

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
PROFESSUR FÜR MULTIMEDIA-TECHNOLOGIE

Diplomarbeit

Magische Linsen an Displaywänden:
Steuerung und Bedienung mit
Mobilgeräten

Norman Lorenz
Matrikelnummer: 3487142

Betreuender Professor: Prof. Dr.-Ing. Raimund Dachsel
Betreuer: Ulrike Kister (M.Sc.), Dipl.-Ing. Ricardo Langner

5. Juni 2017

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich reiche sie erstmals als Prüfungsleistung ein. Mir ist bekannt, dass ein Betrugsversuch mit der Note „nicht ausreichend“ (5,0) geahndet wird und im Wiederholungsfall zum Ausschluss von der Erbringung weiterer Prüfungsleistungen führen kann.

Name:

Vorname:

Matrikelnummer:

Dresden, den

Unterschrift

Abstract - Deutsch

Der Einsatz großer, vertikaler Displays nimmt sowohl in Bereichen der Forschung als auch der Wirtschaft zu. Diese Displays eignen sich durch ihre Größe und Auflösung unter anderem für die Informationsvisualisierung. Es gibt bereits eine Menge von Forschungsarbeiten, welche die Interaktion mit großen, vertikalen Displays untersucht hat. Jedoch ist speziell die Bedienung Magischer Linsen auf großen Displaywänden weitgehend unbeachtet geblieben. Eine intuitive Interaktion mit Magischen Linsen auf einer Displaywand kann jedoch insbesondere in kollaborativen Szenarien große Vorteile bieten. Smartphones eignen sich durch ihre Portabilität zur Interaktion mit Displaywänden. Unter Verwendung von Mobilgeräten und einer hochauflösenden Displaywand wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Interaktionskonzepte zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen entwickelt. Hierzu wurde eine Recherche des aktuellen Forschungsstandes betrieben und Anwendungsfälle für den Einsatz der Konzepte aufgestellt. Es wurde eine große Bandbreite von Interaktionskonzepten entwickelt, welche von lockeren bis zu fokussierten Interaktionen reichen. Für die Bedienung der Magischen Linsen wurden verschiedene Aktionen identifiziert, welche in einem Interaktionsablauf auftreten und durch die Konzepte zu unterstützen sind. Ein Teil der entwickelten Interaktionskonzepte wurde durch einen Prototypen implementiert und anhand von Beispieldatensätzen getestet.

Abstract - English

The usage of large, vertical displays is increasing in fields of research as well as in the economy. Because of their size and resolution these displays are well suited for information visualization. There already are a number of publications which examine the interaction with large, vertical displays. Yet especially the operation of magic lenses on large display walls has been mostly ignored. An intuitive interaction with magic lenses on a large display may be especially advantageous in collaborative scenarios. Smartphones are suited for interaction with display walls because of their portability. In this paper interaction concepts for operating and parametrizing magic lenses have been developed using mobile devices and a high resolution display wall. For this purpose the current state of research has been investigated and application scenarios for the use of the concepts have been constructed. A big amount of interaction concepts have been developed which range from casual to focused interactions. For the operation of magic lenses several actions have been identified which occur in an interaction process and have to be addressed by the concepts. Part of the developed interaction concepts have been implemented by a prototype and tested with sample data sets.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Zielsetzung	10
1.2	Aufbau der Arbeit	11
2	Grundlagen zu Magischen Linsen und Geräte-Interaktion	12
2.1	Magische Linsen	12
2.1.1	Unterscheidung von Magischen Linsen	13
2.1.2	Magische Linsen zur Graphexploration	15
2.1.3	Magische Linsen zur Exploration raum- und zeitbezogener Daten	19
2.1.4	Interaktion mit Magischen Linsen	22
2.2	Geräte-Interaktion	27
2.2.1	Interaktion mit großen Displays	29
2.2.2	Interaktionen mit Mobilgeräten	33
2.3	Zusammenfassung	41
3	Bedienungskonzeption	43
3.1	Anwendungsfälle	43
3.1.1	Distributionsnetzwerk	43
3.1.2	Energiekarte	44
3.2	Aktionen zur Bedienung Magischer Linsen	45
3.3	Entwurfsraum für Mobilgeräteinteraktionen mit großen, vertikalen Displays	46
3.4	Bildschirmaufteilung des Mobilgerätes	49
3.4.1	WidgetScreenLayout	49
3.4.2	MinimalScreenLayout	50
3.5	Grundlegende Steuerung Magischer Linsen	50
3.5.1	Linsenerstellung	51
3.5.2	Linsenselektion	52
3.5.3	Linsentranslation	53
3.5.4	Linsenentfernung	53
3.5.5	Linsenduplizierung	54
3.6	Linsenparametrisierung	55
3.6.1	Linsenparametrisierung durch Steuerelemente	56
3.6.2	Linsenparametrisierung durch Flick- und Draggesten	58
3.6.3	Linsenparametrisierung durch Radialmenüs	59
3.6.4	Linsenparametrisierung durch Ringmenüs	66
3.7	Laden gespeicherter Magischer Linsen	67
3.8	Überblick durch globale Linsen	68
3.9	Spezielle Interaktionen	69
3.10	Zusammenfassung	72
4	Implementierung	76
4.1	Verwendete Technologien	76

4.2	Prototypische Realisierung	78
4.3	Zusammenfassung	82
5	Auswertung	84
5.1	Auswertung der Bedienkonzepte	84
5.1.1	Auswertung der Konzepte zur grundlegenden Steuerung Magischer Linsen	84
5.1.2	Auswertung der Parametrisierungskonzepte	86
5.1.3	Auswertung der speziellen Interaktionskonzepte	90
5.2	Auswertung des Prototypen	90
5.3	Fazit	92
	Literatur	94

1 Einleitung

Große, hochauflösende Displaywände bieten ein hohes Potential für die interaktive Informationsvisualisierung und Datenexploration, da eine große Anzeigefläche zur Darstellung umfangreicher und komplexer Datenmengen zur Verfügung steht. Leigh et al. [LJR⁺13] kamen 2013 zu der Annahme, dass der Einsatz von Displays mit skalierbarer Auflösung in den nächsten zehn Jahren steigen und auch abseits von Forschungseinrichtungen in Büros und gar Privathaushalten Anwendung finden wird. Für die Interaktion mit derartigen Displaywänden sind schnelle und bequeme Bedienungskonzepte nötig, um unter anderem die Anstrengungen für Nutzer zu reduzieren, welche durch die Bewegung vor der Displaywand entstehen können. Des Weiteren sollten diese Interaktionskonzepte aus verschiedenen Entfernungen vor der Displaywand ausführbar sein. Hierfür eignen sich insbesondere Mobilgeräte. Die Menge an Daten mit denen sich die Informationsvisualisierung zu beschäftigen hat, ist in letzten Jahren enorm angestiegen. Magische Linsen stellen Fokus+Kontext-Werkzeuge dar und können bei der Exploration von Informationsräumen helfen. Diese Linsen können unterschiedlichen Aufgaben dienen und treten in verschiedenen Anwendungsgebieten auf. Eine klassische Magische Linse ist die Vergrößerungslinse, welche der Betrachtung von Details in Informationsvisualisierungen dient. Jedoch existieren heute eine Vielzahl Magischer Linsen, welche über die klassische Vergrößerungsfunktion einer Linse hinaus gehen. Diese Linsen ermöglichen es beispielsweise den Zustand von Objekten zu verschiedenen Zeitpunkten zu betrachten oder Knoten in Graphenvisualisierungen so zu transformieren, dass Nachbarschaftsbeziehungen verdeutlicht werden. Die umfassende Untersuchung bestehender Magischer Linsen durch Tominski et al. [TGK⁺16] weist darauf hin, dass die Anwendung Magischer Linsen auf Informationsvisualisierungen Vorteile bietet. Dies führt des Weiteren zu der Annahme der Autoren, dass Magische Linsen immer wichtiger für die Exploration großer und komplexer Datenmengen werden. Es seien zudem weitere Untersuchungen von Magischen



Abbildung 1: Der implementierter Prototyp zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen

Linsen auf großen, hochauflösenden Displays und in kollaborativen Szenarien vielversprechende Ansatzpunkte für künftige Forschungsarbeiten. An diesem Punkt soll diese Arbeit ansetzen. Die Interaktion mit Magischen Linsen auf großen, vertikalen Displays ist bis jetzt weitgehend unbeachtet geblieben. Magische Linsen werden in vielen Fällen über eine klassische Maus- und Tastatursteuerung bedient. Diese Form der Interaktion ist für Anwendungsfälle mit großen Displaywänden nicht ausreichend. Aus diesem Grund soll in dieser Arbeit die Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät untersucht werden.

1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Interaktionsmöglichkeiten zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät zu identifizieren. Hierzu sollen verwandte Arbeiten im Bereich der Magischen Linsen und Geräte-Interaktion mit großen Displaywänden untersucht werden. Der bereits existierende Prototyp soll um die Steuerung Magischer Linsen auf einer Displaywand durch ein Mobilgerät erweitert werden (siehe Abb. 1). Hierzu sollen die verschiedenen Freiheitsgrade bei der Mobilgeräteinteraktion vor einer Displaywand betrachtet und diskutiert werden. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung und Umsetzung eines Interaktionskonzeptes zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen, sodass Nutzer Aufgaben gewählter Anwendungsszenarien erfüllen können.

