unterschiedliche Kontaktfläche des Fingers mit: (a) vertikalem Display, (b) horizontalem Display [For+07]

er. Eine Ursache dafür ist, dass die Kontaktfläche des Fingers sich je nach Winkel und Entfernung ändert. Bei vertikalen Displays bleibt sie allerdings nahezu gleich [For+07] (Abb. 2.9).

Vertikale Displays haben den Vorteil, dass sie auf Tischen weniger Platz einnehmen und so mehr Raum für Maus und Tastatur bleibt. Zudem bieten sie meist einen angenehmeren Blickwinkel. Bei großen horizontale Displays kommt es außerdem zu einer Verzerrung der Perspektive [For+07].

Allerdings wirkt sich besonders längeres Nutzen von vertikalen Displays über direkte Eingabe negativ auf die Genauigkeit aus [Bi+11]. Dadurch, dass der Arm in der Luft schwebt, anstatt auf einer Oberfläche aufliegen zu können, muss der Nutzer mehr Muskeln anspannen. Über längere Zeiträume kommt es dabei zusätzlich zu einer stärkeren Ermüdung des Arms [Bi+11], [Mey+94], [PH12]. Meist bevorzugen Nutzer deshalb horizontale Displays für Toucheingabe.

## 2.3 Menüs

In diesem Abschnitt werden allgemeine Grundlagen zu Menüarten und deren Eigenschaften zusammengefasst. Dabei wird insbesondere auf für die Studie relevante Menüs eingegangen. Im Anschluss werden verschiedene Adaption von Menüs für Multitouchanwendungen vorgestellt und daran Probleme und Herausforderungen hervorgehoben.

### 2.3.1 Klassische Menüs

In den 1980ern gewannen WIMP User Interfaces (Windows, Icon Menu, Pointer) durch *Apple* zunehmend an Popularität und dominieren bis heute viele Benutzerschnittstellen [PD10] (Kapitel 10.1). Entsprechend sind auch Menüs nach wie vor ein wichtiger Teil graphischer User Interfaces.

Es gibt viele verschiedene Menüarten, von denen im Folgenden klassische, globale Menüs und Kontextmenüs genauer betrachtet werden.

Als globales Menü versteht man ein Menü, das sich in fester Position am Rand des Displays befindet. In modernen GUIs variieren globale Menüs, um auch für andere Eingabemodalitäten als Maus und Tastatur geeignet zu sein. Die fixe Position und Anordnung des Menüs bietet Nutzern einen exakten Bezugspunkt. Da es durch einfache Klicks bedient werden kann, ist es außerdem gut auf Multitouchanwendungen übertragbar. Auf großen Displays könnte es allerdings schwer sein das Menü zu erreichen und in Multi-User-Anwendungen sind Konflikte möglich.

Als Kontextmenü bezeichnet man ein Menü, das auf einen bestimmten Kontext

bezogen geöffnet wird. In klassischen GUIs wird es durch einen Rechtsklick mit der Maus oder durch die Menütaste geöffnet. Kontextmenüs haben den Vorteil, lokal angewendet werden zu können und bieten so eine solide Grundlage für die Arbeit an großen Displays und mit mehreren Nutzern. Allerdings muss ein Weg definiert werden, über den das Menü aktiviert wird. Zudem unterstützen aktuelle Betriebssysteme immer nur ein Kontextmenü zur selben Zeit [ZZ14].

Zeng et al. haben daher ein System entworfen, das private Kontextmenüs unterstützt. Diese sind auf den jeweiligen Nutzer bezogen und erlauben so simultanes Arbeiten mehrerer Personen.

Ein wichtiger Punkt in der Interaktion mit Menüs über direkte Eingabe ist, dass unvermeidlich entweder Links- oder Rechtshänder benachteiligt werden [HB04]. Hancock et al. haben daher Platzierungsstrategien für Menüs auf vertikalen und horizontalen Displays entworfen. Genauer schlagen sie vor, auf die Präferenz und Händigkeit des Nutzers einzugehen und ein dynamisch anpassbares Menü zu designen.

### 2.3.2 Multitouch Menüs

Oft werden Lösungsansätze gesucht, um die Vorteile von Menüs auf moderne Post-WIMP Interfaces zu übertragen. So wurden auch für Multitouch neue Menüarten entwickelt. Viele klassische Menüdesigns nutzen nicht das volle Potential von Multitouch und bringen eher Nachteile wie Verdeckung, Ungenauigkeit, Mangel an Shortcuts und Erreichbarkeit mit sich [Bai+10]. Um diese Probleme zu umgehen, wurden viele neue Menüdesigns veröffentlicht.



**Abb. 2.10:** Multitouch *Marking Menu* [Lep+10]

Außerdem wurden sogenannte *Marking Menus* entwickelt [KB93]. Menüpunkte werden hierbei kreisförmig um den Cursor herum angeordnet. Durch Ziehen einer Linie in Richtung des gewünschten Menüpunkts wird dieser ausgewählt. Im Falle

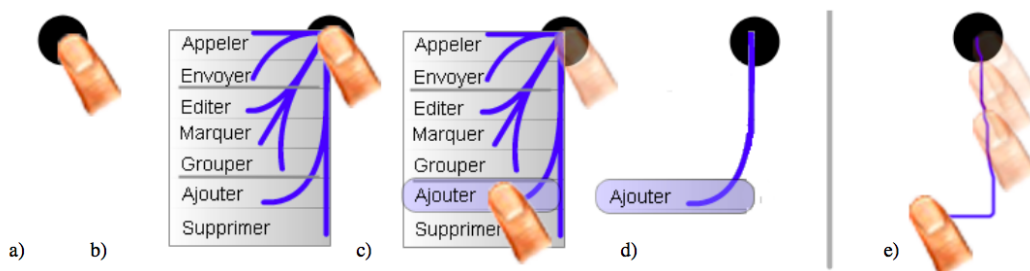
eines hierarchischen *Marking Menu* trifft man seine Auswahl, indem man einem bestimmten Pfad durch das Menü beschreibt. Der Nutzer hat außerdem die Möglichkeit das Menü im Novizen- und Experten-Modus zu bedienen. Der Experten-Modus besteht darin, nicht zu warten bis das Menü angezeigt wird, sondern die Geste direkt auszuführen. Auf diese Weise wird zusätzlich ein Shortcut gestellt und der Lerneffekt dessen unterstützt.

Lepinski et al. haben ein Multitouch *Marking Menu* designt und evaluiert [Lep+10] (Abb. 2.10). Es wird dabei genau geprüft, welche Finger das Display berühren. Über die Kombination von Fingern und eine Linien-Geste in eine bestimmte Richtung werden Menüpunkte ausgewählt.

Das *Flower Menu* ist ein hierarchisches *Marking Menu*, das nicht nur über gerade Linien sondern auch Kurven bedient wird [Bai+08]. Es können dadurch mehr Befehle je Level erreicht und die Arbeit entsprechend schneller ausgeführt werden.

Ein weiterer Ansatz sind die *Finger-Count* und *Radial-Stroke* Shortcuts [Bai+10]. Beide Menüs sind darauf ausgelegt eine Auswahl von Favoriten eines klassischen Menüs über Gesten schneller zu erreichen. Bei *Finger-Count* Shortcuts werden die Finger je Hand, die das Display berühren, gezählt. *Radial-Stroke* Shortcuts werden - ähnlich wie ein *Marking Menu* - über zwei aufeinanderfolgende Linien-Gesten ausgeführt.

Das *Leaf Menu* ist ein Kontextmenü speziell für mobile Multitouchgeräte [Rou+14] (Abb. 2.11). Es bietet Shortcuts über gerade und gebogene Linien-Gesten ähnlich dem *Flower Menu*. Außerdem spiegelt es sich so, dass die Reihenfolge der Menüpunkte vom Kontaktpunkt aus immer gleich ist. Der erste Menüpunkt ist also immer über den kürzesten Weg erreichbar. Auch dieses Design hat einen Novizen- und Experten-Modus.



**Abb. 2.11:** *Leaf Menu* [Rou+14]

Allgemein hat sich für alle Designs gezeigt, dass es einen großen Lerneffekt im Umgang mit den einzelnen Menüs gab, und dass sich viele Nachteile klassischer Menüs in Multitouchumgebungen beheben lassen.



# Design des klassischen Menüs

In Vorbereitung auf die Studie wurde ein globales Menü für den angestrebten Vergleich entworfen und anschließend implementiert. Dieses Menü sollte ein klassisches, globales Menü sein und sowohl mit Maus als auch mit Touch fehlerfrei bedient werden können. Außerdem sollte das Menü möglichst wenig Platz einnehmen, um nicht zu viel des Graphen zu verdecken.

Entsprechend entstanden mehrere Designentwürfe, von denen sechs im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Im Anschluss wird die Entscheidung für ein Design begründet und auf dessen Implementierung eingegangen.

## 3.1 Entwurf

Alle Menüentwürfe beziehen sich auf je eine selektierte Linse in ihrer Darstellung und Funktionsweise. Buttons können je nach Entwurf verschiedene Umsetzungen in Form von Icon-Buttons oder Menüreitern haben. Sie sind entsprechend der Filterfunktion eingefärbt, ebenso wie der Linsenrand. Auf die Zuordnung von Farbe zu Filter wird genauer in 4.1.2 eingegangen.

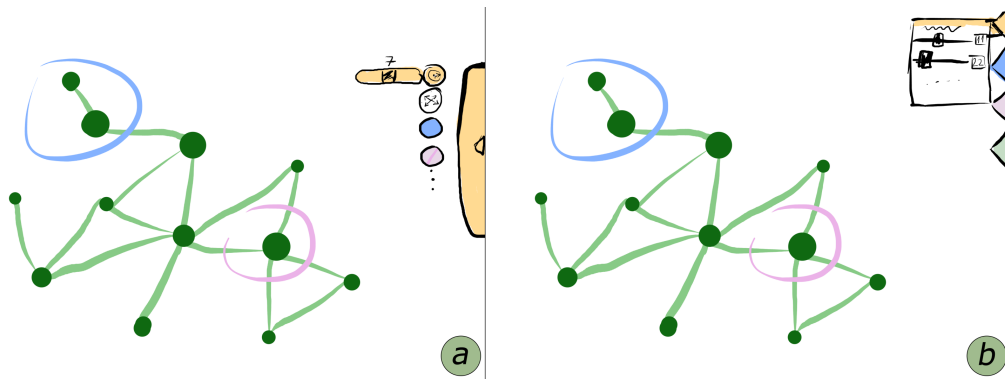
Es wird verbildlicht, welche Filter gerade inaktiv sind, indem diese Buttons ausgegraut sind. Durch Klicken auf das Icon oder eine separate Checkbox in einem Detailmenü lassen sich die Filter (de-)aktivieren. Außerdem sollen alle Buttons ausgegraut sein, wenn gerade keine Linse selektiert ist.

Soweit vorhanden lassen sich Detailmenüs durch Klicken auf einen zugehörigen Button öffnen. Sie enthalten eine Liste aller Parametereinstellungen zu ihrer Filterfunktion. Diese sind über Schieberegler manipulierbar und zeigen rechts daneben den eingestellten Wert an. Im Falle eines separaten Pop-up Menüs steht zusätzlich am oberen Rand der Detailansicht die Filterfunktion in einem farbig hervorgehobenen Bereich. Es ist maximal ein Detailmenü zur selben Zeit sichtbar.

Das erste Menü ist ein ausklappbares Menü am rechten Bildschirmrand, das durch Klicken die runden Icons ein-/ausblendet (Abb. 3.1 (a)). Jedes Icon entspricht dabei einem Parameterwert oder der (De-)Aktivierung einer Filterfunktion. Ausgewählte Icons werden farbig hervorgehoben und blenden gegebenenfalls zusätzliche Schieberegler ein. Bei der Aktivierung eines Filters erscheinen weitere Icons für

die entsprechenden Parametereinstellungen. Bei Deaktivierung werden sie wieder ausgeblendet.

Dieser Entwurf nimmt nur sehr wenig Platz ein und stellt durch gleiche Icons und Farbgebung einen direkten Bezug zum Kontextmenü am Linsenrand her. Allerdings kann das Menü bei sehr vielen Parametern schnell unübersichtlich werden. Zudem ist es ein weniger klassisches Design als für die Studie angestrebt wird.



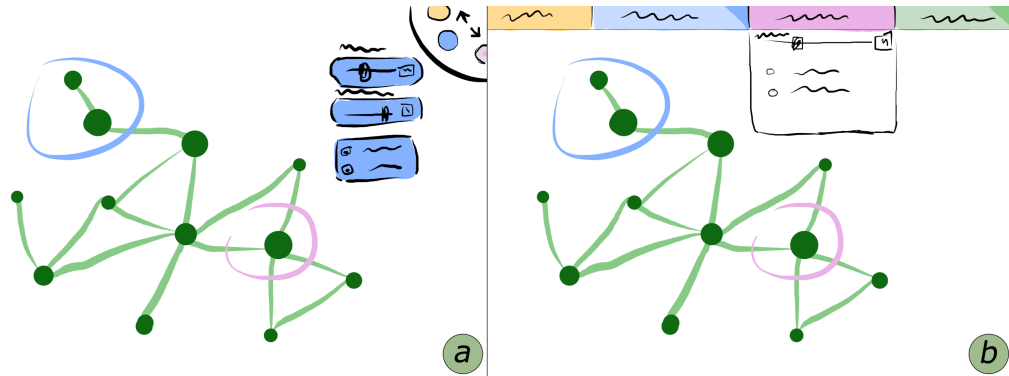
**Abb. 3.1:** Designentwürfe des globalen Menüs: (a) Entwurf Nr. 1, (b) Entwurf Nr. 2

Auch das zweite Menü befindet sich am rechten Bildschirmrand, besteht allerdings aus kleinen dreieckigen Buttons (Abb. 3.1 (b)). Der Oberste entspricht dabei allgemeinen Parametern (Radius, Position, etc.) und die darunter Folgenden den verschiedenen Filterfunktionen. Das dazugehörige Pop-up Menü öffnet sich je in Höhe des ausgewählten Buttons.

Durch die Gruppierung der Parameter und der Ansicht in einem separaten Fenster erleichtert sich die Bedienung für den Nutzer. Zudem werden Parameterwerte nicht nur durch Icons beschrieben, sondern es ist von vornherein auch ihr Name zu sehen. Das stellt zwar einen entscheidenden Unterschied zum Kontextmenü dar, entspricht damit aber mehr einem globalen Menü. Zudem nimmt das Menü ohne Pop-up kaum Platz ein. Dass die Filterfunktionen im Hauptmenü weiterhin nur über Farbe und Icon erkennbar sind, stellt für neue Nutzer dennoch eine Hürde dar.