Teilaufgaben

- Recherche zu Verwandten Arbeiten im Bereich der Magischen Linsen sowie Geräte-Interaktion mit großen, vertikalen Displays
- Aufstellen von Anwendungsfällen für den Einsatz Magischer Linsen auf einer hochauflösenden Displaywand.
- Betrachtung & Diskussion der Freiheitsgrade hinsichtlich der Interaktion mit Mobilgeräten vor einer Displaywand. Anforderung bezüglich der Steuerung und Bedienung von magischen Linsen und deren typischer Funktionen.
- Konzeption I: grundlegende Steuerung magischer Linsen durch ein Mobilgerät (Erstellen einer neuen Linse, Translation, Ablegen, Aufnehmen existierende Linsen, Skalierung einer Linse)
- Konzeption II: Parametrisierung von Linsenfunktionen
- Prototypische Realisierung ausgewählter Teile beider Konzepte
- Kritische Betrachtung und Diskussion der Ergebnisse

1.2 Aufbau der Arbeit

In dieser Arbeit soll zunächst ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand im Bereich Magischer Linsen und Interaktion mit Displaywänden sowie Mobilgeräten gegeben werden. Hierzu wird zunächst betrachtet, wodurch Magische Linsen gekennzeichnet und wie diese zu unterscheiden sind. Nachfolgend werden Beispiele Magischer Linsen aus unterschiedlichen Anwendungsdomänen gegeben und beschrieben wie diese derzeit bedient werden. Im zweiten Teil des Grundlagenkapitels wird näher auf Geräte-Interaktionen eingegangen. Dies schließt die Interaktion mit vertikalen Displays und Mobilgeräten ein. Darüber hinaus wird jedoch auch der Bereich der Proxemics sowie der Unterschied zwischen fokussierter und lockerer Interaktion näher betrachtet. Auf dieser Basis werden die für diese Arbeit entwickelten Interaktionskonzepte zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen in Kapitel 3 vorgestellt. Hierzu sollen zunächst zwei Anwendungsfälle präsentiert werden, in denen die verschiedenen Konzepte zum Einsatz kommen können. Nachfolgend werden Aktionen vorgestellt, welche durch Mobilgeräteinteraktionen zu realisieren sind. Zur Beschreibung und nachfolgenden Bewertung der Konzepte wird zudem ein Entwurfsraum präsentiert. Durch diesen Entwurfsraum sollen die zur Verfügung stehenden Interaktionstechniken sowie Eingabe- und Ausgabeattribute dargelegt werden. Anschließend folgt die Präsentation der einzelnen Interaktionskonzepte, beginnend mit einer Beschreibung der Bildschirmaufteilung des Mobilgerätes. Die Bedienungskonzeption ist in Konzepte zur grundlegenden Steuerung Magischer Linsen, Konzepte zur Linsenparametrisierung und spezielle Konzepte unterteilt. Im Anschluss an die Bedienungskonzeption soll die prototypische Realisierung ausgewählter Konzepte beschrieben werden. In Kapitel 5 wird die Arbeit mit der Auswertung der Interaktionskonzepte und des Prototypen abgeschlossen.

2 Grundlagen zu Magischen Linsen und Geräte-Interaktion

Durch Magische Linsen kann die Repräsentation der Daten eines ausgewählten Bereiches einer Informationsvisualisierung temporär verändert werden. Für die Exploration großer Datenmengen ist eine intuitive Steuerung und Parametrisierung dieser lokalen “Sichtfenster,” hilfreich. In diesem Kapitel soll der Begriff der Magischen Linsen sowie deren Klassifizierung erklärt werden. Es werden einige Magische Linsen zur Exploration von Graph- sowie raum- und zeitbezogener Daten vorgestellt, da diese Datentypen in den Anwendungsszenarien der in dieser Arbeit entwickelten Interaktionskonzepte zum Einsatz kommen. Im Anschluss daran soll die Interaktion mit Magischen Linsen sowie zwischen verschiedenen Endgeräten diskutiert werden. Insbesondere soll dabei auf die Interaktion mit großen, hochauflösenden Displays und deren Bedienung durch Mobilgeräte eingegangen werden.

2.1 Magische Linsen

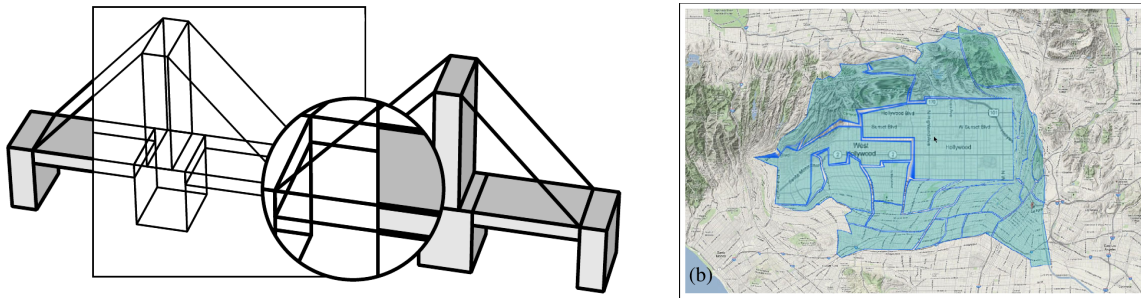
In der Informationsvisualisierung ist es oftmals nützlich die Darstellung der Daten innerhalb eines lokal begrenzten Bereiches zu variieren, um eine alternative Perspektive auf den zu Grunde liegenden Informationsraum zu erlangen. Für derartige Aufgaben bietet sich der Einsatz von *Magischen Linsen* an, bei denen es sich um Werkzeuge handelt, welche *Fokus & Kontext* Techniken implementieren. Das bedeutet, dass Nutzer die Position der Fokusregion einer Magischen Linse bestimmen können, um die Visualisierung innerhalb der Linse durch veränderte oder andere Daten als in der Kontextregion zu variieren [PD10].

Der Begriff der Magischen Linsen bzw. „*magic lens filters*“ wurde im Kontext der Informationsvisualisierung 1993 von Bier et al. [BSP⁺93] geprägt. Die Autoren beschreiben Magische Linsen folgendermaßen:

„Ein Magischer Linsenfilter verändert das dargestellte Bild in einem Bereich des Bildschirms, welchen man den Betrachtungsbereich nennt, indem ein Betrachtungsfilter auf Objekte in einem Modell angewandt wird.“ [BSP⁺93]

Abbildung 2(a) zeigt zwei solcher Magischer Linsen (eine Drahtgitter- und eine Vergrößerungslinse) von Bier et al. [BSP⁺93] innerhalb einer Visualisierung eines 3D-Modells einer Brücke.

Die konzeptionell wichtigsten Aspekte von Magischen Linsen sind laut Tominski et al. [TGK⁺16] die *Selektion*, *Linsenfunktion* und *Vereinigung* mit einer grundlegenden Visualisierung. Als erstes bestimmt die *Selektion* auf welchen Teil der *Visualisierungspipeline* (Datenquelle, Datentabellen, visuelle Abbildung oder Visualisierungsansicht, vgl. [CMS05]) die Linse angewandt werden soll. Im nächsten Schritt sorgt die *Linsenfunktion* für den entsprechenden Linseneffekt, indem sie definiert, wie die zuvor selektierten Daten verändert werden sollen. Durch die Modifikation von *Parametern* kann die Linsenfunktion angepasst werden. Zum Abschluss wird das Ergebnis der Linsenfunktion



(a) Eine Drahtgitter- und eine Vergrößerungslinse von Bier et al. [BSP⁺93]

(b) Die *JellyLens* [PPCP12] passt ihre Form dem Inhalt an.

Abbildung 2: Beispiele Magischer Linsen

wieder mit einer Stufe der Visualisierungspipeline (Datenquelle, Datentabellen, visuelle Abbildung oder Visualisierungsansicht) vereinigt, um eine Fokus & Kontext Ansicht zu generieren.

Weiterhin kann die *Linse* selbst von ihrer *Funktion* unterschieden werden [KRD16]. Die Linse ist das Werkzeug, welches manipuliert werden kann, während der Effekt bzw. Typ der Linse durch deren Funktion beschrieben wird, welche mehrere Parameter besitzen kann. Zu allgemeinen Linsenfunktionen gehören beispielsweise die Vergrößerung, Rekonfiguration oder Kodierung der Datenobjekte sowie die Filterung. Magische Linsen können abhängig von ihrer Funktion den Inhalt entweder *abändern*, *erweitern* oder unnötige Teile *unterdrücken* [TGK⁺16].

Magische Linsen besitzen zudem die folgende geometrische Eigenschaften: *Form*, *Größe*, *Position* und unter Umständen *Orientierung* [TGK⁺16]. Wie die *MultiLens* [KRD16] oder *Local Edge Lens* [TAHS06] sind viele Linsen kreisförmig. Es gibt jedoch auch Linsen, welche eine rechteckige Form (z.B. *EditLens* [GSE⁺14]) besitzen oder ihre Form an den Inhalt (z.B. *JellyLens* [PPCP12], siehe Abbildung 2(b)) oder Nutzer anpassen können (z.B. *BodyLens* [KRMD15]) anpassen. Die Magische Linse von Bertini et al. [BRL09] passt ihre Größe an die Datendichte innerhalb der Fokusregion an.

2.1.1 Unterscheidung von Magischen Linsen

Es gibt eine Vielzahl an Magischen Linsen, welche in unterschiedlichsten Einsatzgebieten von unterschiedlichen Nutzern verwendet werden. Aus diesem Grund ist eine Unterscheidung der Linsentypen erforderlich. Basierend auf der Taxonomie für Magische Linsen von Bier et al. [BSF⁺94] haben Tominski et al. [TGK⁺16] die folgende Taxonomie aufgestellt, welche eine Verfeinerung mit einem praktischen und konzeptionellen Fokus darstellt:

- Praktisch
 - Datentyp
 - Nutzeraufgabe
 - Anzeigeeinstellung

- Interaktionsmodalität
- Konzeptionell
 - Effektklasse
 - Effektausmaß
 - Anpassungsfähigkeit
 - Selektionsstufe
 - Verbindungsstufe

Die Unterscheidung Magischer Linsen kann nach den *Daten*, auf welche die Linse angewendet wird, oder nach der *Aufgabe*, welche sie zu erfüllen hat, erfolgen [TGK⁺16]. Einige universelle Magische Linsen, wie Vergrößerungslinsen, können potentiell auf alle Daten angewandt werden, während andere für die Verwendung mit spezifischen Datentypen entwickelt wurden. Für letztere Art von Linsen haben Tominsiki et al. [TGK⁺16] die folgende Unterteilung der Datentypen vorgenommen: *Zeitbezogene Daten*, *Raumbezogene Daten*, *Flussdaten*, *Volumendaten*, *Multivariate Daten*, *Graphdaten* und *Text- und Dokumentdaten*. Für diese Arbeit von besonderem Interesse sind hierbei Magische Linsen, die auf *Graphdaten* (siehe Abschnitt 2.1.2) sowie *raum- und zeitbezogene Daten* (siehe Abschnitt 2.1.3) angewandt werden. Tominsiki et al. [TGK⁺16] beziehen sich bei ihrer Unterteilung Magischer Linsen nach Aufgaben auf die Aufgabenkategorien von Yi et al. [YKS07], welche sich auf die Absicht des Nutzer bei der Interaktion mit Informationsvisualisierungen konzentrieren. Bei diesen Kategorien handelt es sich um die Folgenden:

- *Selektieren*: Markierung interessanter Datenobjekte
- *Explorieren*: Veränderung der Darstellung von Datenobjekten, Ein-/Ausblenden von Datenobjekten
- *Rekonfigurieren*: Veränderung der Position und Ausrichtung von Datenobjekten
- *Kodieren*: Veränderung der visuellen Darstellung von Datenobjekten (Größe, Farbe, Form, etc.), Veränderung der Diagrammart
- *Abstrahieren/Verfeinern*: Veränderung des Detailgrades von Datenobjekten (mehr oder weniger Detailinformationen)
- *Filtern*: Darstellung der Daten unter nutzerdefinierten Beschränkungen
- *Verbinden*: Hervorheben von verwandten Datenobjekten

Auf die *Anzeigeeinstellungen* der prototypischen Implementierung, der in dieser Arbeit entwickelten Interaktionskonzepte, wird in Kapitel 4 eingegangen. In Abschnitt 2.1.4 werden existierende *Interaktionsmodalitäten* Magischer Linsen vorgestellt. Des Weiteren soll in Abschnitt 2.2 auf die Interaktion zwischen verschiedenen Endgeräten eingegangen

werden. Die Betrachtung derartiger Geräte-Interaktionen ist essentiell für die nachfolgende Konzeption von Interaktionen zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen auf einer Displaywand durch ein Mobilgerät (Kapitel 3).

2.1.2 Magische Linsen zur Graphexploration

Durch Graphvisualisierungen können versteckte Strukturen in komplexen Datenmengen sichtbar gemacht werden. Dies wird jedoch mit steigender Knotendichte schwieriger. Es entsteht eine visuelle Unordnung (*clutter*) und der Graph wird schwer lesbar. Es gibt Möglichkeiten Magische Linsen zu verwenden, um dem entgegen zu wirken. Im Folgenden sollen einige dieser Ansätze vorgestellt werden.

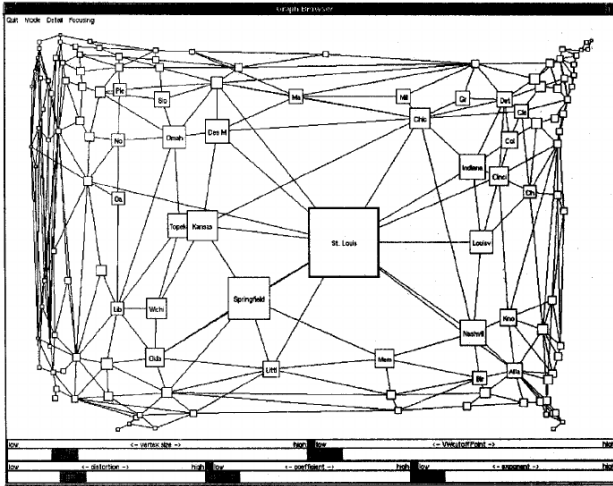
Vergrößerungslinsen in Graphvisualisierungen

In Graphvisualisierungen spielen Vergrößerungslinsen (mit oder ohne Verzerrung) eine wichtige Rolle, da sie es ermöglichen dichte Cluster näher zu betrachten, um somit einzelne Knoten voneinander abzugrenzen. Die Vergrößerung dient der Aufgabe des Rekonfigurierens & Kodierens einer Informationsvisualisierung (vgl. Yi et al. [YKS07]). Sowohl die Magische Linse von Sarkar und Brown [SB92] als auch das Framework von Carpendale und Montagnese [CM01] dienen der Vergrößerung lokaler Bereiche in Graphvisualisierungen.

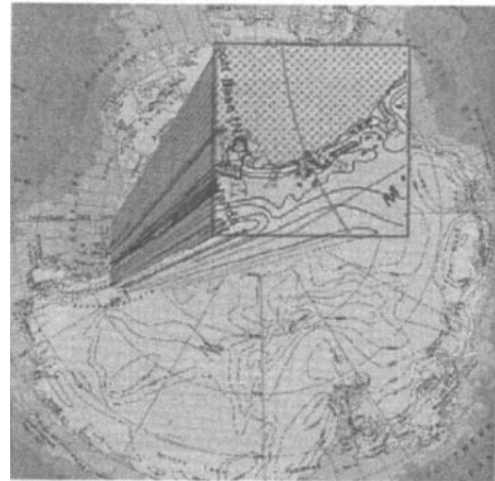
Auch wenn der Begriff der Magischen Linsen erst 1993 (siehe [BSP⁺93]) geprägt wurde, haben Sarkar und Brown [SB92] bereits 1992 mit den *Graphical Fisheye Views* eine randlose Vergrößerungslinse für Graphen vorgestellt, welche ähnlich wie eine optische Fischaugen-Linse funktioniert. Wie in Abb. 3(a) zu sehen ist, werden die Knoten des Graphen abhängig von ihrer Distanz zu einem *Fokuspunkt* vergrößert bzw. verkleinert sowie verschoben. Knoten nahe des Interessenfokus werden größer und weiter entfernte Punkte kleiner dargestellt. Das Ausmaß der Verzerrung ist dabei durch einen Faktor regelbar. Auch die vorher definierte Wichtigkeit von Knoten kann in deren Skalierung einfließen.

Magische Linsen können nach ihrer Verbindungsstufe in der Visualisierungspipeline (vgl. Tominski et al. [TGK⁺16]) unterschieden werden, d.h. auf welchen Daten sie angewandt werden. Die soeben vorgestellte Vergrößerungslinse von Sarkar und Brown [SB92] ist ein Beispiel für eine Magische Linse welche auf den Datentabellen in der Visualisierungspipeline arbeitet und die dort eingetragenen Werte abhängig von einem lokalen Interessenpunkt manipuliert.

Das 2001 von Carpendale und Montagnese [CM01] vorgestellte Framework des vereinten Präsentationsraumes verbindet unterschiedliche Methoden der Präsentation von Informationen. Auch hier werden Magische Linsen auf die Werte von Datentabellen angewandt, indem zweidimensionale Informationsrepräsentationen (z.B. Graphdaten) auf einer Ebene im dreidimensionalen Raum abgebildet werden. Diese Ebene wird durch einen Referenzpunkt und perspektivische Projektion betrachtet und manipuliert. Somit können unterschiedliche Vergrößerungslinsen (mit oder ohne Verzerrung) auf die Informationsebene angewandt werden. In Abb. 3(b) ist beispielhaft eine *Manhattan Lens* zur



(a) *Graphical Fisheye Views* [SB92] zur Vergrößerung von Knoten in Graphen



(b) *Manhattan Lens* [CM01] zur Vergrößerung eines lokalen Bereichs einer Kartenvisualisierung

Abbildung 3: Vergrößerungslinsen

Vergrößerung eines lokalen Bereichs einer Kartenvisualisierung dargestellt.