Der dritte Entwurf umfasst ein rotierendes Menü in der rechten oberen Ecke des Displays (Abb. 3.2 (a)). Es gibt einen runden Button je Filterfunktion und für allgemeine Parameter. Wie bei dem vorherigen Design wird das Detailmenü als Pop-up geöffnet, jedoch hier als kleinere, einzelne Felder je Parameterwert dargestellt. Das Hauptmenü lässt sich durch Tippen auf die Pfeile oder Drehen des Mauseisens rotieren. Das Menü ist platzsparend und durch die runde Wählscheibe vielfältig erweiterbar. Allerdings sind nie alle Menüpunkte auf einmal sichtbar und es geht zusätzliche Zeit für das Durchlaufen der Wählscheibe verloren. Durch die Kapselung der Parameterwerte wird weniger verdeckt und man kann den Graphen teilweise hinter

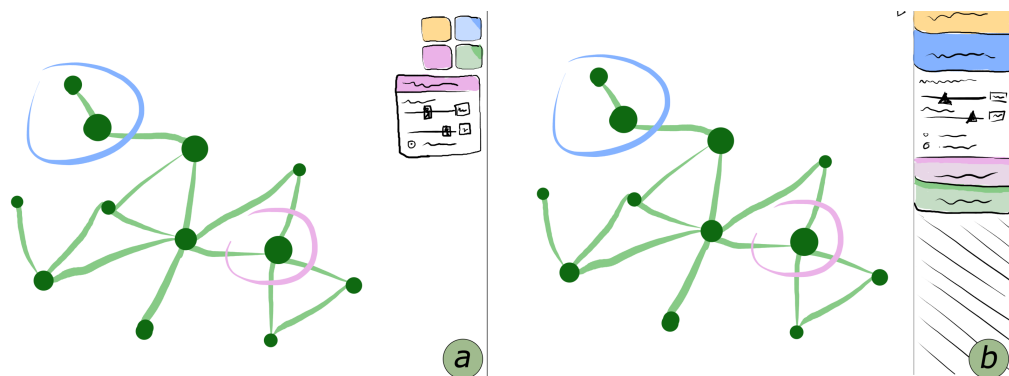
dem Detailmenü sehen. Wie in Design Nr. 2 sind die Namen der Parameterwerte immer im Pop-up Menü sichtbar, Filterbezeichnungen im Hauptmenü hingegen nicht. Außerdem entfernt sich das Design sehr von einem typischen, globalen Menü und ist für die Studie in diesem Sinne weniger geeignet.



**Abb. 3.2:** Designentwürfe des globalen Menüs: (a) Entwurf Nr. 3, (b) Entwurf Nr. 4

Beim vierten Design handelt es sich um ein typisches Menü am oberen Bildschirmrand (Abb. 3.2 (b)). Ähnlich zu den bisherigen Entwürfen gibt es eine Gruppierung in allgemeine Parameter und je Filterfunktion. Diese sind allerdings in beschriftete Menüreiter sortiert. Das Detailmenü wird bei Selektion direkt unter dem entsprechenden Reiter eingeblendet. Die Aktivierung der Filter erfolgt über Klicken eines kleinen dreieckigen Bereiches in der oberen rechten Ecke der Menüreiter.

Es handelt sich um ein klassisches, globales Menü und ist damit für den angestrebten Vergleich gut geeignet. Nutzern ist diese Menüart aufgrund der weiten Verbreitung vertraut. Dadurch ist es intuitiv bedienbar. Sowohl Filter- als auch Parameterbezeichnungen sind für den Nutzer sofort sichtbar und müssen nicht über Icons oder Farben assoziiert werden. Die reine Menüleiste nimmt zudem kaum Platz ein. Die ausgeklappten Detailmenüs dagegen könnten wichtige Bereiche des Graphen verdecken.



**Abb. 3.3:** Designentwürfe des globalen Menüs: (a) Entwurf Nr. 5, (b) Entwurf Nr. 6

Das fünfte Menü besteht aus viereckigen Icons in der oberen rechten Ecke je Filterfunktion und allgemeinen Parametern (Abb. 3.3 (a)). Das entsprechende Detailmenü wird als Pop-up geöffnet und unterhalb der Icons eingeblendet.

Das Menü ist sehr platzsparend und läuft kaum Gefahr wichtige Teile des Graphen zu verdecken, da es sich nur an einem Rand des Bildschirms befindet. Eventuell ließe sich das Design durch ein frei verschiebbares Detailmenü zusätzlich optimieren. Allerdings sind Filterfunktionen wie in Design eins bis drei initial nur über Farbe und Icon erkennbar.

Beim sechsten Entwurf handelt es sich um ein klassisches, seitliches Menü am rechten Bildschirmrand (Abb. 3.3 (b)). Es ist durch das kleine Dreieck oben links neben dem Menü ein-/ausklappbar. Die Funktionen sind in Menüreiter sortiert und direkt unterhalb des entsprechenden Reiters wird nach Aktivierung des Filters das Detailmenü eingeblendet.

Wie schon bei Entwurf Nr. 4 handelt es sich um ein klassisches, globales Menü und ist entsprechend für die Studie geeignet. Die Beschriftung der Filter- und Parameterwerte ist ebenfalls direkt sichtbar ist. Durch die Möglichkeit, das Menü einzuklappen, ist es sehr platzsparend. Auch permanent sichtbar kann das Menü ohne den Graphen zu verdecken angewendet werden, indem sich dieser nur auf den Rest des Bildschirms verteilt. Allerdings würde das Menü dadurch mehr Platz einnehmen als die anderen Entwürfe. Durch das automatische Aus-/Einblenden der Parameterwerte, je nachdem ob ein Filter aktiv ist, wird das Menü besonders übersichtlich. Außerdem ist für den Nutzer somit noch einfacher sichtbar, welche Funktionen gerade aktiviert sind.

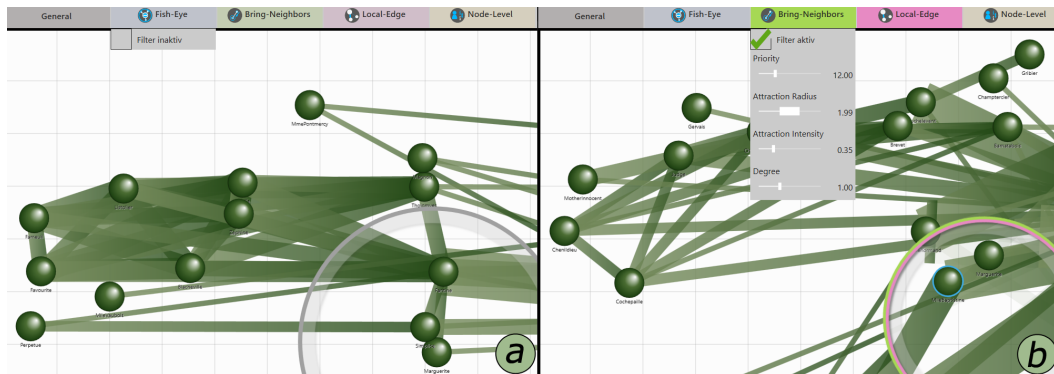
## 3.2 Umsetzung

Für die Umsetzung waren Design Nr. 4 und 6 in der engeren Auswahl. Beide sind klassische, globale Menüs, wie Nutzer sie aus anderen Anwendungen gewohnt sind, und entsprechend für die Evaluation geeignet. Da es allerdings platzsparender ist, fiel die Wahl auf Menüdesign Nr. 4 (Abb. 3.2 (b)).

Das Design wurde im Laufe der Implementierung weiter angepasst (Abb. 3.4). So erhielten die Menüreiter für Filterfunktionen zusätzlich zum Namen das Icon, wie es auch im Menü am Linsenrand verwendet wird. Die (De-)Aktivierung der Filter erfolgt über eine Checkbox im Detailmenü und die Parameterwerte sind nur eingeblendet, solange der entsprechende Filter aktiv ist, um zusätzlich Platz zu sparen. Außerdem sind die Menüreiter und Checkboxes extra größer dargestellt, um auch mit Touch gut auswählbar zu sein. Die Knöpfe der Schieberegler werden bei Selektion für eine erleichterte Bedienung mit Touch ebenfalls größer.

Die Implementierung erfolgte in WPF und C#. Gearbeitet wurde mit den Bibliotheken *XNA* und *Surface SDK 2.0*.

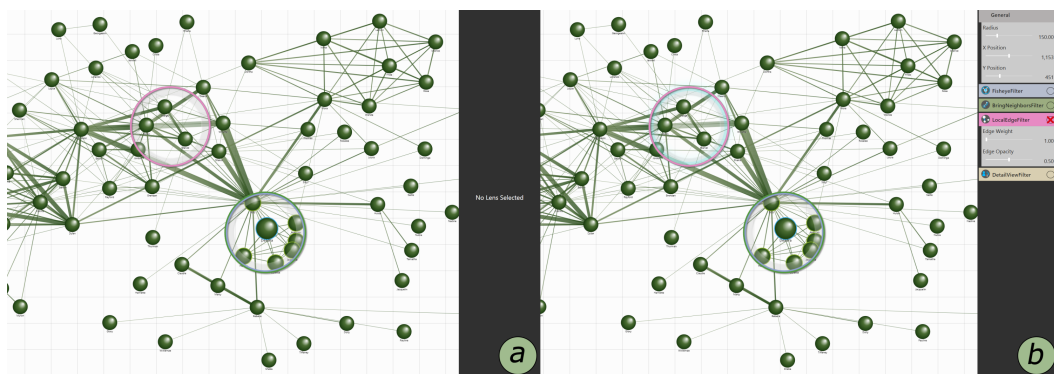
Wie schon im bestehenden Prototypen wurde nach dem MVVM-Pattern (Model, View, ViewModel) vorgegangen. Entsprechend wurde die View um eine *UserControl*-Klasse ergänzt, die das Aussehen des Menüs beschreibt und *Data-Bindings* zum Model festlegt. Durch Style-Beschreibungen aus einer separaten *ResourceDictionary*-Klasse wurde ein einheitliches Aussehen gewährleistet und spezifischere Designs, wie die der Checkboxes, umgesetzt.



**Abb. 3.4:** Implementierung Menüdesign Nr. 4: (a) ohne aktive Filter, (b) mit zwei aktiven Filterfunktionen und Parametereinstellungen

Im zugehörigen ViewModel wurde die logische Verbindung zwischen Model und View gelegt. Dabei wird die Auswahl einer Linse über *EventHandler* erkannt und im ViewModel interpretiert. Die Ansicht wird daraufhin angepasst, indem Menüreiter passend eingefärbt und Schieberegler auf die aktuellen Parameterwerte gesetzt werden. Außerdem können über das ViewModel die Daten der selektierten Linsen bearbeitet werden, da es sich um ein *bidirektionales DataBinding* handelt.

Ein weiterer Teil der Logik befindet sich in der automatisch generierten C#-Klasse der Ansicht. Hier werden einfache Events, wie das Klicken eines Buttons oder einer



**Abb. 3.5:** Finale Implementierung des seitlichen Menüs: (a) ohne selektierte Linse, (b) mit Selektion und einer aktiven Filterfunktion und Parametereinstellungen

Checkbox, gehandelt, die in direkter Verbindung zur Ansicht stehen. Im Falle eines Buttons, die den Menüreitern entsprechen, wird die Sichtbarkeit der Detailmenüs direkt geändert. Die Checkbox-Events interagieren zusätzlich mit dem ViewModel und darüber mit dem Model, um Filterfunktionen ein-/auszuschalten.

Für die Studie wurde kurzfristig entschieden, doch ein Menü ähnlich zu Entwurf Nr. 6 zu nutzen. Menü Nr. 4 ist zwar ebenfalls ein klassisches, globales Menü, allerdings ist für Touchgeräte ein seitliches Menü verbreiteter.

Dieses seitliche Menü lässt sich nicht mehr extra ausblenden, sondern nimmt permanent Platz ein (Abb. 3.5). Wenn gerade keine Linse selektiert ist, werden keine Menüreiter angezeigt. Stattdessen erscheint ein kurzer Text, der darauf hinweist, dass keine Linse ausgewählt ist. Nachdem eine Selektion getätigt wurde, werden die Menüreiter - bei Filterfunktionen inklusive einer runden Checkbox - eingeblendet. Aktive Filter haben außerdem eine Liste ihrer Parameterwerte unter den entsprechenden Menüreitern. Die selektierte Linse ist außerdem durch einen blass-blauen Schatten auf der Innenseite des Linsenrands hervorgehoben.

Diese Implementierung erfolgte durch die Betreuer und umfasste größtenteils eine Änderung der View und kleine Anpassungen im ViewModel. Die bestehende Umsetzung diente dabei als Grundlage.

# Studiendurchführung

Die Studie wurde gemeinsam mit den Betreuern geplant und in Zusammenarbeit am Lehrstuhl durchgeführt. Dafür wurden verschiedenste Implementierungen ergänzt, das Design geplant und Teilnehmer angeworben. Von den Betreuern wurden alle endgültigen Designentscheidungen getroffen, der Aufgabeninhalt und -ablauf aufgestellt und die grundlegende Planung zur Durchführung aufgestellt.

## 4.1 Apparat

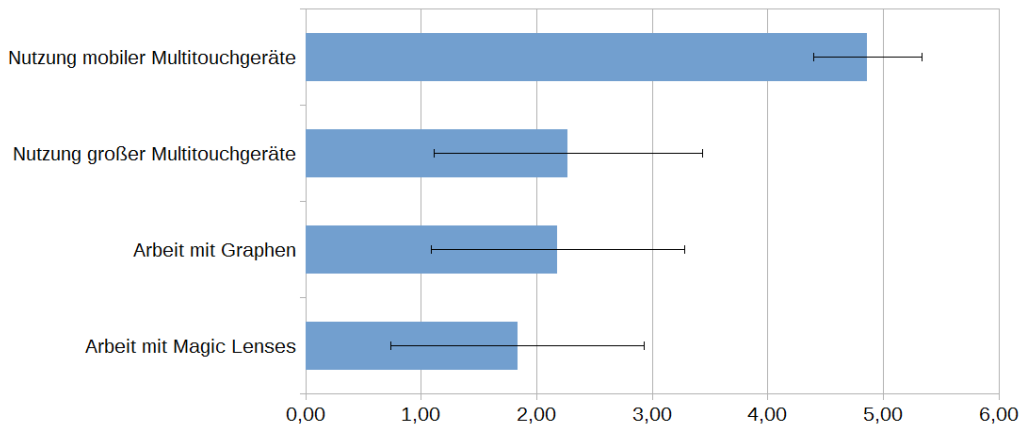
Im folgenden Kapitel werden Informationen über Teilnehmer der Studie und den Studienaufbau erläutert. Dabei wird sowohl auf den physischen als auch den implementierten Aufbau eingegangen. Die Funktionsweise der Linsen und des Menüs am Linsenrand, als auch die in der Studie genutzten Filterfunktionen werden erklärt.

### 4.1.1 Probanden

Für die Studie gab es insgesamt 25 Probanden. Einer dieser Probanden nahm an der Pilotstudie teil. Die Ergebnisse von zwei weiteren Probanden wurden nicht in die Studie einbezogen, da nach ihren Durchläufen weitere relevante Änderungen am Prototypen vorgenommen wurden. Entsprechend wird im Folgenden von den 22 verbleibenden Probanden gesprochen.

Zu Beginn der Studie mussten alle Teilnehmer einen allgemeinen Fragebogen zu Alter, Händigkeit und Erfahrungswerten ausfüllen (Abb. 4.1). Durchschnittlich waren Probanden 24,72 Jahre alt (Standardabweichung(SD) 3,38) in einer Spanne von 21 bis 36 Jahren. Es nahmen 5 Frauen und 17 Männer an der Studie teil. Alle 22 Probanden waren Rechtshänder, obwohl es diesbezüglich keine Einschränkungen der Teilnehmer gab.

90,90% der Probanden gaben an, mobile Multitouchgeräte, wie Smartphones, täglich zu benutzen. Niemand gab an sie nie zu nutzen. Auf einer Häufigkeitsskala von eins (nie) bis fünf (täglich) war der Mittelwert 4,86 (SD 0,47). Große Multitouchdisplays dagegen werden nur von 4,55% täglich genutzt. 31,82% kreuzten an, nie mit ihnen zu arbeiten. Auf der selben Häufigkeitsskala liegt der Durchschnitt bei 2,27 (SD 1,16).



**Abb. 4.1:** durchschnittliche Erfahrungswerte (MW) und Standardabweichung (SD) über alle Probanden, die Striche markieren dabei den Bereich von MW - SD bis MW + SD

Es wurde außerdem nach der Häufigkeit gefragt, in der die Probanden mit Graphen, Netzwerken oder Knoten-Kanten-Diagrammen arbeiten. Niemand gab an dies täglich zu tun, wiederum 36,36% gaben an, nie damit zu arbeiten. Der Mittelwert auf der Häufigkeitsskala lag bei 2,18 (SD 1,10). Auf die Frage, ob der Proband *Magic Lenses* kennt und mit ihnen arbeitet, haben 18,18% geantwortet, sie nicht zu kennen, und 45,45% kreuzten an, nie mit ihnen zu arbeiten. Niemand gab an sie täglich zu nutzen. Der Mittelwert der Häufigkeit lag bei 1,83 (SD 1,10).

Die Studie sah keine Einschränkung auf eine bestimmte Nutzergruppe vor. Es sollten sowohl Novizen als auch erfahrene Nutzer auf den Gebieten Multitouch und Graphen betrachtet werden, um ein möglichst allgemeines Ergebnis zu erhalten. Da *Magic Lenses* jedoch nicht weit verbreitet sind, zeigte sich im Nutzerfeld ein großer Anteil an Novizen auf dem Gebiet.

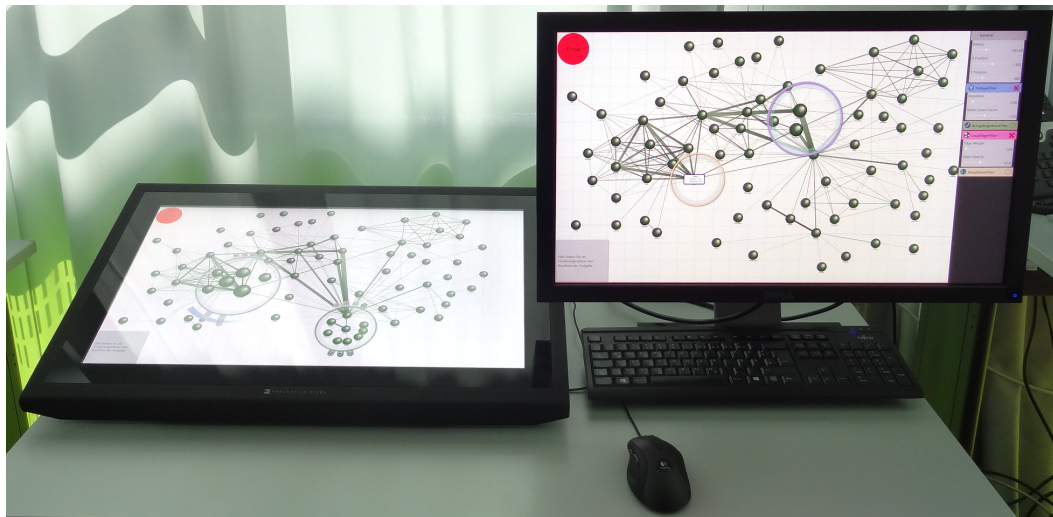
Das Teilnehmerfeld bestand größtenteils aus Studenten und Bekannten, die zumeist gute Kenntnisse auf dem Gebiet der Informatik hatten.

## 4.1.2 Aufbau

Die Studie wurde mit zwei nebeneinander stehenden Bildschirmen durchgeführt (Abb. 4.2). Für Multitouchaufgaben wurde ein 27" Perceptive Pixel Display verwendet, für Aufgaben mit Mauseingabe ein klassisches, vertikales Display. Beide haben eine Auflösung von 2560×1440 Pixel.

Es wurde sich für einen zweiten Bildschirm zur Mausinteraktion entschieden, um ein natürlicheres Arbeitsfeld zu schaffen. So sollen eventuelle Verfälschungen der Daten durch den ungewohnten Blickwinkel und andere Relation von Maus zu Bildschirm verhindert werden. Vor dem vertikalen Display hatten die Probanden viel Platz, um die Maus frei bewegen zu können.





**Abb. 4.2:** Studien-Aufbau: links Perceptive Pixel, rechts Standardmonitor und Maus

Der Perceptive Pixel Bildschirm stand direkt an der Tischkante, damit alle Bereiche des Displays gut erreichbar waren. Er wurde in nahezu horizontaler Lage verwendet, um eine Ermüdung der Arme zu vermeiden. Durch den leicht angehobenen Winkel werden Verzerrungen der Anzeige vermindert und die Erreichbarkeit des oberen Bereichs erleichtert.

Die im Folgenden beschriebenen Implementierungen zu Graphen, Filterfunktionen und zugehörigen Parametern waren bereits im Prototyp vorhanden oder wurden von den Betreuern erweitert.

Die Anwendung wurde in C# und WPF umgesetzt. Für die Graph-Visualisierung wurde QuickGraph und Graph# verwendet [Kis+14].

Der Graph stellt ein fiktives Netzwerk von Personen dar. Die Kanten entsprechen dabei einer Bekanntschaft oder Freundschaft zwischen zwei Personen. Je enger zwei Personen vertraut sind, desto stärker wird die Kante zwischen ihnen gewichtet und entsprechend dicker dargestellt. In der Studie werden drei verschiedene Datensätze für den Graphen verwendet. Dabei stimmt je die Anzahl der Knoten und Kanten als auch die Gewichtung überein, jedoch unterscheiden sich die Namen und das Layout.

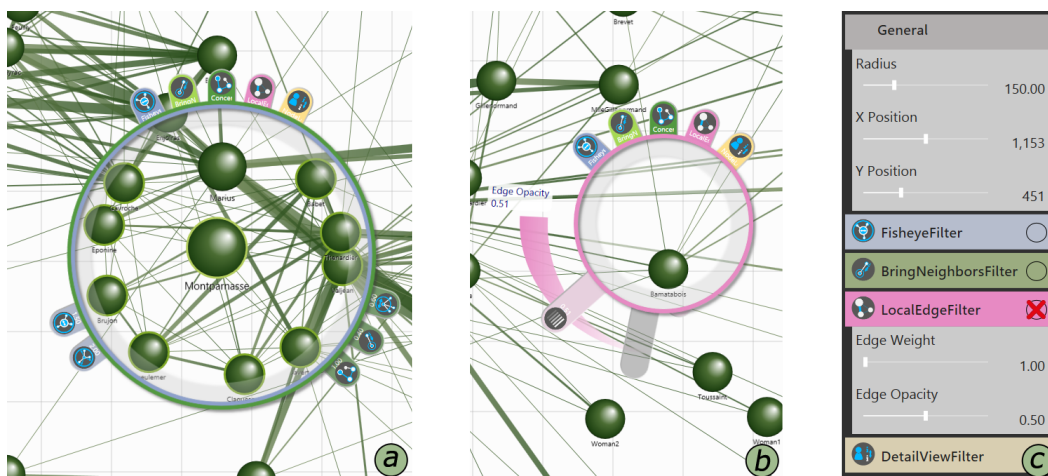
Die Linsen sind rund und haben einen farbigen Rand, der die Filterfunktionen repräsentiert. Wenn gerade keine Funktion aktiviert ist, ist der Linsenrand grau. Sind mehrere Filter gleichzeitig aktiv, stapeln sich die farbigen Umrandungen (Abb. 4.3 (a)).

Das Menü am Linsenrand wird durch ein kurzes Antippen der Linse geöffnet. Es erscheint am oberen Rand der Linse je ein Button pro Filterfunktion. Durch Berühren dieser Buttons lassen sich die Funktionen ein- und ausschalten.

Für alle aktuell aktiven Filter werden auf der unteren Hälfte der Linse Buttons für die zugehörigen Parameterwerte eingeblendet. Diese sind nach Filterfunktion gruppiert und sortiert. Sie ordnen sich entsprechend neu an, sobald Filter hinzukommen oder wegfallen.

Parameterwerte lassen sich über zwei verschiedene Wege einstellen. In der ersten Variante tippt man den Button des Parameters kurz an. Daraufhin klappt dieser aus und wird zu einem Schieberegler, der sich radial um die Linse legt (Abb. 4.3 (b)). Man kann diesen nun auf den gewünschten Wert einstellen und erhält dabei direktes Feedback. Ein grauer Schatten bleibt beim Ausgangswert sichtbar, bis man die Manipulation durch erneutes Antippen des Buttons beendet.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, den Button gedrückt zu halten und von der Linse weg zu ziehen. Dabei erscheint ebenfalls der radiale Schieberegler. Man kann direkt den Wert verändern und hat auch hier einen Schatten, der den Ausgangswert anzeigt. Sobald man den Regler loslässt, stellt dieser den aktuellen Wert ein und beendet die Manipulation.



**Abb. 4.3:** Menüarten: (a) Menü am Linsenrand mit zwei aktiven Filtern, (b) Menü am Linsenrand mit ausgeklapptem Schieberegler, (c) Menü am Displayrand mit einem aktiven Filter

Das Menü am Linsenrand unterscheidet sich in mehreren Punkten vom Displayrand-Menü (Abb. 4.3 (c)). Ein Hauptunterschied ist, dass am Displayrand alle Bezeichnungen der Filter und Parameter ausgeschrieben sind, im Gegensatz zu der Interaktion über Icons am Linsenrand. Die Arbeit für Novizen wird so über das Menü am Displayrand erleichtert. Dahingegen ist dieses von der Linse distanziert und es kann immer nur ein Menü zur selben Zeit geöffnet sein. Am Linsenrand kann je Linse ein eigenes Menü aktiviert werden und entsprechend besteht die Möglichkeit, mehrere Linsen gleichzeitig zu bearbeiten.

Es wurden vier verschiedene Filterfunktionen in der Studie verwendet: *Fisheye*, *BringNeighbors*, *LocalEdge* und *DetailView*. Der *Fisheye* Filter ist ein Lupen-ähnlicher Effekt, der sich zum Rand der Linse hin verringert, um einen fließenden Übergang zum Kontext zu erreichen. Er wird durch einen hellblauen Linsenrand repräsentiert. Es lassen sich zwei Parameterwerte verändern. *Repulsion* bestimmt wie stark Knoten innerhalb der Linse voneinander abgestoßen werden. Mit dem *Node Zoom Factor* lässt sich das Maß der Vergrößerung regulieren.

Dunkelgrün steht für die *BringNeighbors* Funktion. Über sie lässt sich der Graph neu sortieren. Dabei wird um den Knoten, der am nächsten zum Zentrum der Linse ist, dessen Nachbarschaft nach Grad sortiert. Die Nachbarn werden dabei radial um den zentrierten Knoten aufgelistet. Drei Parameter kann man bei diesem Filter anpassen. Der *Attraction Radius* legt fest, in welchem Abstand sich die Nachbarn des zentrierten Knotens um ihn sortieren. Nachbarknoten können je nach Wert innerhalb als auch außerhalb der Linse liegen. Über *Attraction Intensity* bestimmt man, wie stark benachbarte Knoten angezogen werden. Je weiter ein Knoten dabei von der Linse entfernt ist, desto stärker wirkt sich dieser Parameter auf ihn aus. Mit dem *Degree* legt man den Grad der Nachbarschaft fest, bis zu dem die Darstellung angepasst werden soll. Grad eins entspricht dabei den direkten Nachbarn, Grad zwei den Nachbarn der Nachbarn usw.

Unwichtige Kanten im benötigten Kontext lassen sich über den *LocalEdge* Filter ausblenden oder verblassen. Er wirkt sich auf Kanten aus, die nur durch die Linse hindurch gehen und mit keinen Knoten innerhalb der Linse verbunden sind. Dieser Filter wird durch einen pinken Linsenrand verdeutlicht. Zwei Parameterwerte lassen sich hierbei einstellen. Das *Edge Weight* sorgt dafür, dass Kanten mit dem eingestellten Gewicht und kleiner ausgeblendet werden. Über die *Edge Opacity* wird die Deckkraft der irrelevanten Kanten festgelegt. Stellt man diesen Wert auf 0, werden sie komplett ausgeblendet.

Die *DetailView* wird durch die Farbe Gelb hervorgehoben. Ihre Funktion ist das Einblenden zusätzlicher Informationen in einem kleinen Pop-up Fenster über dem jeweiligen Knoten. Diese Informationen beinhalten das Geschlecht und ob die Person Vegetarier ist. Außerdem ist das Pop-up je nach Geschlecht farbig umrandet. Es gibt keine zusätzlichen Parameterwerte für diesen Filter.

## 4.2 Methodik

Die Studiendurchführung wurde nach verschiedenen Aspekten designt. Es wird im Folgenden begründet, warum sich für bestimmte Designs entschieden wurde und wie die Studiendurchführung implementiert wurde. Außerdem wird auf den Aufgabenablauf und die schlussendliche Durchführung der Studie eingegangen.

## 4.2.1 Design

Die Studie wurde im *within-subject Design* durchgeführt [PD10] (Kapitel 4.3). Die unabhängigen Variablen sind die Kombinationen der Interaktions- und Menüart. Als abhängige Variablen gelten die quantitative und subjektive Performance.

Es wurde sich für das *within-subject Design* entschieden, da es besonders gut für Systemvergleiche geeignet ist. Probanden durchlaufen alle Testkonditionen und können so - zusätzlich zu den geloggtten Daten - vergleichende Aussagen machen. Außerdem kann die Anzahl der Probanden vergleichsweise gering sein.

Verglichen werden Multitouch- und Mausinteraktion als auch ein klassisches, globales Menü mit dem speziellen Kontextmenü am Linsenrand. Um zu vermeiden, dass die Eingabemodalität alleiniger Grund für eine veränderte Performance ist, umfasst die Studie drei verschiedene Kombinationen:

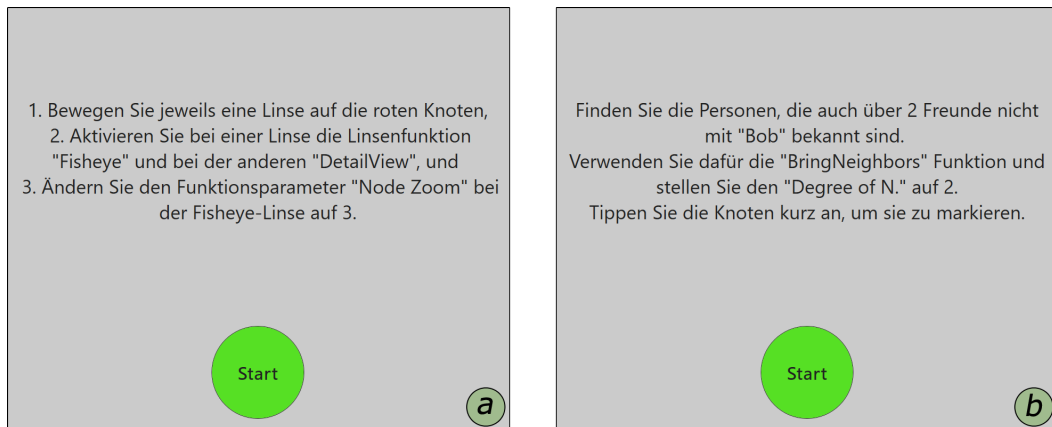
1. Multitoucheingabe mit Linsenrand-Menü (TL)
2. Multitoucheingabe mit Displayrand-Menü (TD)
3. Mauseingabe mit Displayrand-Menü (MD)

Durch den unvermeidlichen Lerneffekt ist eine Verfälschung der Daten möglich. Daher wurde *counterbalancing* angewandt [PD10] (Kapitel 4.3). Die Reihenfolge dieser drei Modi wurde dabei nach dem *lateinischen Quadrat* ausgeglichen. Dabei handelt es sich um ein Matrix-System aus gleicher Anzahl Zeilen und Spalten, in denen ein Wert je Zeile und Spalte nur einmal auftreten darf. Es ergaben sich für unser Studie folgende drei Abläufe:

- MD, TD, TL
- TL, MD, TD
- TD, TL, MD

Über die User-ID der einzelnen Probanden hat das System mit einer Modulo Berechnung die Blockreihenfolge bestimmt. Außerdem wurde für den Studienablauf ein modaler Dialog implementiert. Dieser befindet sich in einer separaten *UserControl*-Klasse inklusive *ViewModel*. Im Zentrum des Bildschirms wird jeweils ein hellgraues Viereck eingeblendet, in dem die zu lösende Aufgabe erklärt wird (Abb. 4.4). Dabei werden zwei Aufgabentypen unterschieden. Die einfacheren, strukturellen Aufgaben geben genau Schritt für Schritt Anweisungen, denen der Proband folgen soll. Die anspruchsvolleren, explorativen Aufgaben sind offener formuliert und fordern dazu auf, selbst über eine möglichst optimale Lösung nachzudenken.