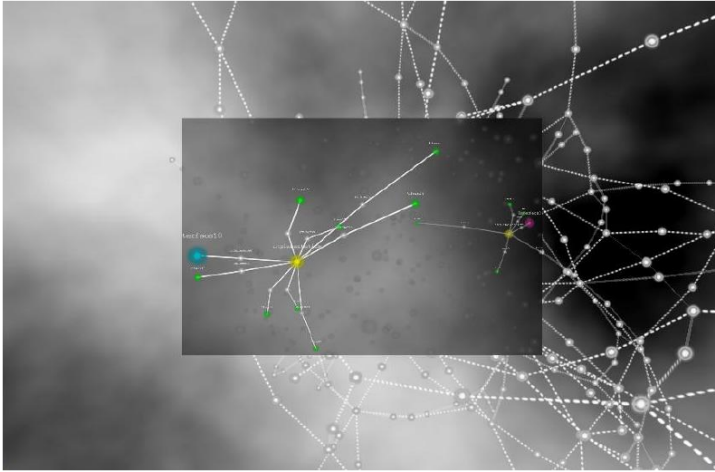
Filter- und Explorationslinsen in Graphvisualisierungen

Um der Komplexität großer Graphen Herr zu werden, können neben Vergrößerungstechniken auch Magische Linsen zur Filterung der Visualisierung eingesetzt werden. Sowohl die Magische Linse von Ukrop et al. [UvK12] als auch die *Local Edge Lens* von Tominski et al. [TAHS06] und *MoleView* von Hurter et al. [HTE11] sind Beispiele für derartige Filterungslinsen.

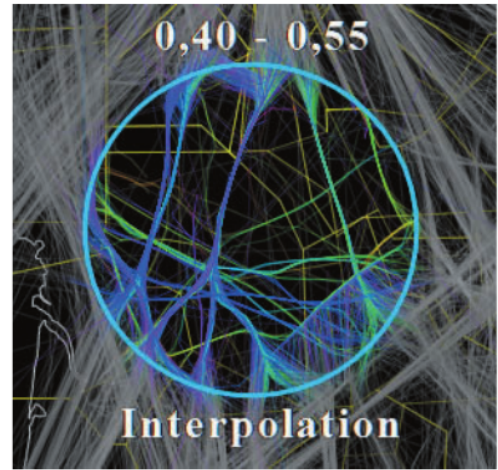
Ukrop et al. [UvK12] verwenden unter anderem eine Magische Linse um die visuelle Unordnung in Graphendarstellungen zu verringern. Hierzu können Nutzer mit Hilfe einer Anfragesprache Anfragen zur Filterung des Graphen formulieren. Der Graph kann nun mit einer Magischen Linse untersucht werden, welche die relevante Knoten farblich hervorhebt und die entsprechenden Kanten darstellt sowie ungewollte Elemente ausblendet (siehe Abb. 4(a)).

Auch die *Local Edge Lens* von Tominski et al. [TAHS06] entfernt für Explorationsaufgaben ungewollte Kanten aus dem gegenwärtigen Fokusbereich der Linse. Die Linse soll bei der Identifikation inzidenter Kanten in Graphen mit einer hohen Kantendichte helfen. Durch die Linse werden nur die Kanten im Linsenbereich gezeichnet, deren Knoten, mit denen sie verbunden sind, sich auch innerhalb des Linsenbereiches befinden. Somit wird die visuelle Unordnung reduziert und es ist möglich, Kanten zu identifizieren, welche mit einem bestimmten Knoten verbunden sind.

MoleView von Hurter et al. [HTE11] stellt eine semantische Linse zur interaktiven Exploration multivariater relationaler Daten dar. Die Linse bietet drei Modi: *Elementbasierte Exploration*, *Bündelbasierte Exploration* und *Dual-Layout Exploration*. In je-



(a) Die Filterlinse von Ukrop et al. [UvK12] blendet ungewollte Elemente aus und hebt relevante Knoten farblich hervor.



(b) *MoleView* [HTE11]: Bündelbasierte Ausrichtung der Kanten im Graph

Abbildung 4: Filterlinsen für Graphen

dem der vorgestellten Modi wird zuerst ein Interessenbereich für die Magische Linse und ein Attributfilter spezifiziert. Die somit durch räumliche und Attribut-basierte Kriterien selektierten Elemente verbleiben im Fokus der Linse, während die restlichen Elemente kontinuierlich verformt werden. Im Modus der Element-basierten Exploration werden die herausgefilterten Elemente kontinuierlich an den Linsenrand geschoben. Bei der Bündelbasierten Exploration hingegen kommt es zu einer kontinuierlichen Interpolation zwischen der gebündelten und ungebündelten Ausrichtung von Kanten in einer Graphdarstellung (siehe Abb. 4(b)). Somit ist es möglich im lokalen Fokusbereich eines Graphen die Kanten entweder zu bündeln oder wieder zu entflechten. Die Implementierung von *MoleView* funktioniert für verschiedene Datentypen (mit eingebetteten Positionsinformationen) wie Pixel, Punkte eines Streudiagramms, Graphkanten, Kantenbündel, etc. und erlaubt das Zeichnen einer beliebigen Linsenform per Maus.

Während die Magische Linse von Ukrop et al. [UvK12] sowie die *Local Edge Lens* [TAHS06] lediglich die visuelle Abbildung der Daten manipuliert, verändert *MoleView* [HTE11] zusätzlich die Ausrichtung der Graphenelemente und beeinflusst somit auch die Werte der Datentabellen in der Visualisierungspipeline.

Magische Linsen zur Untersuchung der Konnektivität

Eine weitere wichtige Aufgabe bei der Analyse von Graphvisualisierungen stellt die Extraktion von Informationen über die Konnektivität des Graphen dar. Sowohl die *Bring Neighbors Lens* und die *verallgemeinerte Bring Neighbors Lens* von Tominski et al. [TAHS06] als auch die *EdgeLens* von Wong et al. [WCG03] und die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10] bieten Möglichkeiten auf Anfrage den Vernetzungsgrad einzelner Knoten detaillierter zu beleuchten.

Die *Bring Neighbors Lens* [TAHS06] arbeitet auf der Ausrichtungsebene (Datentabellen) der Graphvisualisierung und gibt Aufschluss über die lokale Konnektivität eines Graphen. Sie dient der Identifikation adjazenter Knoten eines Fokus-Knotens, indem die benachbarten Knoten eines bestimmten Knotens kontinuierlich in den Linsenbereich gezogen werden (siehe Abb. 5(a)). Die *verallgemeinerte Bring Neighbors Lens* [TAHS06], wendet diese Funktion auf mehrere Knoten an, indem jedem Knoten innerhalb des Linsenbereiches ein Anziehungsgewicht zugeordnet wird, welches die Stärke der Anziehung benachbarter Knoten bestimmt. Dieses Gewicht ist abhängig von der Distanz jedes Knotens zum Fokuspunkt der Magischen Linse.

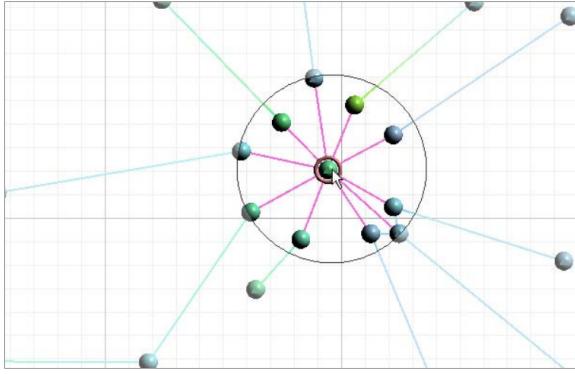
Es ist schwierig nur durch die Ausrichtung der Knoten eines Graphen Kantenüberlagerungen und Verdeckungen von Knoten zu beseitigen. Daher existieren Linsen, welche ein großes Problem von Graphen lösen sollen, nämlich die Kantenverstopfung. Bei zu großer Knotendichte können die Kanten mitunter Knoten verdecken. Die *EdgeLens* von Wong et al. [WCG03] sowie die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10] bieten Ansätze dieses Problem zu handhaben, indem lediglich die Kanten des Graphen durch Datentransformation manipuliert werden.

Mit der *EdgeLens* von Wong et al. [WCG03] soll der Effekt der Kantenverstopfung in Graphen reduziert und somit die Verdeckung von Knoten durch Kanten sowie Kantenüberlagerungen vermieden werden. Die Linse krümmt dazu die Kanten eines Graphen um einen Fokuspunkt herum ohne dabei die Positionen von Knoten zu verändern. Durch diese, auf einer kubischen Bézier-Kurve basierenden Krümmung, werden verdeckte Knoten- und Kantenbeziehungen sichtbar. Diese randlose Linse besitzt einen einstellbaren Radius sowie Krümmungsbetrag. Des Weiteren können Nutzer Knoten von der Krümmung ausschließen, um Kantenbeziehungen eines bestimmten Knotens näher zu untersuchen. Durch die halbtransparente Darstellung der gekrümmten Kanten ist es zudem möglich in der Graphstruktur versteckte Knoten und deren Beschriftungen aufzudecken.