Der Hintergrund der Aufgabenfenster ist komplett schwarz oder abgedunkelt dargestellt. Dadurch wird gewährleistet, dass der im Hintergrund liegende Graph und die Linsen nicht selektierbar sind. Somit wird eine vorzeitige Aufgabenlösung verhindert. Des weiteren befindet sich im Aufgabenfenster ein großer grüner Button zum Starten der Aufgabe. Er ist so designt, dass er mit Maus und Touch fehlerfrei bedienbar ist. Während der Proband an der Aufgabe arbeitet, sieht er in der unteren, linken Ecke eine Kurzfassung der Aufgabenstellung als Gedächtnisstütze. In der oberen linken Ecke befindet sich ein roter Button zum Beenden der aktuellen Aufgabe. Dieser ist, ebenso wie der Start-Button, so konzipiert, dass er in beiden Eingabemodalitäten problemlos bedient werden kann. Ein weiteres Dialog-Fenster weist am Ende eines Abschnitts darauf hin, einen Fragebogen auszufüllen. Anschließend wird automatisch in den nächsten Modus gewechselt und der neue Abschnitt gestartet. Die verwendeten Fragebögen wurde von den Betreuern nach *NASA TLX* designt [PD10] (Kapitel 2.2).



**Abb. 4.4:** Beispiele der Aufgabenstellung: (a) eine strukturelle Aufgabe, (b) eine explorative Aufgabe

Die Daten der Probanden werden über ein implementiertes Logging-System in csv-Dateien gespeichert. Es werden dabei alle Interaktionen mit den Menüs und den Linsen via Touch und Maus aufgezeichnet. Außerdem wird genau geloggt, was mit der Interaktion bewirkt wurde - beispielsweise ob eine Linse selektiert, welches Menü verwendet oder ob ein Filter (de-)aktiviert wurde.

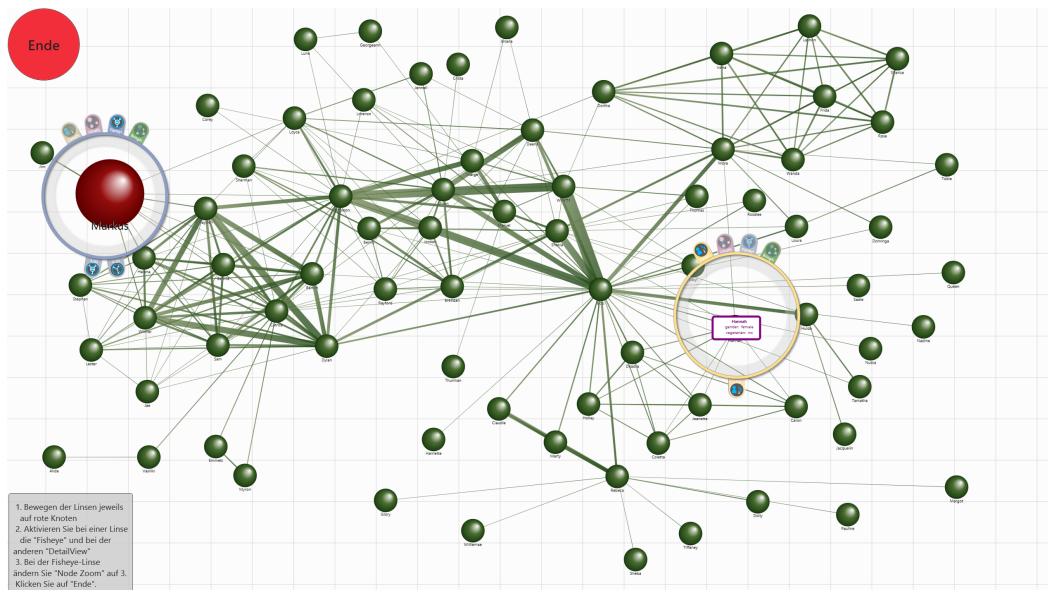
Wenn ein Parameterwert verändert wird, notiert das System Start und Ende der Manipulation und in welcher Art (Antippen oder Ziehen) der Regler genutzt wurde. Es wurde für jede aufgezeichnete Interaktion der Systemtakt notiert, um später die zeitliche Differenz errechnen zu können. Das Logging-System wurde größtenteils von den Betreuern implementiert.

Außerdem wurde die Ausführung der Aufgaben gefilmt, um später eventuelle Unstimmigkeiten in den Logging-Daten nachvollziehen zu können. Zusätzlich wurde in Vorbereitung auf die Studie eine Pilotstudie mit einer Teilnehmerin durchgeführt. Daraus ergaben sich minimale Anpassungen wie Änderungen an den Aufgabenstel-

lungen, Neupositionieren der Gedächtnisstütze und Hinzufügen der Möglichkeit, Knoten zu selektieren.

## 4.2.2 Ablauf

Ein Studiendurchlauf dauerte etwa 45-60 Minuten pro Teilnehmer. Dabei hat jeder Proband einzeln an dem Experiment teilgenommen. Es waren immer ein bis drei Studienbetreuer anwesend. Die Studien wurden über den Verlauf von zwei Wochen durchgeführt.



**Abb. 4.5:** Ausführung von Aufgabe sechs mit Toucheingabe und Menü am Linsenrand

Zu Beginn wurden die Probanden dazu aufgefordert einen allgemeinen Fragebogen, über ihre Erfahrungen mit Multitouch, Graphen und *Magic Lenses*, auszufüllen. Im Anschluss erklärte einer der Versuchsleiter den Umgang mit den Linsen und Menüs, als auch deren generelle Eigenschaften. Es wurde mit dem Bewegen und Skalieren der Linse begonnen.

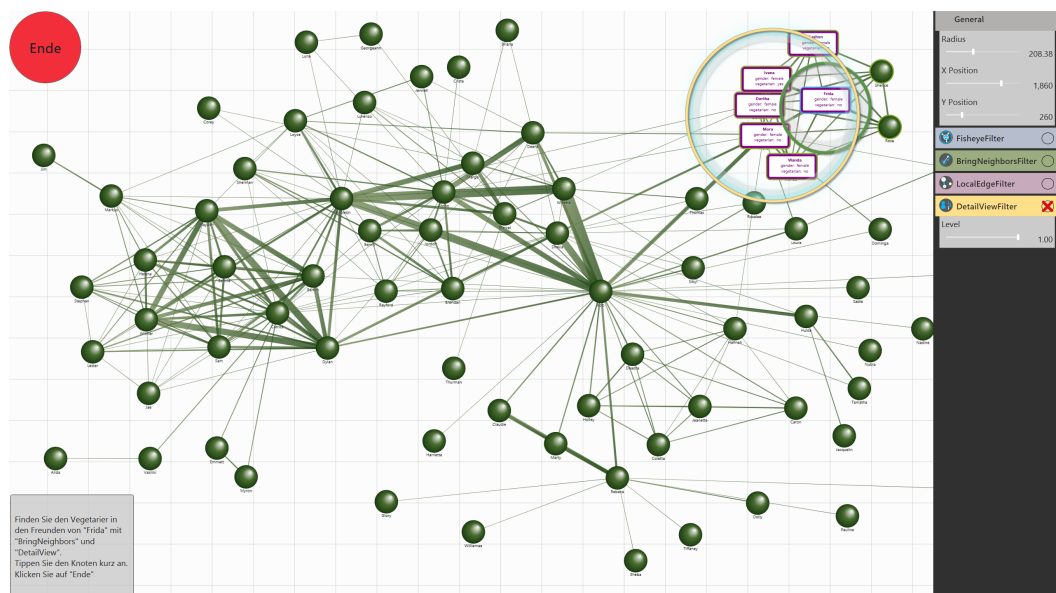
Dann wurden genau die einzelnen Filterfunktionen und ihre Parameter erklärt, als auch wie diese in der jeweiligen Menüart manipuliert werden können. Im Falle des Menüs am Linsenrand wurde zudem der Umgang mit dem Schieberegler und die zwei Varianten, über die er bedient werden kann, erläutert. Die Probanden hatten anschließend Zeit sich in Ruhe mit den Linsen und dem jeweiligen Menü vertraut zu machen. Sie wurden dazu aufgefordert, sich dabei so lange Zeit zu nehmen, wie sie es für angemessen hielten.

Sobald der Proband sich bereit fühlte, startete das Experiment mit dem ersten Block. Jeder Block wird in einem der drei Modi, den Kombinationen aus Eingabemodalität und Menüart, gelöst. Er besteht je aus neun Aufgaben und einem Fragebogen am Ende des Blocks. Dabei sind die ersten sechs strukturelle und die anderen drei explorative Aufgabenstellungen. Außerdem war der Beispielgraph, an dem die Probanden arbeiteten, je Block verschieden.

Eine strukturelle Aufgabenstellung wäre beispielsweise: "1. Bewegen Sie jeweils eine Linse auf die roten Knoten, 2. Aktivieren Sie bei einer Linse die Linsenfunktion *Fisheye* und bei der anderen *DetailView*, und 3. Ändern Sie den Funktionsparameter *Node Zoom* bei der *Fisheye*-Linse auf 3." Es handelt sich dabei um Aufgabe sechs (Abb. 4.5).

Aufgabe sieben hingegen wäre ein Beispiel für eine explorative Aufgabenstellung (Abb. 4.6). Diese lautete: "Finden Sie den Vegetarier in den Freunden von 'Frida'. Benutzen Sie dafür die Linsenfunktionen *BringNeighbors* und *DetailView*. Tippen Sie den Knoten kurz an, um ihn zu markieren."

Am Ende jedes Blocks wurde ein kurzer Fragebogen zur subjektiven Einschätzung ausgefüllt, während die Studienleiter den nächsten Block vorbereiteten. Insgesamt wurden drei - später vier - Blöcke durchlaufen. Auch zu Beginn der anderen Blöcke gab es einleitende Trainingsphasen. In diesen wurde auf Änderungen in der Menü- und Eingabeart eingegangen und eventuelle Neuheiten erklärt. Außerdem hatten Probanden auch hier die Gelegenheit sich in Ruhe mit dem aktuellen Modus vertraut zu machen.



**Abb. 4.6:** Ausführung von Aufgabe sieben mit Mauseingabe und Menü am Displayrand

Zusätzlich gab es nach dem dritten Block einen finalen, vergleichenden Fragebogen über alle drei Modi. Probanden hatten hier zudem die Möglichkeit, Kommentare zur

Studie zu hinterlassen.

Ab Proband 10 wurde ein vierter Block ergänzt. Diese zusätzliche Phase war ausschließlich im TL-Modus und umfasste nur die ersten sechs Aufgaben. Für diesen Block gab es keinen zusätzlichen Fragebogen. Es sollte geklärt werden, ob ein Lerneffekt im Umgang mit dem Menü am Linsenrand über Touchinteraktion vorliegt.

Im Verlauf der Durchführung kam es zu weiteren minimalen Änderungen. So wurde nach den ersten zwei Probanden die Selektion der Knoten verbessert, da es oft kein optisches Feedback gab. Die Probanden versuchten teils sehr lange den Knoten hervorzuheben. Daher wurde entschieden, die Daten der ersten beiden Probanden nicht in die Auswertung einfließen zu lassen.

Nach Proband 6 wurden auch die Knoten in den explorativen Aufgaben hervorgehoben. Die Suche nach einem bestimmten Knoten - nur über dessen Name - dauerte bei einigen Probanden sehr lang und könnte so die Ergebnisse verfälschen. Auch bei späteren Durchläufen zeigte sich, dass manche Probanden Probleme hatten, die anspruchsvolleren Aufgaben zu verstehen und umzusetzen. Teilweise wurde eine Aufgabe auch abgebrochen. Daher wurde nicht für alle Probanden jede Aufgabe ausgewertet.



# Ergebnis

Die Ergebnisse der vergleichenden Studie setzten sich aus quantitativen und qualitativen Daten zusammen. Diese wurden aus den erstellten Logs, den Fragebögen und direkten Beobachtungen zusammengetragen und ausgewertet. Der Fokus lag dabei auf dem Vergleich der drei Modi in Bezug auf Geschwindigkeit, Verständnis der Menüs und Nutzerpräferenz. Aber auch allgemeine Probleme, die bei der Durchführung deutlich wurden, werden zusammengefasst und reflektiert.

## 5.1 Quantitative Performance

Einzelne quantitative Daten wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Um das Ergebnis nicht zu verfälschen, wurden diese immer je Proband als kompletter Datensatz zu einer Aufgabe aussortiert. Gründe für das Aussortieren waren größtenteils Änderungen am Prototypen oder Verständnisprobleme der Probanden.

Wie bereits angedeutet, kam es nach Proband 6 zu Änderungen an Aufgaben sieben bis neun. Aufgrund der sehr hohen Standardabweichung wurde entschieden, dass zweimal Aufgabe sieben, einmal Aufgabe acht und dreimal Aufgabe neun der vorangegangenen Probanden ausgeschlossen werden sollten. Die Standardabweichung dieser Wertegruppen war jeweils mindestens 1,5 mal so groß wie die durchschnittliche Standardabweichung der Aufgabe - einmal sogar mehr als 7 mal so groß.

Die Daten zu Aufgabe eins und neun von Proband 6 wurden ebenfalls ausgeschlossen. Aufgabe eins hat er im dritten Block aus unbekanntem Gründen nach der Lösung nicht beendet, sondern weiter an der Linse und den Funktionen experimentiert. Von Aufgabe neun schien der Proband insgesamt überfordert zu sein. Aufgabe acht und neun wurden bei den Probanden 9 und 13 aussortiert. Beide haben die Aufgabenstellungen nicht verstanden und Proband 13 hat die achte Aufgabe sogar bewusst abgebrochen. Proband 15 hatte starke Probleme mit der Umsetzung von Aufgabe sieben und acht, weshalb diese Daten ebenfalls entfallen. Besonders letztere - und die damit verbundene Anwendung des *BringNeighbors* Filters - bereitete ihm große Probleme. Er führte dadurch eher willkürliche Operationen durch, anstatt der Aufgabenstellung zu folgen. Außerdem wurden die Daten von Aufgabe sieben bis neun von Proband 20 aus der Auswertung genommen. Er hat durchgehend die falschen Knoten als Lösung selektiert und ist nicht konkret den Aufgabenstellungen gefolgt.

Insgesamt wurden also 17 Aufgabensätze aus der Auswertung der Daten ausgeschlossen. Auf das *counterbalancing* der drei Modi wirkt sich das nicht aus. Aufgabe eins, sieben und neun sind gleich oft je Blockreihenfolge vertreten. Die verbliebenen Aufgaben sind nur um je einen Datensatz in der Reihenfolge MD-TD-TL erhöht.

### 5.1.1 Beobachtung

Aus den aufgezeichneten Logging-Dateien der einzelnen Probanden wurde anhand der Systemtakte die zeitliche Differenz zwischen jeder Interaktion berechnet. Daraus summierten sich die Ausführungszeiten je Aufgabe und Proband. Aus diesen Werten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen über alle Probanden gebildet und in einer Gegenüberstellung je Aufgabe und Modus verglichen (Tab. 5.1). Außerdem wurde die Standardabweichung je Aufgabe über alle Modi errechnet. Diese schwankte zwischen 0,38s (Aufgabe eins) und 9,84s (Aufgabe neun).

Des Weiteren wurde ein prozentualer Vergleich über die Abweichung der einzelnen Modi vom Mittelwert erstellt (Tab. 5.2). Dabei wurde zuerst pro Proband ein Mittelwert je Aufgabe über alle drei Modi gebildet. Von diesem wurde die prozentuale Abweichung der Werte je Modus gebildet. Diese Abweichungen wiederum wurden über alle Probanden in einem Mittelwert je Aufgabe und Modus zusammengefasst und gegenübergestellt. Dadurch sollten eventuelle Abweichungen durch die verschiedenen Geschwindigkeiten, in denen einzelne Probanden arbeiteten, verringert werden.

Aufgabe	Touch + Linsenrand Menü		Touch + Displayrand Menü		Maus + Displayrand Menü	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1	22,70	7,21	23,34	11,15	23,37	6,40
2	20,21	7,90	17,35	6,84	15,39	4,00
3	28,68	7,95	28,28	9,11	29,09	9,75
4	36,10	11,97	29,12	9,97	29,19	11,49
5	32,97	7,50	22,61	6,47	24,33	5,26
6	25,94	7,60	22,96	7,78	24,57	7,61
7	39,41	20,34	35,44	21,41	36,24	19,86
8	16,78	5,85	16,95	7,81	15,08	3,36
9	56,98	25,71	37,54	17,25	44,64	23,43

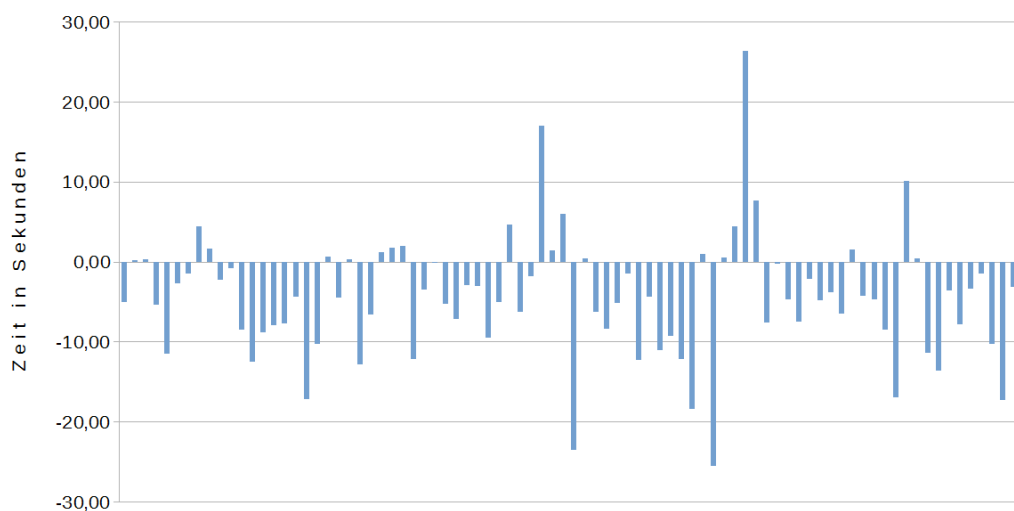
**Tab. 5.1:** Mittelwert (MD) und Standardabweichung (SD) der Ausführungszeit je Aufgabe und Modus über alle Probanden in Sekunden (s)

Die Manipulation der Parameterwerte konnte im Menü am Linsenrand auf unterschiedliche Weise geschehen. Um herauszufinden, welcher Weg von den Probanden bevorzugt wurde, sind die Logging-Daten nach der Häufigkeit analysiert worden,

Aufgabe	Touch + Linsenrand Menü		Touch + Displayrand Menü		Maus + Displayrand Menü	
	ABW	SD	ABW	SD	ABW	SD
1	5,37	20,16	5,96	22,79	1,28	21,14
2	-10,24	15,51	6,33	19,92	16,15	19,60
3	1,59	11,80	2,96	10,95	-0,49	12,60
4	-9,13	16,49	11,32	20,08	9,56	19,17
5	-17,38	10,51	21,02	18,39	9,72	14,66
6	-4,49	16,30	10,43	21,25	3,79	17,33
7	4,21	37,86	18,75	43,47	8,40	26,95
8	7,41	38,28	5,14	27,80	8,04	25,46
9	-13,32	27,88	27,70	30,20	15,16	31,82

**Tab. 5.2:** prozentuale Abweichung vom Mittelwert (ABW) und Standardabweichung (SD) der Ausführungszeit je Aufgabe und Modus über alle Probanden

in der "by drag"- und "by tap"-Interaktionen auftraten. Diese wurden je Proband prozentual gegenübergestellt und anschließend ein Mittelwert gebildet. Außerdem wurden Probanden in drei Gruppen sortiert, je nachdem ob sie am häufigsten durch Tippen ("by tap"), durch Ziehen ("by drag") oder durch beides im Wechsel interagiert haben. Dabei wurden Wertepaare im Bereich von 30 bis 70% als gemischte Nutzung interpretiert und alle anderen als vorwiegende Arbeit mit einer Methode. Der Schieberegler wurde demnach von Probanden zu 27,27 % durch Tippen benutzt. Gleichermäßen wurde er durch Ziehen, oder durch gemischte Interaktion genutzt (je 36,36%). Insgesamt wurde die Manipulation durch Ziehen zu 54,50% und Tippen zu 45,50% genutzt.



**Abb. 5.1:** Differenz zwischen erster und zweiter Ausführung einer Aufgabe durch einen Probanden im TL-Modus je Aufgabe

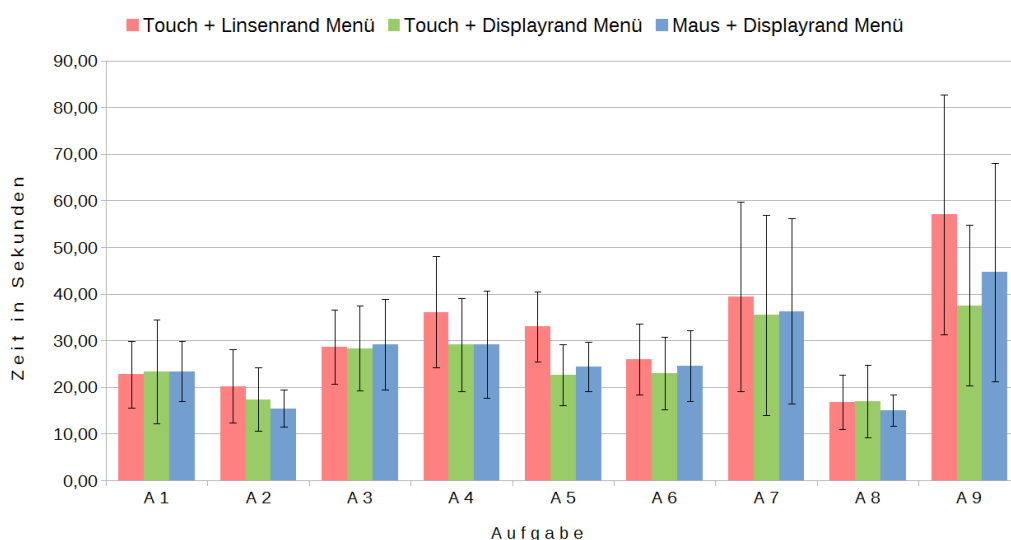
Mit insgesamt 14 Probanden wurde ein zusätzlicher vierter Block im TL-Modus durchgeführt, um zu testen, ob es einen Lerneffekt im Umgang mit dem Menü am Linsenrand gibt. Auch hier wurde die Gesamtzeit je Aufgabe aus den Logging-Daten errechnet. Anschließend wurde die Differenz zwischen der Gesamtzeit je Aufgabe vom ersten und zweiten TL-Block gebildet (Abb. 5.1). Alle Verbesserungen im Durchschnitt ergaben  $-7,61s$  ( $SD=5,47s$ ). Verschlechterungen hatten einen Mittelwert von  $3,83s$  ( $SD=6,56s$ ). Insgesamt ergibt das eine durchschnittliche Veränderung von  $-4,48s$  ( $SD=7,70s$ ).

## 5.1.2 Auswertung

Aus den sich ergebenden Daten wurde zur Veranschaulichung ein Balkendiagramm über Mittelwerte und deren Standardabweichung erstellt (Abb. 5.2). Es lässt sich ableiten, dass Aufgabe eins durchschnittlich am schnellsten im TL-Modus gelöst wurde. Aufgabe zwei und acht wurden am schnellsten im MD-Modus gelöst und die verbleibenden Aufgaben im TD-Modus.

Aufgabe acht schlossen Probanden durchschnittlich am langsamsten im TD-Modus ab, Aufgabe eins und drei hingegen im MD-Modus. Alle anderen Aufgaben haben durchschnittlich am längsten im TL-Modus gebraucht.

Außerdem wird deutlich, dass die Mittelwerte je Aufgaben und Modus meistens sehr nah beieinander liegen. Nur Aufgabe neun fällt aus der Reihe mit stark voneinander abweichenden Mittelwerten je Modus. Entsprechend unterscheiden sich die verschiedenen Modi für die meisten Aufgaben nur geringfügig.

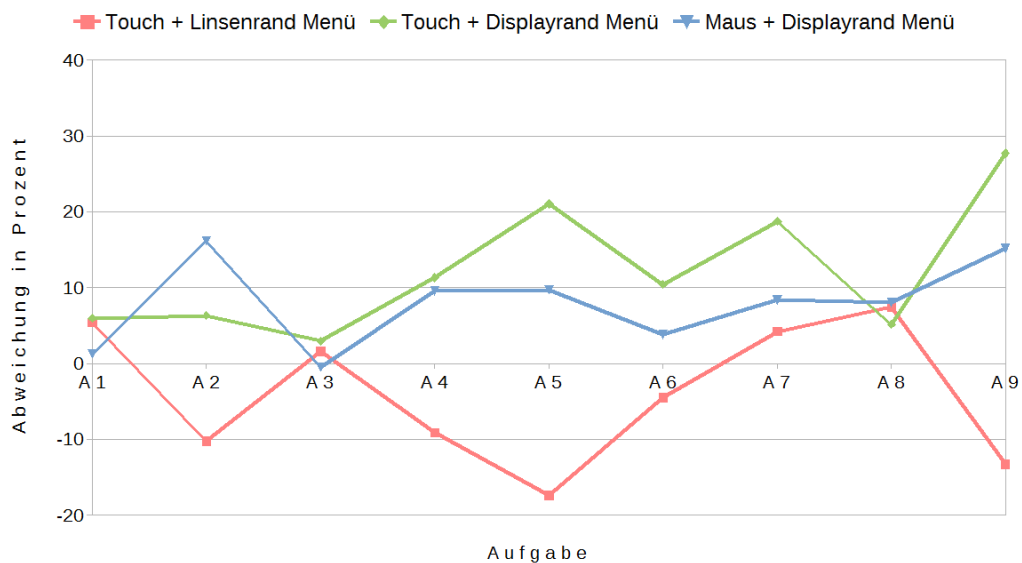


**Abb. 5.2:** durchschnittliche Ausführungszeit (MW) und Standardabweichung (SD) je Aufgabe und Modus über alle Probanden, die Striche markieren dabei den Bereich von  $MW - SD$  bis  $MW + SD$

Die Standardabweichungen je Aufgabe und Modus sind dagegen verhältnismäßig hoch. Besonders Aufgabe vier, sieben und neun haben sehr verstreute Werte. Durch die weite Verteilung der Daten verliert der Mittelwert an Aussagekraft.

Zum Vergleich der prozentualen Abweichung des Mittelwerts je Aufgabe und Modus wurde ein Liniendiagramm erstellt (Abb. 5.3). Es visualisiert, ob Abweichungen der Werte über oder unter dem Mittelwert lagen. Es lagen dabei fünf Aufgaben im TL-Modus und eine Aufgabe im MD-Modus unter dem Durchschnitt. Besonders in Aufgabe zwei, fünf und neun wichen die Werte aller Modi sehr vom Durchschnitt ab. Aufgabe eins - die im vorherigen Vergleich noch durchschnittlich am besten im TL-Modus bestritten wurde - hat hier im TD-Modus bessere Resultate. Im groben Gesamtbild sind die Ergebnisse jedoch ähnlich.

Auch wenn der prozentuale Vergleich eventuelle Unterschiede zwischen Probanden ausgleicht, sind gleichzeitig die Standardabweichungen viel höher. Sie schwanken zwischen Werten von 10,51% bis 43,47%. Entsprechend sind auch diese Daten zu weit verteilt, um eine hohe Aussagekraft zu haben.



**Abb. 5.3:** prozentuale Abweichung vom Mittelwert der Ausführungszeit je Aufgabe und Modus über alle Probanden

Aus den Mittelwerten der Ausführungszeit je Aufgabe lassen sich weitere Mittelwerte je Modus über alle Aufgaben hinweg bilden. Diese zeigen, dass der TL-Modus mit 31,09s am langsamsten, der MD-Modus mit 26,88s in der Mitte und der TD-Modus mit 25,95s am schnellsten war. Bei einer Differenz von 4,21s ließ sich mit dem Menü am Displayrand schneller als mit dem Menü am Linsenrand interagieren. Die Differenz zwischen Touch- und Mausinteraktion bei der Arbeit mit dem Menü am

Displayrand beträgt dagegen nur 0,93s. Insgesamt war entsprechend die Arbeit mit Touch nur minimal schneller.

Insgesamt zeigt sich mit einem Verhältnis von 54,50% (Ziehen) zu 45,50% (Tippen), dass die Probanden die beiden Interaktionsmöglichkeiten mit dem Schieberegler an der Linse fast gleich oft genutzt haben. Auch in der Gruppierung der Probanden waren die Unterschiede nicht groß und es zeigte sich, dass viele sich nicht für eine der Möglichkeiten entschieden haben. Nur 22,73% der Probanden arbeiteten mit größerer Mehrheit in einer der beiden Interaktionsarten. Dabei lag der Unterschied in der Nutzung von Ziehen zu Tippen bei über 90% zu unter 10%. Hingegen 27,73% arbeiten zu 40% bis 60% und demnach nahezu gleich viel in beiden Arten.

Bei der Aktivierung der Schieberegler durch Tippen haben die meisten Probanden den Regler nicht wieder eingeklappt, oder erst wenn dieser im Weg war.

Es lässt sich daraus schlussfolgern, dass zwar weiterhin eine Unterstützung beider Interaktionsarten möglich ist, jedoch das Ziehen, durch das automatische Einklappen, mehr Vorteile für den Nutzer mit sich bringt.

Der Vergleich vom ersten und zweiten Block im TL-Modus zeigte, dass es eine Verbesserung der Performance gab. Dabei haben sich 21,43% der Probanden in allen sechs Aufgaben verbessert. Weitere 57,14% haben mindestens vier von sechs Aufgaben beim zweiten Mal schneller abgeschlossen als im ersten Durchlauf. Das entspricht mehr als drei Viertel der Probanden. Nur 14,29% der Probanden haben sich laut Mittelwert über alle Aufgaben je Proband verschlechtert. Die verbliebenen 85,71% haben sich durchschnittlich verbessert.

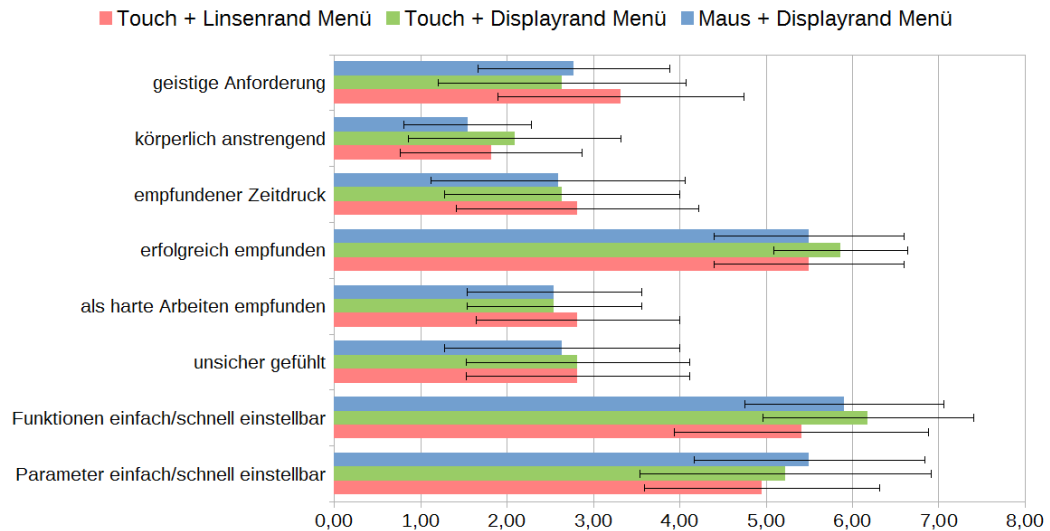
Es kann also insgesamt davon ausgegangen werden, dass ein positiver Lerneffekt vorhanden ist und Nutzer nach längerer Einarbeitung in das Menü am Linsenrand eine bessere Performance erreichen würden.