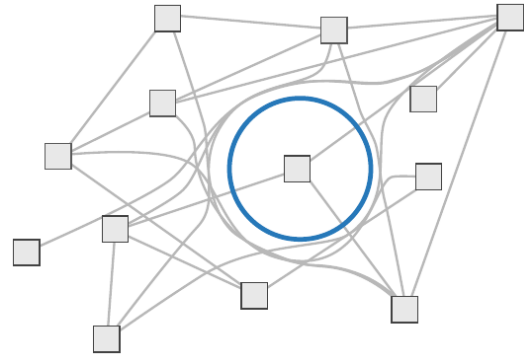
Die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10] krümmt ebenfalls ungewollte Kanten um den Linsenbereich herum, um lokal visuelle Unordnung zu entfernen. Befindet sich ein Knoten innerhalb des Linsenbereichs, bleiben dessen inzidente Kanten unverändert, während die restlichen Kanten um die Linsenform gekrümmt werden. Somit sind die verbundenen Kanten und deren Richtungen identifizierbar (siehe Abb. 5(b)). Sollten sich mehrere Knoten innerhalb des Linsenbereichs befinden, so werden zusätzlich alle Kanten, welche nicht mit diesen verbunden sind ausgeblendet, wodurch die Beziehungen zwischen den betrachteten Knoten näher untersucht werden können.

Kombination von Linsenfunktionen in Graphvisualisierungen

Ein Problem der *Bring Neighbors Lens* [TAHS06] ist die Tatsache, dass benachbarte Knoten so stark angezogen werden können, dass diese schwer voneinander zu unterscheiden sind. Mit der *zusammengesetzten Magischen Linse* von Tominski et al. [TAHS06] kann dieses Problem durch die Kombination einer *Bring Neighbors Lens*, einer *Fischaugen-Linse* sowie einer *Local Edge Lens* [TAHS06] behoben werden. Somit werden die angezogenen Knoten (Ausrichtungsebene) durch die *Fischaugen-Linse* wieder etwas auseinander gezogen und ungewollte Kanten ausgeblendet (Repräsentationsebene). Laut Thiede et



(a) Die *Bring Neighbors Lens* [TAHS06] zieht benachbarte Knoten eines Fokus-Knoten kontinuierlich in den Linsenbereich.



(b) Die *PushLens* [SNDC10] krümmt ungewollte Kanten um den Linsenbereich herum.

Abbildung 5: Magische Linsen zur Untersuchung der Konnektivität von Graphen

al. [TFS08] kann die Kombination von Linsen die Effizienz erhöhen. Die Autoren sehen Linsen als Operatoren und basieren die Kombination auf dem Daten-Zustands-Referenz-Modell.

Auch Kister et al. [KRD16] untersuchten die Komposition mehrerer Linsenfunktionen und haben mit *MultiLens* ein Multitouch-Linsensystem entwickelt, mit welchem verschiedene Linsenfunktionen für Graphen innerhalb einer Magischen Linse zur Anwendung kommen können. Die von den Autoren durchgeführte Nutzerstudie weist daraufhin, dass Nutzer den Einsatz einer einzelnen Linse mit mehreren Linsenfunktionen dem Verwenden unterschiedlicher separater Linsen vorziehen.

Manipulationslinsen in Graphvisualisierungen

Ein Spezialfall stellt die *EditLens* von Gladisch et al. [GSE⁺14] dar, welche im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Linsen nicht zur Exploration sondern zur Manipulation von Graphen verwendet wird. Dabei wird der Nutzer beim Einfügen bzw. Entfernen von Knoten und Kanten sowie Aktualisieren von Knotenpositionen und Kantenverläufen durch Algorithmen unterstützt, die eine optimale Position der Graphenelemente innerhalb des lokalen Linsenbereichs berechnen. Der rechteckige Linsenbereich bestimmt also, wo Veränderungen effektiv werden.

2.1.3 Magische Linsen zur Exploration raum- und zeitbezogener Daten

Magische Linsen sind gut für die Exploration von raumbezogenen Daten geeignet. Nutzer möchten in Kartenvisualisierungen oftmals lokale Bereiche näher betrachten und mehr Informationen über diese erhalten. Wie bei Graphvisualisierungen, eignen sich für derartige Aufgaben insbesondere klassische Vergrößerungslinsen, wie die *Fisheye Views* von Sarkar et al. [SB92, SB94] oder die Vergrößerungslinse von Appert et al. [ACP10],

welche eine schnelle Navigation und präzise Interaktion mit dem Vergrößerungsbereich erlaubt. Auch das Framework von Carpendale und Montagnese [CM01] erlaubt lokale Fischaugenpräsentationen in raumbezogenen Datensätzen. *Smarties* von Chapuis et al. [CBF14] stellt Vergrößerungs- und Fischaugenlinsen auf einer Displaywand bereit, um beispielsweise Kartenvisualisierungen zu explorieren. Diese Magischen Linsen werden über ein Mobilgerät gesteuert. Weitere Vergrößerungslinsen für Kartenvisualisierungen sind z.B. *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11], die *PhysicsLenses* von Butscher et al. [BHR14] sowie die Vergrößerungslinse von Bortolaso et al. [BOP⁺14]. *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11] sowie die *PhysicsLenses* von Butscher et al. [BHR14] stellen, ähnlich wie *DragMag* von Ware und Lewis [WL95], die vergrößerte Ansicht versetzt neben dem selektierten Interessenbereich dar. Im Gegensatz zu den bereits erwähnten Vergrößerungslinsen ist die *JellyLens* von Pindat et al. [PPCP12] eine Vergrößerungslinse, welche ihre Form automatisch an die Geometrie eines Teilbereiches einer Kartenvisualisierung anpasst. Hierzu wird der Bereich in unmittelbarer Umgebung des Interessenfokus durch Verzerrung lokal komprimiert.

Einige Magische Linsen sind auf die Untersuchung von Routen in Kartenvisualisierungen spezialisiert. Karnick et al. [KCJ⁺10] nutzen beispielsweise Detaillinsen, um Interessenpunkte (Points of Interest, POI) entlang einer Route in einer feineren Skalierung darzustellen. Diese Linsen werden um die Route herum angeordnet, um diese nicht zu überdecken. Die vergrößerte Darstellung der Interessenpunkte dient als Navigationshilfe. Auch die *RouteLens* von Alvina et al. [AACP14] dient der Vergrößerung von Interessenfokussen entlang einer Route. In Abhängigkeit von der Route wird die Position der Linse automatisch angepasst. Somit bleibt die Route prominent im Linsenbereich sichtbar, wobei zugleich eine detailliertere Untersuchung der Umgebung ermöglicht wird (siehe Abb. 6(a)).

Durch eine alternative Kodierung eines lokalen Interessenbereiches können neue Informationen aus raumbezogenen Daten gezogen werden. Durch die *ColorLens* von Elmqvist et al. [EDF11] wird ein Ausschnitt des Datenraums auf den Farbraum abgebildet, um die höchstmögliche Präzision bei der farblichen Kodierung der Daten zu erreichen. Der Ausschnitt wird durch den Fokusbereich der Linse bestimmt. Basierend auf der Belichtung eines Bildausschnittes können somit Kontrast und Helligkeit automatisch angepasst werden. Die *ColorLens* verändert demzufolge die Visualisierungsansicht in der Visualisierungspipeline. Die Veränderung dieser farblichen Kodierung wird kontinuierlich animiert, um die Kamerabelichtungsmetapher zu verstärken. Durch die Ausnutzung der vollen Bandbreite des Farbraums im Linsenfokus, können kleine Details erkannt werden (siehe Abb. 6(b)). Dies ist beispielsweise hilfreich bei der Untersuchung von Röntgenbildern oder der Navigation geometrischer Räume. Die Autoren unterscheiden *lokale* und *globale Linsen*. *Globale Linsen* dienen der Identifizierung eines oder mehrerer Auswahlbereiche und haben einen Effekt auf das gesamte Bild. Indes beziehen sich lokale Linsen lediglich auf den durch die Linse definierten Interessenfokus. Ein Doppelklick auf eine lokale Linse zoomt kontinuierlich auf den Interessenfokus. Innerhalb dieser Linse können hierarchisch weitere Linsen erstellt werden.



(a) Vergrößerung des Interessenfokus entlang einer Route durch die *Route-Lens* [AACP14]



(b) Anwendung mehrerer lokaler *ColorLenses* [EDF11] zur alternativen Kodierung der Daten.