## 5.2 Qualitative Performance

Die qualitative Performance setzt sich aus den Daten der Fragebögen, direkten Beobachtungen und Kommentaren der Probanden zusammen. Die Fragebögen wurden dafür digitalisiert und ausgewertet. Auffällige Beobachtungen sind während der Durchführung notiert und anschließend zusammengefasst und teilweise mit den Video-Aufnahmen abgeglichen worden.

## 5.2.1 Beobachtung

Jeder Proband hat vier Fragebögen anhand seiner persönlich empfundenen Erfahrung ausgefüllt. Dabei gab es je einen Fragebogen pro Modus und einen abschließenden Vergleich der drei Kombinationen aus Eingabemodalität und Menüart.

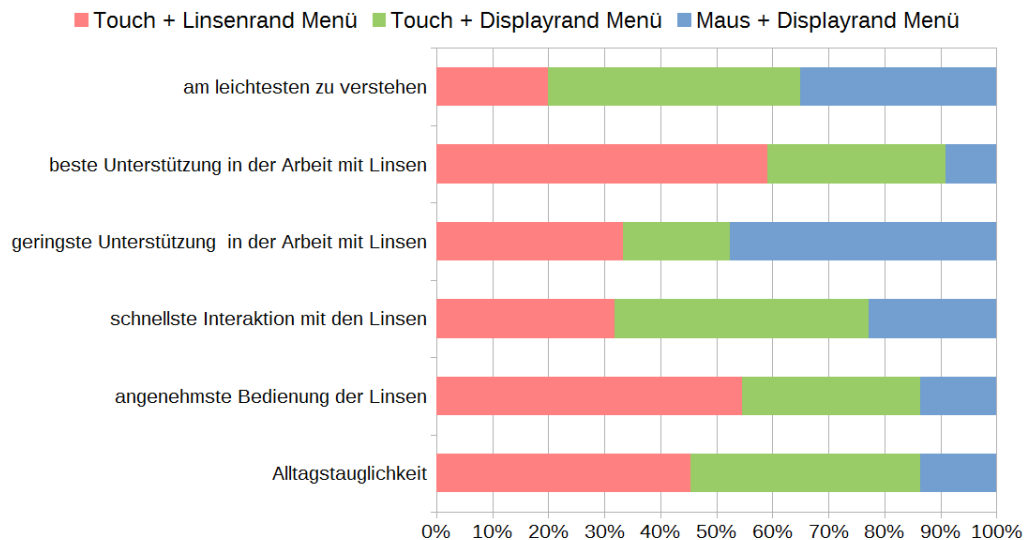


**Abb. 5.4:** Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) je Frage und Modus bewertet auf einer 7-Punkte-Skala, die Striche markieren dabei den Bereich von MW - SD bis MW + SD

In den einzelnen Fragebögen wurden alle Fragen auf einer 7-Punkte-Skala bewertet. Dabei entsprach eins "sehr gering" und sieben "sehr viel". Es wurden acht verschiedene Bewertungen gefordert (Abb. 5.4). Die Standardabweichung über alle drei Modi je Frage war nie größer als 0,4. Die einzelnen Standardabweichungen je Frage, Modus und Proband schwankten zwischen 0,74 und 1,69.

Die *geistige Anforderung* werteten Probanden im TL-Modus durchschnittlich mit 3,32 (SD=1,43), im TD-Modus mit 2,64 (SD=1,43) und im MD-Modus mit 2,77 (SD=1,11). Die *körperliche Anstrengung* wurde im TD-Modus durchschnittlich mit 2,09 (SD=1,23) gewertet. Eine Bewertung von 1,55 (SD=0,74) erhielt der MD-Modus und 1,82 (SD=1,05) der TL-Modus. Der *empfundene Zeitdruck* wurde für den TL-Modus mit einem Mittelwert von 2,82 (SD=1,40) gewertet. Im MD-Modus gaben Probanden durchschnittlich 2,59 (SD=1,47) und im TD-Modus 2,64 (SD=1,36) an. Am *erfolgreichsten fühlten* sich die Probanden nach dem TD-Modus mit einer durchschnittlichen Wertung von 5,86 (SD=0,77). Der TL- und MD-Modus lagen mit einem Mittelwert von 5,50 gleich auf (beide Male SD=1,10). Als *härteste Arbeit* wurde mit 2,82 (SD=1,18) der TL-Modus bewertet. Die anderen beiden Blöcke lagen gleichauf mit einem Mittelwert von 2,55 (beide Male SD=1,01). Am *unsichersten fühlten* sich Probanden gleichermaßen im TD- und TL-Modus. Der Mittelwert lag

bei 2,82 (beide Male SD=1,30). Mit durchschnittlich 2,64 (SD=1,36) wurde der MD-Modus gewertet. Die *Schnelligkeit der Einstellung von Filterfunktionen* werteten die Probanden im Mittel mit 6,18 (SD=1,22) für den TD-Modus, mit 5,41 (SD=1,47) für den TL-Modus und mit 5,91 (SD=1,15) für den MD-Modus. Die *Performance der Parametereinstellung* wurde im TD-Modus durchschnittlich mit 5,23 (SD=1,69), im TL-Modus mit 4,95 (SD=1,36) und im MD-Modus mit 5,50 (SD=1,34) bewertet.



**Abb. 5.5:** prozentuale Auswertung der vergleichenden Wertung der Probanden über die drei Kombinationen von Eingabemodus und Menüart im Vergleich

Der vergleichende Fragebogen umfasste sechs Bewertungen. Es wurden immer alle drei Modi gegenübergestellt. Daraus ließ sich eine prozentuale Verteilung aller Probanden über ihre Präferenzen erstellen (Abb. 5.5).

*Am leichtesten zu verstehen* empfanden 45,00% der Probanden den TD-Modus. 20,00% gaben an, den TL-Modus am leichtesten verstanden zu haben. 35,00% fanden den MD-Modus am verständlichsten. Als die *beste Unterstützung in der Arbeit mit Linsen* bewerteten 59,09% den TL-Modus. Weitere 31,82% stimmten für den TD-Modus ab. 9,09% kreuzten den MD-Modus an. 47,62% der Probanden empfanden, dass der MD-Modus die *Arbeit mit den Linsen am wenigsten unterstützt*. 33,33% gaben den TL- und 19,05% den TD-Modus an. Für die *schnellste Interaktion* kreuzten 45,45% der Probanden den TD-Modus, 31,82% den TL-Modus und 22,73% den MD-Modus an. Als *angenehmste Bedienung der Linsen* empfanden 54,54% der Probanden den TL-Modus. 31,82% stimmten für den TD-Modus und 13,64% für den MD-Modus. 45,45% der Probanden gaben an, sich am ehesten vorstellen zu können, mit dem TL-Modus auch *im Alltag* zu arbeiten. Für den TD-Modus stimmten 40,91% der Probanden und für den MD-Modus 13,64%.



Außerdem hatten alle Probanden die Möglichkeit am Ende des vergleichenden Fragebogens weitere Anmerkungen zu machen. Es wurde danach gefragt, was ihnen Spaß gemacht hat, was ihnen missfallen hat und zusätzlicher Platz für sonstige Bemerkungen gelassen.

Dabei nannten einige Probanden die Arbeit mit den Linsen und den Filterfunktionen als positiven Aspekt. Auch die farbige Umrandung der Linsen je nach aktiven Funktionen wurde aufgezeigt. Der *BringNeighbors* und der *LocalEdge* Filter wurden zudem von Proband 2 gelobt. Auch die Graph-Visualisierung und das visuelle Feedback wurden positiv hervorgehoben.

Der TL-Modus wurde als angenehm empfunden und dessen Kompaktheit mehrfach gelobt. Proband 4 empfand außerdem das Einstellen der Schieberegler bei diesem Menü positiv. Das Menü am Displayrand wurde für die einfache Bedienung und die genaue Einstellung der Werte gelobt. Außerdem stellten mehrere Probanden fest, dass eine schnellere Interaktion als mit dem Menü am Linsenrand möglich ist, da Namen von Funktionen und Parametern direkt sichtbar sind. Insgesamt wurde zudem mehrfach die Bedienung mit Touch im Vergleich zur Maus als schneller und intuitiver bezeichnet.

Es gab zwei große Kritikpunkte. Zum einen bemängelten viele Probanden die Genauigkeit, mit der Parameterwerte eingestellt werden konnten. Das Einstellen wurde teilweise als sehr schwierig empfunden. Es wurde kritisiert, dass es keinen automatischen Sprung auf runde Werte oder die Möglichkeit einer zusätzlichen Tastaturnutzung gab. Die Skalierung des Schiebereglers am Linsenrand wurde außerdem negativ betont, da es Probanden schwer fanden abzuschätzen, wo genau welcher Wert auf der Skala liegt. Manchen Probanden war zudem die Richtung der Regler unklar und sie haben erst durch Austesten festgestellt, wo der Wert größer und kleiner wird.

Der zweite große Kritikpunkt war, dass die Funktionen und Parameter hinter den Icons nicht direkt ersichtlich waren. Einige Probanden stellten fest, dass sie nach einer Einarbeitungsphase sicher gut nutzbar wären, andere bezeichneten die Icons als unverständlich. Allgemein wurde kritisiert, dass die entsprechenden Buttons, besonders bei den Parameterwerten, erst angetippt werden mussten, um den Namen dazu zu sehen. Außerdem wurden diese teilweise als zu klein empfunden und es wurde bemängelt, dass der Name nicht immer ausgeschrieben war. Einige Probanden merkten an, dass ihr Finger das Label eines Parameterwertes bei dessen Einstellung über den TD-Modus verdeckt. Proband 6 empfand das Menü am Linsenrand insgesamt als nicht intuitiv.

## 5.2.2 Auswertung

Aus den Fragebögen ergibt sich, dass die Arbeit im TL-Modus Probanden die vergleichsweise höchste geistige Anforderung und den höchsten Zeitdruck empfinden ließ. Außerdem empfanden sie es als härteste Arbeit. Die durchschnittliche Wertung blieb dabei aber immer unter der Hälfte von 3,50. Probanden empfanden durchschnittlich die Filter- und Parametereinstellung über den TL-Modus, am wenigsten einfach und schnell zu bedienen. Sie fühlten sich gleichermaßen am unsichersten im TL- und TD-Modus und am wenigsten erfolgreich im TL- und MD-Modus. Die Differenzen der Mittelwerte aller Aufgaben und Modi schwankte jedoch nur zwischen 0,18 und 0,77. Insgesamt wurden die drei Modi entsprechend relativ ähnlich bewertet.

Die Standardabweichungen schwankten zwischen 0,74 und 1,69. Im Verhältnis ist das für eine 7-Punkte-Skala bereits recht hoch. Die Ergebnisse sind, ähnlich wie die quantitativen Daten, relativ weit verstreut.

Der direkte Vergleich im finalen Fragebogen zeigte, dass Probanden den TL-Modus als beste Unterstützung in der Arbeit mit Linsen empfanden. Sie gaben zudem am häufigsten an, dass er am alltagstauglichsten ist und die angenehmste Bedienung der Linsen bietet. Nur beim Verständnis erhielt der TL-Modus die geringste Wertung. Insgesamt wurde der MD-Modus am schlechtesten bewertet. Insbesondere bei den Kategorien Unterstützung im Alltag und bei der Arbeit waren die Probanden sich im Durchschnitt einig, dass beide Touchinteraktionen besser geeignet sind. Der TD-Modus erhielt beste Wertungen für leichtes Verständnis und schnelle Interaktion mit den Linsen. Auch in den anderen Kategorien hatte er durchschnittlich gute Bewertungen.

Die Standardabweichung dieses Fragebogens schwankte zwischen 11,44% und 25,03%. Im Verhältnis ist das eine eher geringe Abweichung und entsprechende Streuung der Daten.

Weiterhin machte Proband 2 als Anmerkung eine widersprüchliche Aussage. Es wurde unter möglichen Anpassungen aufgezählt: "Ausblenden von Kanten bei *LocalEdge*, wenn sie nur 'durch' die Linse gehen". Tatsächlich setzt der Filter jedoch genau diesen Effekt um. Die Funktion wurde vermutlich nicht richtig verstanden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Probanden das Menü am Linsenrand für die gegebene Arbeit als am nützlichsten empfanden. Sie haben sich dafür aber auch noch unsicher und mehr gefordert fühlt. Die Interaktion via Touch als auch das Menü am Displayrand wurden durchschnittlich bevorzugt, auch wenn viele Probanden das neuartige Menü mochten.

Während der Durchführung sind Beobachtungen zu vielen Problemen und dem Umgang mit den Linsen und Funktionen notiert worden. Die bereits erwähnten Probleme mit der Zuordnung von Funktionen zu ihren Icons im TL-Modus und das Verdecken des Labels eines Parameterwertes im TD-Modus spiegeln sich hier wieder. Einige Probanden sprachen diese sogar direkt während der Durchführung an. Ein Großteil der Probanden arbeitete einhändig. Nur wenige benutzten zusätzlich ihre nicht-dominante Hand für Tätigkeiten wie das Betätigen des Ende-Buttons oder zur Arbeit an mehreren Linsen gleichzeitig. Proband 8 hat im TD-Modus beidhändig gearbeitet und dabei mit einer Hand die Linse positioniert und gleichzeitig im Menü Funktionen und Parameter eingestellt.

Viele Probanden haben stark mit der Gedächtnisstütze in der Aufgabe gearbeitet und teilweise die Aufgabenstellung zuvor nur sehr flüchtig gelesen. Dadurch mussten sie zum einen viel hin- und hersehen. Durch die große Entfernung zum Menü trat dies besonders viel im TD- und MD-Modus auf. Zum anderen lösten manche Probanden dadurch die Aufgaben unvollständig oder komplett falsch. Außerdem machten manche Probanden eine längere Pause nach dem eigentlichen Abschließen der Aufgabe, um anhand der Gedächtnisstütze zu kontrollieren, ob sie alles richtig gemacht haben. Entsprechend sind viele der zuvor verglichenen Gesamtzeiten je Aufgabe größer als die eigentliche Umsetzung dauerte.

Einige Probanden beachtetten die Reihenfolge der einzelnen Schritte einer Aufgabe nicht und teilweise wurden Linsen nicht auf die geforderte Position geschoben. Manche Probanden haben zudem mehr Funktionen eingestellt als nötig. Dies schien meistens durch die Verwirrung über die einzelnen Funktionen zu kommen oder dadurch, dass die Aufgabenstellung nicht richtig gelesen wurde. Manchmal schienen die Probanden aber auch nur die Funktionen auszuprobieren.

Es gab zudem Verständnisprobleme bei einzelnen Filterfunktionen, trotz ausführlicher Erklärung in der Testphase und der Möglichkeit Fragen zu stellen. Insbesondere mit der *BringNeighbors* Funktion hatten Probanden Probleme.