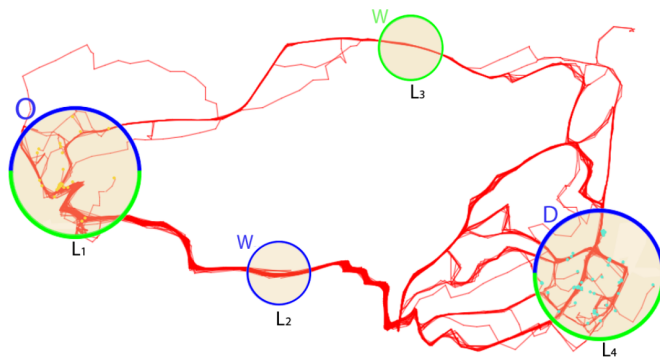
Abbildung 6: Magische Linsen zur Untersuchung raumbezogener Daten

Magische Linsen zur Exploration zeitbezogener Daten

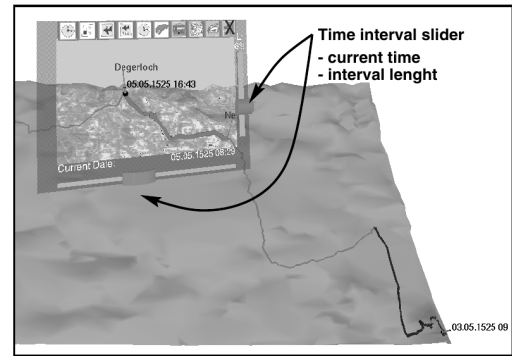
Magische Linsen, welche Untersuchungen zeitbezogener Daten ermöglichen, werden oftmals in Kombination mit raumbezogenen Daten eingesetzt. So dienen die *Trajectory-Lenses* von Kruger et al. [KTW⁺13] der Filterung von raum- und zeitbezogenen Daten, um Bewegungen (Trajektorien) in Raum und Zeit untersuchen zu können. Die Autoren verwenden drei unterschiedliche Linsentypen. Mit der *origin lens* werden alle Bewegungen dargestellt, deren Ursprungsort sich im Linsenbereich befindet. Analog dazu filtert die *destination lens* alle Bewegungen, welche im Linsenbereich enden. Die *waypoint lens* stellt alle Bewegungen dar, welche den Linsenbereich schneiden. Diese verschiedenen Linsentypen können kombiniert werden, um beispielsweise eine feine Filterung von Verkehrsdaten vorzunehmen (siehe Abb. 7(a)). Der Zeitpunkt für die Bewegungen kann über eine Zeitachse in verschiedenen Granularitätsstufen gewählt werden.

Auch Tominsiki et al. [TSAA12] haben sich mit der Visualisierung von Bewegungsdaten in ihrem raum- und zeitbezogenem Kontext beschäftigt. Die Autoren haben die *time lens* entwickelt, um aggregierte, zeitliche Informationen über einen Anfrageraum einer Kartenvisualisierung zu erhalten. Das Innere der Linse stellt Bewegungspunkte innerhalb des Interessenfokus dar. Am Rand der Linse werden zeitliche Aspekte, wie die Gesamt- und Durchschnittsdauer, der selektierten Bewegungspunkte dargestellt.

Mit den *Tangible Views* von Spindler et al. [STSD10] können ebenfalls raum- und zeitbezogene Daten exploriert werden. Die *Tangible Views* stellen Magische Linsen über einem Tabletop-Display dar, welche alternative Repräsentationen der Daten zur Verfügung stellen. So können die *Tangible Views* beispielsweise zur Exploration von raum- und zeitbezogenen Daten verwendet werden. Abhängig von der Position des *Tangible Views* im Raum über dem Tabletop-Display wird die Kodierung raumbezogener Daten variiert.



(a) Mehrere *TrajectoryLenses* [KTW⁺13] im Einsatz: *origin*, *destination* und *waypoint lenses*



(b) Visualisierung von beliebigen Zeitereignissen in einem 3D-Raum durch die *Time Lens* [SFR01]

Abbildung 7: Magische Linsen zur Untersuchung zeitbezogener Daten

Durch eine vertikale Translation des Tangible Views kann die Zeitachse zeitbezogener Daten navigiert werden. Horizontale Translationen dienen der Navigation der Karte. Somit wird auf dem Tangible View eine alternative Kodierung von raumbesetzten Daten in Abhängigkeit vom gewählten Zeitpunkt (z.B. Monat) dargestellt.

Mit der *Time Lens* von Stoev et al. [SFR01] können beliebige Zeitereignisse in einem dreidimensionalen Raum visualisiert werden. Die *Time Lens* erlaubt es Nutzern an beliebigen Positionen in einer dreidimensionalen Kartenschnittstelle Objektbewegungen im Verlauf der Zeit zu betrachten. Zeitpunkt und Intervalllänge sind über Slider am Rand der Linse einzustellen. Abhängig von diesen Einstellungen werden Objektpositionen auf der Karte aktualisiert und besuchte Orte dargestellt (siehe Abb. 7(b)). Diese Magische Linse kann unterstützend bei der Visualisierung historischer Daten, wie Völkerwanderungen, eingesetzt werden.

Die *Temporal Magic Lens* von Ryall et al. [RLE05] kombiniert ebenfalls raum- und zeitbezogene Anfragen. Nutzer wählen mit der Magischen Linse einen Interessenbereich in statischen Videodaten. Das gewünschte Zeitintervall ist über einen Slider zu wählen. Durch Kompositionstechniken werden die Frames des ausgewählten Zeitintervalls zu einem Frame zusammengefügt, um eine Zusammenfassung der Ereignisse innerhalb der Magischen Linse darzustellen.

Kister et al. [KRMD15] schlagen vor, dass die Distanz eines Nutzers zu einer Displaywand zur Navigation der Zeitachse einer Magischen Linse eingesetzt werden könnte.

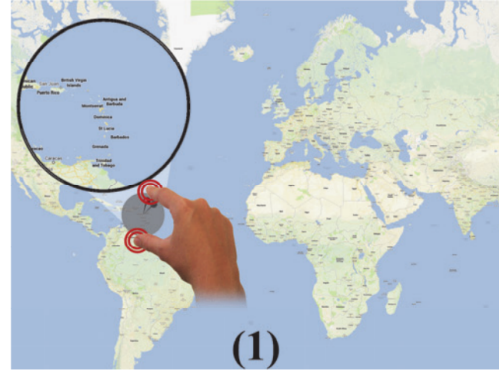
2.1.4 Interaktion mit Magischen Linsen

Die Steuerung Magischer Linsen kann durch eine Vielzahl an Eingabemodalitäten erfolgen. In modernen Anwendungsszenarien, in denen Mobilgeräte, Tabletops oder große, hochauflösende Displaywände zum Einsatz kommen, sind Interaktionstechniken gefragt, welche Gebrauch von Multitouch-Interaktion oder Gestensteuerung sowie räumlicher Interaktion machen. Abseits der klassischen Maus- und Tastatureingaben, wie sie

beispielsweise bei den *Graphical Fisheye Views* von Sarkar und Brown [SB92], der *EditLens* von Gladisch et al. [GSE⁺14] sowie der *ColorLens* von Elmqvist et al. [EDF11] zum Einsatz kommen, existiert eine Vielzahl weiterer Interaktionstechniken zur Steuerung Magischer Linsen. So werden die *Pointing Lenses* von Ramos et al. [RCBBL07], welche Nutzern bei Selektionsaufgaben auf kleinen Displays durch eine Vergrößerung des Interaktionsbereiches helfen sollen, beispielsweise mit einem Stylus bedient. Viele der bereits existierenden Magischen Linsen sind über Multitouch-Interaktion steuerbar. Zu diesen Linsen gehören unter anderem die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10], *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11] sowie die Vergrößerungslinsen von Sadana und Strasko [SS14] und Bortolaso et al. [BOP⁺14]. Auch die *EditLens* von Gladisch et al. [GSE⁺14] ist neben Maus- und Tastatureingaben durch Multitouch-Gesten bedienbar. Einige Magische Linsen, wie *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11] und die *PhysicsLenses* von Butscher et al. [BHR14] können mit 2 Händen auf Multitouch-Oberflächen bedient werden. Die *PhysicsLenses* von Butscher et al. [BHR14] sind Vergrößerungslinsen und wurden für die Ausrichtung mehrere Linsen innerhalb einer Informationsvisualisierung konzipiert. Ähnlich zu DragMag [WL95] wird eine *PhysicsLens* mit einem Versatz neben dem Interessenfokus dargestellt. Auch wenn die *PhysicsLenses* beidhändig bedient werden können, um zwei Interessenbereiche gleichzeitig zu definieren und zu vergleichen, zeigte die von den Autoren durchgeführte Studie, dass Nutzer die Linsen bevorzugt sequentiell erstellen und parametrisieren.

In den vorausgehenden Abschnitten wurden die Ziele, die mit Magischen Linsen erreicht werden sollen und deren Eigenschaften betrachtet. Daraus ergeben sich verschiedene *Aktionen*, die durch eine geeignete Nutzer-Interaktion realisiert werden müssen. Zu diesen Aktionen gehören unter anderem das *Erstellen* und *Entfernen* sowie die *Translation* und *Skalierung* Magischer Linsen. Des Weiteren ist die geeignete *Parametrisierung* der Linsenfunktion zur Anpassung an den jeweiligen Anwendungskontext eine Zentrale Aufgabe der Interaktion mit Magischen Linsen.