Auch mit dem Verständnis der explorativen Aufgaben hatten viele Probanden Schwierigkeiten. In Aufgabe sieben bestand die Möglichkeit zwei Linsen zu nutzen, wovon nur wenige Probanden Gebrauch machten. Dadurch nutzten sie oft die zwei empfohlenen Filterfunktionen in der selben Linse und hatten eine weniger übersichtliche Ansicht. Manchmal verwendeten sie auch gänzlich andere Funktionen bei dem Versuch die richtige Lösung zu finden.

Aufgabe neun wurde oft zusätzlich mit der *BringNeighbors* Funktion gelöst oder nur mit dieser und ohne den empfohlenen *LocalEdge* Filter. Wenn Probanden jedoch mit letzterem arbeiteten, ließen sie oft die Linse zu groß und kamen so auf ein falsches Ergebnis. Proband 10 machte diesen Fehler in der ersten Runde und konnte in der

zweiten Trainingsphase nach dem erneuten Hinweis, dass die *LocalEdge* Funktion am Besten bei kleinen Linsen funktioniert, sofort den Rückschluss ziehen, dies in Aufgabe neun anzuwenden.

Insgesamt wurden in Aufgabe sieben und neun oft mehr oder falsche Knoten, als richtig gewesen wäre, selektiert. Am schlechtesten verstanden die Probanden Aufgabe acht und neun. Zusätzlich war es einigen Probanden nicht aus der Aufgabenstellung ersichtlich, dass bei Aufforderung einen Knoten zu markieren, die Lösung und nicht der Ausgangsknoten gemeint war. Dadurch wurden mehrmals die falschen Knoten selektiert. Manche Probanden waren im zweiten oder dritten Block irritiert, da ihnen ihr Fehler auffiel.

Während der Interaktion mit der Maus haben manche Probanden versucht die Linsen durch ein Doppelklicken zu selektieren. Im TD-Modus wurde der Radius manchmal über den Schieberegler im Menü statt durch direkte Interaktion mit der Linse eingestellt.

Bei der Arbeit mit dem Menü am Displayrand haben einige Probanden die Schieberegler nicht geschoben sondern durch Klicken eingestellt. Sie merkten im TL-Modus an, dass sie auch hier gern die Parameter durch Tippen statt Ziehen manipuliert hätten. Außerdem kam es bei Aufgaben mit mehreren Linsen vor, dass Probanden nicht die gewünschte Linse selektiert hatten und an der falschen Linse Änderungen vornahmen.

Einige Probanden kommentierten den entsprechenden Vorteil des anderen Menüs, immer die richtige Linse zu verändern. Außerdem fiel einigen auf, dass sie am Linsenrand-Menü mehrere Linsen gleichzeitig bearbeiten konnten. Es gab manchmal Probleme, da die Buttons der Filterfunktionen außerhalb des Displays sein können, wenn die Linse sich am oberen Rand befand. Linsen mussten dadurch zusätzlich bewegt oder skaliert werden. Außerdem merkte Proband 16 an, dass die Beschriftung der Filter nicht mehr richtig gelesen werden kann, wenn der Linsenrand durch viele aktive Funktionen zu breit wird. In seltenen Fällen kam es zudem vor, dass Parameter trotz Farbkodierung in den falschen Filterfunktionen gesucht wurden.

Das Bewegen einer Linse mit aktivem *BringNeighbors* Filter war sehr langsam und das Zentrieren eines Knotens meist schwierig. Viele Probanden schalteten daher den Filter kurzzeitig aus, oder stellten den *Degree* auf 0, um die Positionierung der Linse zu erleichtern. Außerdem bemängelte Proband 9, dass der Schieberegler für *Degree* nicht ideal skaliert wäre und das Einstellen so erschwert.

Es lassen sich zusammenfassend viele Faktoren wie Unsicherheit und Verwirrung der Probanden feststellen, durch die es zu Verzögerungen bei der Durchführung kam. Insbesondere das fehlende Wissen über Linsen und die angewendeten Filterfunktionen wurde deutlich und bildet einen großen Einflussfaktor auf die Performance.

# Schlussfolgerung

## 6.1 Fazit

Die Studie hat gezeigt, dass das neuartige Multitouch-basierte Kontextmenü geringfügig langsamer in der Ausführung war. Dafür war es jedoch bei den Probanden beliebter und wurde für die Arbeit mit Linsen bevorzugt. Es ließ sich außerdem ein Lerneffekt nachweisen. Es ist möglich, dass nach einer längeren Einarbeitungsphase das Menü am Linsenrand mit einem klassischen Menü konkurrieren kann.

Im Gesamtbild schnitt das Menü am Displayrand mit Touchinteraktion am besten in Bezug auf Performance ab. Außerdem wurde es von den meisten Probanden als schnellste Interaktion bewertet. Es wurde also nicht nur schneller via Multitoucheingabe mit Menü am Displayrand (TD-Modus) gearbeitet, Probanden waren sich dessen auch bewusst. Allerdings ist zu beachten, dass die Daten sehr verstreut waren und so die Aussagekraft des Studienergebnisses gemindert wurde.

Der Unterschied zwischen Touch- und Mausinteraktion war nur sehr gering. Auch wenn Toucheingabe dabei minimal schneller war, zeigten sich in der qualitativen Auswertung Probleme mit Verdeckung. Außerdem nutzten die Probanden kaum das volle Potential des Multitouchdisplays aus. Nur selten wurde beidhändig gearbeitet und meist bestand die Interaktion nur aus Tippen und Ziehen mit einem Finger.

Dies entspricht bisherigen Studienergebnissen über den Vergleich von Touch- und Mauseingabe. Aber auch die zuvor angedeuteten Limitierungen von klassischer Menü-Interaktion mit Multitouch werden dadurch unterstrichen. Obwohl das Menü am Linsenrand dafür entwickelt wurde, unterstützt es in der evaluierten Version nicht das volle Potential von Multitouch.

Aus der Gegenüberstellung der beiden Interaktionsmöglichkeiten mit dem Schieberegler am Linsenrand ging hervor, dass beides nahezu gleich oft genutzt wurde. Viele Probanden beschränkten sich nicht auf eine der beiden Möglichkeiten. Es lässt sich also keine eindeutige Präferenz feststellen.

Da ausschließlich erfolgreiche Interaktionen mit den Linsen und Menüs geloggt wurden, ist es schwer abzuschätzen, wie hoch eventuelle Fehlerraten sind. Aus den Beobachtungen und Kommentaren der Probanden lässt sich allerdings ableiten, dass sie keine größeren Probleme mit der Interaktion über Touch oder Maus hatten. Dafür

kam es aufgrund der Probleme mit der Zuordnung von Bezeichnung zu Icon zu viel mehr unnötigen Selektionen der Filterfunktionen und Parameterwerte bei der Arbeit mit dem Menü am Linsenrand.

In der Studie zeigten sich zudem einige qualitative Vor- und Nachteile der getesteten Eingabe- und Menüarten. So wurde deutlich, dass das Menü am Linsenrand simultane Interaktion an mehreren Linsen gleichzeitig ermöglicht. Dadurch ist es insbesondere auch für Gruppenarbeiten gut geeignet. Dahingegen müssen bei diesem Menü die Icons erst gelernt werden, um schnelles und fehlerfreies Arbeiten zu ermöglichen.

Das Menü am Displayrand hat den Vorteil, dass die Namen der Filterfunktionen und Parameter direkt sichtbar sind. Probanden konnten so schneller der Aufgabelösung folgen. Dafür ist das Menü von der Linse distanziert und es fehlt so ein direkter Bezug. Es kann dazu kommen, dass Nutzer versehentlich Einstellungen an der falschen Linse vornehmen. Außerdem muss der Nutzer mehr hin- und hersehen und kann sich nicht auf den wichtigen Bereich des Displays konzentrieren. Bei der Interaktion mit Touch werden zudem die Label der Parameterwerte teilweise vom Finger verdeckt. Die Multitouchinteraktion ermöglicht paralleles und beidhändiges Arbeiten und bietet einen Geschwindigkeitsvorteil gegenüber der Mausinteraktion. Außerdem kann mit der Maus ausschließlich sequenziell gearbeitet werden.

Verschiedene Faktoren könnten das Ergebnis der Evaluation beeinflusst haben. Einige Probanden hatten große Verständnisprobleme mit den Filterfunktionen. Dadurch kam es zu Verzögerungen oder gänzlich unverwertbaren Daten.

Die Präsentation der Aufgabenstellung, insbesondere der Gedächtnisstütze während der Durchführung einer Aufgabe, könnte ebenfalls ein Einflussfaktor sein. Probanden haben viel anhand der Gedächtnisstütze gearbeitet und dadurch zusätzliche Zeit an der Aufgabe verbracht. Außerdem neigten sie dazu, am Ende jeder Aufgabelösung ihr Ergebnis mit der Aufgabenstellung zu vergleichen.

Die Richtung und Skalierung der Schieberegler des Menüs am Linsenrand hatte einige Probanden verwirrt. Eine mögliche Fehlerquelle hierzu könnte sein, dass Regler standardmäßig von links (klein) nach rechts (groß) reguliert werden, so auch in dem implementierten Menü am Displayrand. Die Schieberegler am Linsenrand verlaufen allerdings von rechts unten (klein) nach links oben (groß).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Multitouch-basierte Kontextmenü zwar eine schlechtere quantitative Performance zeigte, jedoch bei den Probanden beliebter war. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit geübten Nutzern oder einer längeren Einarbeitungsphase zu den Filterfunktionen und Menüs ein aussagekräftigeres Ergebnis möglich ist.

## 6.2 Ausblick

Aus der Nutzerkritik und den Schlussfolgerungen der Studie lassen sich viele Verbesserungsmöglichkeiten für zukünftige Studien und den Prototypen ableiten. Durch eine Anpassung der Aufgabenimplementierung können die Ergebnisse verbessert werden. Eine Aufgabe könnte automatisch beendet werden, sobald sie korrekt abgeschlossen wurde. Außerdem kann es helfen, kürzere Aufgaben in höherer Anzahl zu stellen. So könnte die Gedächtnisstütze überflüssig und Probanden weniger abgelenkt werden. Außerdem könnten die Aufgaben durch eine Kürzung einfacher werden.

Ein anderer Ansatz ist die Möglichkeit eine Aufgabe neu zu starten. Oft hatten Probanden nur Probleme mit dem Verständnis der Filterfunktion. So hätte man diese erneut erklären und im Anschluss einfach die Aufgabe neu starten können. Es besteht jedoch die Gefahr, dass dadurch die Daten zusätzlich verfälscht werden. Außerdem könnte eine längere Einarbeitungsphase zu den Filterfunktionen und ihren Parametern helfen. Man könnte bereits in der Trainingsphase Übungen stellen, die ähnlich aufgebaut sind wie die tatsächlichen Aufgaben. Zudem wäre eine Option das Verständnis der Funktionen zu testen, indem Probleme geschildert werden und Probanden erkennen sollen, welche Filter sie zur Lösung nutzen können.

Für eine zukünftige Studie kann es außerdem interessant sein, statt nur des Menüs am Linsenrand auch die in dieser Evaluation weggelassenen Funktionen zu testen. Insbesondere die Gesten, durch die ein Experten-Modus ermöglicht wird, sind für eine Nutzerstudie interessant. Es wäre unter anderem ein direkter Vergleich des Novizen- und Experten-Modus möglich. Da jedoch besonders bei Gesten eine längere Lernphase nötig ist, ist hier einerseits eine Anpassung der Durchführung nötig, damit Probanden mehr Zeit haben, sich alle Gesten und Icons einzuprägen. Andererseits besteht auch die Möglichkeit - ähnlich zu einem *Marking Menu* - ein automatisches Lernen der Experten-Gesten zu ermöglichen. Gesten könnten visuell dargestellt werden und dadurch dem Nutzer die Möglichkeit geben, diese direkt nachzuzeichnen. Zudem könnte getestet werden, wie gut Nutzer mit weiteren Interaktionsmöglichkeiten, wie dem Zusammenführen von Linsen, umgehen können.

Eine weitere Option für eine zukünftige Studie ist eine Anpassung der Icons und Beschriftung des Menüs am Linsenrand. Allerdings sind die Möglichkeiten dazu eher beschränkt. Der große Vorteil des Menüs ist dessen Kompaktheit. Dieser sollte dabei auf keinen Fall verloren gehen.

Um die Probleme mit dem Schieberegler an der Linse zu umgehen, könnte man diesen in zukünftigen Implementierungen horizontal spiegeln. Der Regler wäre somit von unten links (klein) nach oben recht (groß) regulierbar und damit näher am Standard. Es kann zusätzlich die Möglichkeit, auch diesen Schieberegler durch

Tippen einzustellen, implementiert werden. Außerdem ist eine Anpassung zur automatischen Rundung von Parameterwerten erstrebenswert, um den Nutzern die Aufgabenlösung so zu erleichtern.

In anderen Studien wurden zudem interessante Lösungsansätze präsentiert, die auch hier greifen könnten. Tominski et al. schlug vor, eine Methode zu implementieren, durch die Position und Größe einer Linse automatisch angepasst werden [Tom+14]. Damit könnten Nutzer in ihrer Arbeit unterstützt und zu interessanten Ergebnissen geleitet werden. Vor allem aber könnte man so Unterstützungen für Filterfunktionen umsetzen. Beispielsweise bei aktivierter *LocalEdge* Funktion könnte eine Linse automatisch verkleinert werden, insbesondere wenn Knoten nur teilweise in den Bereich der Linse ragen.

Probleme mit Verdeckung könnten beispielsweise mit *Occlusion Aware Interfaces* reduziert werden [VB10]. Diese Technik erkennt, welche Bereiche des Displays verdeckt sind und passt entsprechend die Visualisierung an. Dadurch könnten die Probleme mit der Verdeckung der Labels umgangen werden, aber auch für das Menü am Linsenrand könnte eine ähnliche Anpassung hilfreich sein. So wäre es möglich zu verhindern, dass Bereiche des Menüs nicht sichtbar sind, weil die Linse aus dem Bildschirmbereich ragt. Die Icons könnten sich beispielsweise anders um die Linse verteilen, um weiterhin sichtbar zu sein.

Eine weitere Nutzerstudie durchzuführen wäre demzufolge eine vielversprechende Möglichkeit weitere Daten zu sammeln und festgestellte Fehler und Probleme zu beheben. Die hohe Streuung der Daten könnte dadurch vermindert und ein aussagekräftigeres Ergebnis erreicht werden. Auch eine Widerlegung der hier erlangten Erkenntnisse wäre durchaus möglich. Außerdem wäre es interessant zu sehen, wie die Gesten des Experten-Modus in einer Evaluation abschneiden würden.

Abschließend lässt sich also sagen, dass eine erneute Studie - nach Verfeinerung des Prototypen und Aufgabenablaufs - neue Daten liefern kann und entsprechend sinnvoll ist. Aus der aktuellen Evaluation konnten bereits viele Informationen und Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden. Außerdem lässt sich aufgrund des hohen Potenzials von Multitouchanwendungen davon ausgehen, dass aus einer weiteren Iteration der Studie wertvolle Erkenntnisse und Ideen hervorgehen.



# Literatur

- [Bai+08] Gilles Bailly, Eric Lecolinet und Laurence Nigay. „Flower Menus: A New Type of Marking Menu with Large Menu Breadth, Within Groups and Efficient Expert Mode Memorization“. In: *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. AVI '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, S. 15–22 (zitiert auf Seite 16).
- [Bai+10] Gilles Bailly, Eric Lecolinet und Yves Guiard. „Finger-count & Radial-stroke Shortcuts: 2 Techniques for Augmenting Linear Menus on Multi-touch Surfaces“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '10. New York, NY, USA: ACM, 2010, S. 591–594 (zitiert auf den Seiten 12, 15, 16).
- [Beh+12] Elham Beheshti, Anne Van Devender und Michael Horn. „Touch, Click, Navigate: Comparing Tabletop and Desktop Interaction for Map Navigation Tasks“. In: *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. ITS '12. New York, NY, USA: ACM, 2012, S. 205–214 (zitiert auf Seite 11).
- [Ben+06] Hrvoje Benko, Andrew D Wilson und Patrick Baudisch. „Precise Selection Techniques for Multi-touch Screens“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '06. New York, NY, USA: ACM, 2006, S. 1263–1272 (zitiert auf Seite 12).
- [BH99] Ravin Balakrishnan und Ken Hinckley. „The Role of Kinesthetic Reference Frames in Two-handed Input Performance“. In: *Proceedings of the 12th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST '99. New York, NY, USA: ACM, 1999, S. 171–178 (zitiert auf Seite 12).
- [Bi+11] Xiaojun Bi, Tovi Grossman, Justin Matejka und George Fitzmaurice. „Magic Desk: Bringing Multi-touch Surfaces into Desktop Work“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, S. 2511–2520 (zitiert auf Seite 14).
- [Bie+94] Eric A Bier, Maureen C Stone, Ken Pier et al. „Toolglass and Magic Lenses: The See-through Interface“. In: *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. CHI '94. New York, NY, USA: ACM, 1994, S. 445–446 (zitiert auf den Seiten 1, 5).
- [Car+99] Stuart K Card, Jock D Mackinlay und Ben Shneiderman. *Readings in information visualization: using vision to think*. Morgan Kaufmann, 1999 (zitiert auf Seite 7).

- [Coc+09] Andy Cockburn, Amy Karlson und Benjamin B Bederson. „A Review of Overview+Detail, Zooming, and Focus+Context Interfaces“. In: *ACM Comput. Surv.* 41.1 (2009), 2:1–2:31 (zitiert auf Seite 7).
- [Coc+12] A Cockburn, D Ahlström und C Gutwin. „Understanding Performance in Touch Selections: Tap, Drag and Radial Pointing Drag with Finger, Stylus and Mouse“. In: *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 70.3 (2012), S. 218–233 (zitiert auf den Seiten 9, 11, 12).
- [DK11] Sashikanth Damaraju und Andruid Kerne. „Comparing Multi-touch Interaction Techniques for Manipulation of an Abstract Parameter Space“. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces*. ICMI '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, S. 221–224 (zitiert auf Seite 9).
- [Fin+13] Leah Findlater, Jon E Froehlich, Kays Fattal, Jacob O Wobbrock und Tanya Dastyar. „Age-related Differences in Performance with Touchscreens Compared to Traditional Mouse Input“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '13. New York, NY, USA: ACM, 2013, S. 343–346 (zitiert auf den Seiten 9–11).
- [For+07] Clifton Forlines, Daniel Wigdor, Chia Shen und Ravin Balakrishnan. „Direct-touch vs. Mouse Input for Tabletop Displays“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '07. New York, NY, USA: ACM, 2007, S. 647–656 (zitiert auf den Seiten 9, 12–14).
- [Fur06] George W Furnas. „A Fisheye Follow-up: Further Reflections on Focus + Context“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '06. New York, NY, USA: ACM, 2006, S. 999–1008 (zitiert auf Seite 6).
- [HB04] Mark S Hancock und Kellogg S Booth. „Improving Menu Placement Strategies for Pen Input“. In: *Proceedings of Graphics Interface 2004*. GI '04. School of Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada: Canadian Human-Computer Communications Society, 2004, S. 221–230 (zitiert auf Seite 15).
- [Hor+08] Eva Hornecker, Paul Marshall, Nick Sheep Dalton und Yvonne Rogers. „Collaboration and Interference: Awareness with Mice or Touch Input“. In: *Proceedings of the 2008 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*. CSCW '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, S. 167–176 (zitiert auf den Seiten 11, 12).
- [Jet+12] Hans-Christian Jetter, Svenja Leifert, Jens Gerken, Sören Schubert und Harald Reiterer. „Does (Multi-)Touch Aid Users' Spatial Memory and Navigation in 'Panning' and in 'Zooming & Panning' UIs?“ In: *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. AVI '12. New York, NY, USA: ACM, 2012, S. 83–90 (zitiert auf den Seiten 9, 11).
- [Kar+86] J Karat, J E McDonald und M Anderson. „A Comparison of Menu Selection Techniques: Touch Panel, Mouse and Keyboard“. In: *Int. J. Man-Mach. Stud.* 25.1 (1986), S. 73–88 (zitiert auf Seite 9).
- [KB93] Gordon Kurtenbach und William Buxton. „The Limits of Expert Performance Using Hierarchic Marking Menus“. In: *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '93. New York, NY, USA: ACM, 1993, S. 482–487 (zitiert auf Seite 15).

- [Kin+09] Kenrick Kin, Maneesh Agrawala und Tony DeRose. „Determining the Benefits of Direct-touch, Bimanual, and Multifinger Input on a Multitouch Workstation“. In: *Proceedings of Graphics Interface 2009*. GI '09. Toronto, Ont., Canada, Canada: Canadian Information Processing Society, 2009, S. 119–124 (zitiert auf den Seiten 9, 12, 13).
- [Kis+14] Ulrike Kister, Patrick Reipschläger und Raimund Dachzelt. „Multi-Touch Manipulation of Magic Lenses for Information Visualization“. In: *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. ITS '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, S. 431–434 (zitiert auf den Seiten 1, 8, 25).
- [LC11] Ioannis Leftheriotis und Konstantinos Chorianopoulos. „User Experience Quality in Multi-touch Tasks“. In: *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*. EICS '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, S. 277–282 (zitiert auf den Seiten 9–11).
- [Lep+10] G Julian Lepinski, Tovi Grossman und George Fitzmaurice. „The Design and Evaluation of Multitouch Marking Menus“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '10. New York, NY, USA: ACM, 2010, S. 2233–2242 (zitiert auf den Seiten 15, 16).
- [Mat+09] Justin Matejka, Tovi Grossman, Jessica Lo und George Fitzmaurice. „The Design and Evaluation of Multi-finger Mouse Emulation Techniques“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, S. 1073–1082 (zitiert auf Seite 9).
- [Mey+94] Shawna Meyer, Oryx Cohen und Erik Nilsen. „Device Comparisons for Goal-directed Drawing Tasks“. In: *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. CHI '94. New York, NY, USA: ACM, 1994, S. 251–252 (zitiert auf den Seiten 9, 14).
- [MH08] Tomer Moscovich und John F Hughes. „Indirect Mappings of Multi-touch Input Using One and Two Hands“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, S. 1275–1284 (zitiert auf Seite 12).
- [MTS08] Christian Müller-Tomfelde und Claudia Schremmer. „Touchers and Mousers: Commonalities and Differences in Co-located Collaboration with Multiple Input Devices“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, S. 1149–1152 (zitiert auf den Seiten 11, 12).
- [PD10] Bernhard Preim und Raimund Dachzelt. *Interaktive Systeme Band 2*. ISBN: 978-3-642-05401-3. Springer Vieweg, 2010 (zitiert auf den Seiten 10, 14, 28, 29).
- [PH12] Esben Warming Pedersen und Kasper Hornbæk. „An Experimental Comparison of Touch Interaction on Vertical and Horizontal Surfaces“. In: *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design*. NordiCHI '12. New York, NY, USA: ACM, 2012, S. 370–379 (zitiert auf den Seiten 12–14).
- [Rou+14] Anne Roudaut, Gilles Bailly, Laurence Nigay, Anne Roudaut und Gilles Bailly. „Leaf Menus : Linear Menus with Stroke Shortcuts for Small Handheld Devices To cite this version : Leaf Menus : Linear Menus with Stroke Shortcuts for“. In: (2014) (zitiert auf Seite 16).

- [Sch+10] Sebastian Schmidt, Miguel A Nacenta, Raimund Dachzelt und Sheelagh Carpendale. „A Set of Multi-touch Graph Interaction Techniques“. In: *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. ITS '10. New York, NY, USA: ACM, 2010, S. 113–116 (zitiert auf den Seiten 6, 7).
- [SS91] Andrew Sears und Ben Shneiderman. „High Precision Touchscreens: Design Strategies and Comparisons with a Mouse“. In: *Int. J. Man-Mach. Stud.* 34.4 (1991), S. 593–613 (zitiert auf den Seiten 9, 12).
- [Tom+06] Christian Tominski, James Abello, Frank Van Ham und Heidrun Schumann. „Fisheye tree views and lenses for graph visualization“. In: *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation* (2006), S. 17–24 (zitiert auf Seite 8).
- [Tom+09] Christian Tominski, James Abello und Heidrun Schumann. „CGV-An interactive graph visualization system“. In: *Computers and Graphics (Pergamon)* 33.6 (2009), S. 660–678 (zitiert auf Seite 6).
- [Tom+14] C Tominski, S Gladisch, U Kister, R Dachzelt und H Schumann. „A Survey on Interactive Lenses in Visualization“. In: *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis)* (2014) (zitiert auf den Seiten 1, 5–7, 48).
- [Tom+16] Christian Tominski, Stefan Gladisch, Ulrike Kister, Raimund Dachzelt und Heidrun Schumann. „Interactive Lenses for Visualization: An Extended Survey“. In: *Computer Graphics Forum* (2016) (zitiert auf Seite 8).
- [VB10] Daniel Vogel und Ravin Balakrishnan. „Occlusion-aware Interfaces“. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '10. New York, NY, USA: ACM, 2010, S. 263–272 (zitiert auf Seite 48).
- [Vil+09] Nicolas Villar, Shahram Izadi, Dan Rosenfeld et al. „Mouse 2.0: Multi-touch Meets the Mouse“. In: *Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. UIST '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, S. 33–42 (zitiert auf Seite 10).
- [Voi+09] Stephen Volda, Matthew Tobiasz, Julie Stromer, Petra Isenberg und Sheelagh Carpendale. „Getting Practical with Interactive Tabletop Displays: Designing for Dense Data, "Fat Fingers,"Diverse Interactions, and Face-to-face Collaboration“. In: *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. ITS '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, S. 109–116 (zitiert auf Seite 12).
- [Won+03] Nelson Wong, Sheelagh Carpendale und Saul Greenberg. „EdgeLens: An interactive method for managing edge congestion in graphs“. In: *Proceedings - IEEE Symposium on Information Visualization, INFO VIS 2003* (2003), S. 51–58 (zitiert auf Seite 6).
- [Zab11] Stanislaw Zabramski. „Careless Touch: A Comparative Evaluation of Mouse, Pen, and Touch Input in Shape Tracing Task“. In: *Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference*. OzCHI '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, S. 329–332 (zitiert auf Seite 9).
- [ZZ14] Yuguang Zeng und Jingyuan Zhang. „Multiple User Context Menus for Large Displays“. In: *Proceedings of the 2014 ACM Southeast Regional Conference*. ACM SE '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, 44:1–44:4 (zitiert auf Seite 15).

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Ausgangssituation des Prototypen: (a) verschiedene Linsen mit unterschiedlichen Filterfunktionen, eine mit aktivem Kontextmenü, (b) eine Linse während der Bearbeitung eines Parameterwertes . . . . .	2
2.1	Filterfunktionen an verschiedenen Beispielen: (a) einfache Vergrößerung, (b) <i>Fisheye</i> Filter Verzerrung, (c) <i>LayoutLens</i> [Tom+14] . . . . .	5
2.2	LibreOffice Impress: Beispiel einer Overview+Detail Darstellung . . . . .	7
2.3	Direkte Manipulation eines Graphen durch <i>TouchBinding</i> : Ausführung einer Trichter-förmigen Geste, um mehrere Kanten zu bündeln [Sch+10] . . . . .	7
2.4	Konzept der Visualisierung einer Linse [Tom+16] . . . . .	8
2.5	Gegenüberstellung der qualitativen Resultate über: (a) Selektion beweglicher Objekte, (b) Andocken von Objekten [LC11] . . . . .	10
2.6	Gegenüberstellung der Ausführungszeit von Touch- und Mauseingabe im Vergleich von jüngeren und älteren Erwachsenen [Fin+13] . . . . .	10
2.7	Vergleich der Ausführungszeiten je Aufgabenart mit Touch, Maus und Stylus [Coc+12] . . . . .	11
2.8	Verhältnis der Ausführungszeit zur Anzahl von zu selektierenden Zielen für Maus, Touch und Multitouch [Kin+09] . . . . .	13
2.9	Unterschiedliche Kontaktfläche des Fingers mit: (a) vertikalem Display, (b) horizontalem Display [For+07] . . . . .	13
2.10	Multitouch <i>Marking Menu</i> [Lep+10] . . . . .	15
2.11	<i>Leaf Menu</i> [Rou+14] . . . . .	16
3.1	Designentwürfe des globalen Menüs: (a) Entwurf Nr. 1, (b) Entwurf Nr. 2 . . . . .	18
3.2	Designentwürfe des globalen Menüs: (a) Entwurf Nr. 3, (b) Entwurf Nr. 4 . . . . .	19
3.3	Designentwürfe des globalen Menüs: (a) Entwurf Nr. 5, (b) Entwurf Nr. 6 . . . . .	19
3.4	Implementierung Menüdesign Nr. 4: (a) ohne aktive Filter, (b) mit zwei aktiven Filterfunktionen und Parametereinstellungen . . . . .	21
3.5	Finale Implementierung des seitlichen Menüs: (a) ohne selektierte Linse, (b) mit Selektion und einer aktiven Filterfunktion und Parametereinstellungen . . . . .	21

4.1	durchschnittliche Erfahrungswerte (MW) und Standardabweichung (SD) über alle Probanden, die Striche markieren dabei den Bereich von MW - SD bis MW + SD . . . . .	24
4.2	Studien-Aufbau: links Perceptive Pixel, rechts Standardmonitor und Maus . . . . .	25
4.3	Menüarten: (a) Menü am Linsenrand mit zwei aktiven Filtern, (b) Menü am Linsenrand mit ausgeklapptem Schieberegler, (c) Menü am Displayrand mit einem aktiven Filter . . . . .	26
4.4	Beispiele der Aufgabenstellung: (a) eine strukturelle Aufgabe , (b) eine explorative Aufgabe . . . . .	29
4.5	Ausführung von Aufgabe sechs mit Toucheingabe und Menü am Linsenrand . . . . .	30
4.6	Ausführung von Aufgabe sieben mit Mauseingabe und Menü am Displayrand . . . . .	31
5.1	Differenz zwischen erster und zweiter Ausführung einer Aufgabe durch einen Probanden im TL-Modus je Aufgabe . . . . .	35
5.2	durchschnittliche Ausführungszeit (MW) und Standardabweichung (SD) je Aufgabe und Modus über alle Probanden, die Striche markieren dabei den Bereich von MW - SD bis MW + SD . . . . .	36
5.3	prozentuale Abweichung vom Mittelwert der Ausführungszeit je Aufgabe und Modus über alle Probanden . . . . .	37
5.4	Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) je Frage und Modus bewertet auf einer 7-Punkte-Skala, die Striche markieren dabei den Bereich von MW - SD bis MW + SD . . . . .	39
5.5	prozentuale Auswertung der vergleichenden Wertung der Probanden über die drei Kombinationen von Eingabemodus und Menüart im Vergleich	40

# Tabellenverzeichnis

2.1	Einordnung der Studienergebnisse über den Unterschied zwischen Touch- und Mauseingabe . . . . .	9
5.1	Mittelwert (MD) und Standardabweichung (SD) der Ausführungszeit je Aufgabe und Modus über alle Probanden in Sekunden (s) . . . . .	34
5.2	prozentuale Abweichung vom Mittelwert (ABW) und Standardabweichung (SD) der Ausführungszeit je Aufgabe und Modus über alle Probanden . . . . .	35





## Colophon

This thesis was typeset with  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$ . It uses the *Clean Thesis* style developed by Ricardo Langner. The design of the *Clean Thesis* style is inspired by user guide documents from Apple Inc.

Download the *Clean Thesis* style at <http://cleanthesis.der-ric.de/>.



# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

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

*Dresden, 21. August 2016*

---

Stephanie Sara Groß