In Multitouch-Anwendungsbereichen werden Magische Linsen oftmals über eine Art der Pinchgeste erstellt. So wird beispielsweise die Vergrößerungslinse von Sadana und Strasko [SS14] durch eine 2-Finger-Pinchgeste, die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10] durch eine 3-Finger-Touch-Geste sowie die Magischen Linsen von Chapius et al. [CBF14] und die *MultiLens* von Kister et al. [KRD16] durch eine 5-Finger-Touch-Geste erstellt. Die Position des kreisförmigen *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11] wird mit zwei Fingern der nicht-dominanten Hand auf einem Multitouch-Display spezifiziert, wodurch die Linse erstellt wird (siehe Abb. 8(a)). Innerhalb der vergrößerten Ansicht können Objekte mit einem Finger der dominanten Hand manipuliert werden. Auch die *PhysicsLens* von Butscher et al. [BHR14] wird durch das Berühren des Multitouch-Displays mit zwei Fingern erstellt (siehe Abb. 8(b)). Diese Art der Linsenerstellung bietet den Vorteil, dass die Größe der Magischen Linsen auf natürliche Weise durch den Abstand der Finger auf der Multitouch-Oberfläche bestimmt werden kann. Um Magische Linsen mit einem größeren Durchmesser insbesondere auf sehr großen, hochauflösenden Displays zu erstellen, sind jedoch andere Formen der Interaktion nötig. Die *PhoneLens* von Schmidt et al. [SSRG12] ist eine personalisierte Linse, welche die Präsentation des Interessenfokus abhängig von den Informationen auf dem Mobilgerät des Nutzers verändert. Auch diese



(a) Erstellung von *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11] durch zwei Finger der nicht-dominanten Hand. (b) Erstellung der *PhysicsLens* von Butscher et al. [BHR14]

Abbildung 8: Erstellung Magischer Linsen durch zwei Finger auf einem Multitouch-Display

Linse erlaubt die Einstellung der Größe während der Erstellung. Sie lässt sich durch Berühren der Tabletop-Oberfläche mit einem Finger und einer Ecke des Mobilgerätes aufziehen.

Soll eine Magische Linse wieder aus der Darstellung entfernt werden, wird häufig die Multitouch-Geste eingesetzt, welche auch zur Linsenskalierung verwendet wird. Die *PhysicsLens* von Butscher et al. [BHR14] wird beispielsweise durch eine 2-Finger-Pinchgeste bis zu einem gewissen Schwellenwert herab skaliert, um sie zu entfernen. Auch die *MultiLens* von Kister et al. [KRD16] wird durch eine solche 2-Finger-Pinchgeste auf dem Linsenrand entfernt, wenn ein vorgegebener Schwellenwert erreicht wird. Analog dazu werden die Magischen Linsen von Chapius et al. [CBF14] durch eine 5-Finger-Pinchgeste entfernt. Im Gegensatz dazu lässt sich die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10] durch einen simplen Tap auf die Linse entfernen.

Zur Linsentranslation wird bei fast allen Multitouch-Linsen ein 1-Finger-Touch-Geste auf der Linse selber oder dem Linsenrand eingesetzt. So werden die Magischen Linsen von Sadana und Strasko [SS14], Bortolaso [BOP⁺14] und Chapius et al. [CBF14] sowie die *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10], die *PhysicsLens* von Butscher et al. [BHR14] und die *MultiLens* von Kister et al. [KRD16] verschoben, indem die Linse oder der Linsenrand mit einem Finger berührt und zur gewünschten Position verschoben wird. Analog dazu werden die *Pointing Lenses* von Ramos et al. [RCBBL07] durch einen Stylus verschoben. Zusätzlich zur allgemeinen Translation der Magischen Linse kann die Ansicht innerhalb des Interessenfokus der *PhysicsLens* von Butscher et al. [BHR14] durch eine 1-Finger-Touch-Geste feiner eingestellt werden, indem der Linsenausschnitt verschoben wird. Durch die zweihändige Bedienung von *FingerGlass* von Käser et al. [KAP11] wird die Position der Magischen Linse kontinuierlich durch 2 Finger auf der Multitouch-Oberfläche bestimmt und kann durch die Neupositionierung der beiden Finger verschoben werden. Die von Kister et al. vorgestellten *BodyLenses* [KRMD15] sind Magische Linsen auf einer großen, hochauflösenden Displaywand, welche größtenteils durch Kör-

perbewegungen des Nutzers gesteuert werden. Die horizontale Position der Linse wird durch die Bewegung des Nutzers entlang der Displaywand gesteuert. Die vertikale Position der Magischen Linse befindet sich typischerweise auf Augenhöhe des Nutzers und kann durch Auf- und Abbewegungen der Hand gesteuert werden. Des Weiteren haben die Autoren den Raum vor der Linse in mehrere Bereiche unterteilt. Wenn der Nutzer sich näher als 0,5m vor der Displaywand befindet, hat die Bewegung des Körpers keinen Einfluss mehr auf die Position der Linse und es können zusätzliche Toucheingaben getätigt werden, um beispielsweise die Linse zu verschieben. Betritt der Nutzer den Bereich von 0,5m bis 2,5m vor der Displaywand, befindet er sich im Bereich der körperzentrischen Interaktion, wo beispielsweise die Position der Linse durch die Position des Nutzers im Raum gesteuert werden kann. In diesem Bereich können zudem verschiedene Arm- und Handgesten zur Formänderung der Magischen Linse eingesetzt werden. Die Autoren schlagen zudem vor, dass die Distanz zur Displaywand für die Steuerung der vertikalen Position der Magischen Linse eingesetzt werden könnte.

Wie bereits erwähnt wurde, werden auf Multitouch-Oberflächen oftmals Pinchgesten als natürliche Interaktion zur Skalierung von Magischen Linsen eingesetzt ([SNDC10], [BHR14], [KRD16], [CBF14]) Kister et al. [KRMD15] schlagen vor, dass die Distanz des Nutzers zur Displaywand auf die Größe der Magischen Linse abgebildet werden könnte. Somit können Nutzer die Größe einer Linse variieren, indem sie sich auf die Displaywand zu bewegen oder sich von dieser entfernen.

Zur Parametrisierung einer Linsenfunktion gibt es verschiedene Ansätze. Der Vergrößerungsfaktor der Magischen Linse von Ramos et al. [RCBBL07] ist beispielsweise durch das Streichen des Stylus über den Linsenrand steuerbar. Dieser Parameter lässt sich hingegen bei den Magischen Linsen von Sadana und Strasko [SS14] über einen Radialslider am Rand der Linse einstellen. Der Vergrößerungsfaktor der *PhysicsLenses* von Butscher et al. [BHR14] und der Magischen Linsen von Chapius et al. [CBF14] ist wiederum durch eine 2-Finger-Pinchgeste variierbar. Eine 3-Finger-Pinchgeste auf dem Mobilgerät führt dazu, dass die Magische Linse von Chapius et al. [CBF14] gleichzeitig skaliert und die Linsenfunktion (Vergrößerung) parametrisiert wird. Zusätzlich zur Toucheingabe auf dem Mobilgerät haben die Autoren die Bewegung des Nutzers im Raum vor der Displaywand als eine Interaktionsmöglichkeit wahrgenommen. So kann durch die Veränderung der Distanz zur Displaywand der Vergrößerungsparameter der Linse kontrolliert werden. Auch Kister et al. [KRMD15] schlagen vor, dass die Distanz des Nutzers zur Displaywand zur Steuerung verschiedener Parameter der Linsenfunktion sowie zum Wechsel der Zeitschritte in Visualisierungen mit zeitbezogenen Daten eingesetzt werden könnte. Betritt der Nutzer den Bereich der körperzentrischen Interaktion (0,5m bis 2,5m vor der Displaywand), können verschiedene Arm- und Handgesten zur Formänderung der *BodyLens* von Kister et al. [KRMD15] verwendet werden. Die *Tangible Views* von Spindler et al. [STSD10] stellen leichtgewichtige Displays dar, welche durch räumliche Bewegung im Raum über einem Tabletop-Display die Parameter von Magischen Linsen steuern können. So kann beispielsweise eine horizontale Rotation des Tangible Views die Vergrößerung einer Fischaugen-Linse steuern.

Die runde Vergrößerungslinse von Sadana und Strasko [SS14] dient der Exploration von Streudiagrammen und ermöglicht es zudem einzelne Datenpunkte innerhalb der

Linse mit einem Tap zu selektieren, welche andernfalls möglicherweise schwer voneinander zu unterscheiden wären. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten mit Magischen Linsen zu interagieren. Kister et al. [KRD16] gehen davon aus, dass das Bereitstellen mehrerer Eingabemodalitäten (z.B. Diskretes Tapping und kontinuierliche Gesten) zu einer verbesserten Interaktion führt und den potentiellen Anwenderbereich vergrößert. Räumliche Interaktion zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen wird derzeit nur von wenigen Systemen unterstützt.

2.2 Geräte-Interaktion

Die sogenannten *Natural User Interfaces* (NUI) ermöglichen Nutzern eine intuitive und oftmals direkte Bedienung von Computern. Natürliches, menschliches Alltagsverhalten stellt dabei den Bezugspunkt für die Bedienhandlungen dar, sodass die Interaktion intuitiv und vertraut erscheint [PD15]. NUI-Systeme können dabei helfen sowohl die Kluft der Ausführung (*Gulf of execution*) als auch die Kluft der Evaluation (*Gulf of evaluation*) zu überbrücken. Somit kann das Verständnis von Nutzern sowohl über die Funktionsweise (Kluft der Ausführung) als auch über das Feedback (Kluft der Evaluation) eines Systems unterstützt werden [Nor13]. Laut Donald A. Norman [Nor13] ist genau dies die Verantwortung eines Designers.

„Die Rolle des Designers ist es, dabei zu helfen die beiden Klüfte zu überbrücken.“ [Nor13]

Physische und räumliche Eingabemethoden von Natural User Interfaces führen bei Anwendungen der wissenschaftlichen Visualisierung (analog für Informationsvisualisierung) zu Benutzerschnittstellen mit einem geringen kognitiven Mehraufwand. Somit können sich Nutzer auf ihrer Arbeit und die visuellen Aspekte der Visualisierung konzentrieren [KI13]. Des Weiteren könne 3D-Interaktion zu neuen Fähigkeiten führen, welche komplexe Eingabemöglichkeiten fördern und zur Exploration reichhaltiger Datenmengen führen [KI13].

Das 2008 von Jacob et al. [JGH⁺08] vorgestellte deskriptive Framework der *Realitätsbasierten Interaktion* führt die Nutzung eines Computersystems näher an eine direkte Manipulation [Shn83] der nicht-digitalen, physischen Welt. Durch den gezielten Fokus auf *Körper-, Umgebungs- und Sozialbewusstsein* sowie dazugehörige *Fähigkeiten* und das Verständnis der Nutzer von *Naiver Physik*. Diese Konzepte sollen im Folgenden kurz erläutert werden:

- *Körperbewusstsein* und die damit verbundene *Fähigkeiten*:
Menschen besitzen ein Verständnis über ihren eigenen Körper, z.B. die relative Position der Arme und Beine oder die Koordination dieser. Eine große Menge von Interaktionstechniken machen bereits Gebrauch von Körperfähigkeiten, wie die Körper- und Gestensteuerung der BodyLens von Kister et al. [KRMD15] oder die körperzentrischen Interaktionstechniken von Shoemaker et al. [STKB10].
- *Umgebungsbewusstseins* und die damit verbundene *Fähigkeiten*:
Dieser Aspekt beschäftigt sich mit der Position und Präsenz des Nutzers im physischen Raum. So erhalten Menschen beispielsweise durch Orientierungspunkte oder atmosphärischen Nebel in der realen Welt ein Verständnis über ihre Position sowie Richtungen und Distanzen zu Objekten im physischen Raum. Ferner können Nutzer diese Objekte aufheben, drehen, neu positionieren oder arrangieren. Zu Benutzerschnittstellen, welche diesen Aspekt ausnutzen, gehören zum Beispiel die Datentransfertechniken von Seifert et al. [SDS⁺14] oder die lockeren Interaktionstechniken von Pohl und Murray-Smith [PMS13]

- *Sozialbewusstsein* und die damit verbundene *Fähigkeiten*:
Menschen nehmen die Präsenz anderer Menschen wahr und können mit diesen verbal oder nonverbal kommunizieren und Objekte untereinander austauschen. Durch CodeSpace von Bragdon et al. [Bra11] oder die körperzentrische Interaktion von Shoemaker et al. [STKB10] können Nutzer beispielsweise auf natürliche Art und Weise Daten austauschen.
- *Naïve Physik*:
Menschen verfügen über Allgemeinwissen und besitzen ein Verständnis über grundlegende physikalische Konzepte, wie Gravitation oder Reibung. Benutzerschnittstellen können gezielt Eigenschaften dieser Konzepte ausnutzen, welche zu vielversprechenden Interaktionen führen können. Auf dem Apple iPhone wird beispielsweise beim Scrollen durch Listen Reibung simuliert.

Interfaces, die auf diesen Konzepten basieren, ermöglichen Nutzern eine erleichterte Bedienung des Computersystems, da mentale Anstrengungen reduziert werden und ein Erlernen der Systembedienung beschleunigt wird [JGH⁺08]. Des Weiteren sind die Menschen zur Exploration und Improvisation bei der Nutzung des Systems ermutigt. Dennoch sind nicht für alle Aufgaben realitätsbasierte Interfaces geeignet. Aus diesem Grund haben Jacob et al. [JGH⁺08] eine Liste von Tradeoffs erstellt, welche im Bezug auf die Realitätsnähe des Systems abzuwägen sind.

- *Ausdruckskraft*:
Inwiefern schränkt der Realismus des Systems dessen Funktionalität ein? Es ist abzuwägen, ob Funktionen zugunsten des Realismus eingeschränkt werden sollten oder nicht.
- *Effizienz*:
Sollen leicht verständliche oder effiziente Interaktionen zur Verfügung gestellt werden? Insbesondere ist zwischen Experten und Nutzern mit wenig Erfahrung zu unterscheiden. Designer sollten Interaktionen entsprechend der Anwendergruppe zur Verfügung stellen.
- *Flexibilität*:
Ist die Benutzerschnittstelle für allgemeine oder spezifische Aufgaben konzipiert? Für einzelne, spezielle Aufgaben sind maßgeschneiderte Systeme geeignet, welche mehr Realismus erlauben.
- *Ergonomie*:
Wie ermüdend ist die Bedienung des Systems? Ermüdungserscheinungen und Verletzungsgefahren, welche durch den Fokus auf realitätsbasierte Interaktionen entstehen können, sollten beim Entwurf von Benutzerschnittstellen berücksichtigt werden.
- *Zugänglichkeit*:
Ist das System von Menschen mit körperlichen Einschränkungen nutzbar? Der

Fokus auf realitätsbasierte Interaktionen kann dazu führen, dass das System für einige Nutzer nicht bzw. schwer zugänglich ist und sollte bei der Konzeption bedacht werden.

- *Praktikabilität:*

Welche technischen Beschränkungen entstehen durch den Fokus auf Realismus? Raum, Größe, Ressourcenverbrauch, Haltbarkeit und weitere Faktoren, welche durch realitätsbasierte Interaktionen beeinflusst werden, sind zu berücksichtigen.

In den folgenden Abschnitten soll genauer auf die Interaktion mit großen, hochauflösenden Displays, den Begriff der *Proxemics*, Mobilgeräteinteraktionen sowie auf den Unterschied zwischen lockerer und fokussierter Interaktion eingegangen werden.

2.2.1 Interaktion mit großen Displays

Begünstigt durch fallende Preise ist der Einsatz großer, hochauflösender Displays in den letzten Jahren zunehmend angestiegen. Diese, typischerweise aus mehreren LCD-Bildschirmen aufgebauten, Displays erscheinen in unterschiedlichsten Szenarien. Zu den Anwendungsdomänen solcher Geräte gehören beispielsweise das Computergestützte Design, der Einsatz in Kommando- und Kontrollzentren sowie die Wissenschaftliche Visualisierung und Informationsvisualisierung. Große, hochauflösende Displaywände ermöglichen eine großflächige Informationspräsentation und Kollaboration, welche es mehreren Nutzern ermöglicht simultan auf Informationen zuzugreifen. Durch den Einsatz von Displaywänden sind sowohl Kontext- als auch Detailinformationen zu betrachten. Aus der Ferne betrachtet sind globale Kontextinformationen sichtbar. Treten Nutzer nah an die Displaywand heran, ist es ihnen mögliche Detailinformationen zu untersuchen. Studien belegen, dass der Einsatz großer Displays in Abhängigkeit von der Aufgabe zu geringeren Durchführungszeiten führt [SBY⁺06, BNB07] und die Nutzerfrustration signifikant verringert [SBY⁺06]. Insbesondere stellt physische Navigation eine natürliche Verhaltensweise von Nutzern vor großen Displays dar, welche für Interaktionskonzepte ausgenutzt werden kann [PNB09]. Zudem ziehen Nutzer physische der virtuellen Navigation vor und sehen die 2D-Displaywand als Teil ihres Interaktionsraumes [BNB07]. Durch den Einsatz größerer Displays wird physische Navigation begünstigt und die Abhängigkeit von virtueller Navigation verringert [BNB07]. Insbesondere bei Aufgaben, welche das räumliche Gedächtnis beanspruchen, kommt es zu erhöhten Leistungswerten der Nutzer [RJBR13]. So ist beispielsweise die Leistungsfähigkeit der Nutzer unter Verwendung physischer Navigation erhöht, wenn zwischenzeitlich eine 15-minütige Ablenkungsaufgabe durchgeführt wird. Des Weiteren bietet die Kombination aus großen, hochauflösenden Displays und physischer Navigation Nutzern die Möglichkeit große Datenmengen in verschiedenen Detailstufen zu betrachten [BNB07]. Ball et al. [BNB07] haben eine Liste der Tradeoffs zwischen virtueller und physischer Navigation aufgestellt. So ist das räumliche Verständnis höher, die Interaktion direkter und das Interface zur Navigation bei physischen Interaktionen positiv zu bewerten, da keine zusätzliche Benutzerschnittstelle nötig ist und Eingaben durch den Körper getätigt werden können. Im Gegensatz dazu bietet

virtuelle Navigation eine allgemeinere und weniger ermüdende Interaktion, welche mit einem beliebigen Eingabegerät getätigt werden kann.

Um mit einer hochauflösenden Displaywand interagieren zu können, müssen neue Interaktionskonzepte entwickelt werden, da traditionelle WIMP-Interaktionen nicht mehr ausreichend sind. Ni et al. [NSS⁺06] haben 2006 einige Herausforderungen identifiziert, die bei der Arbeit mit großen Displaywänden auftreten können. So seien unter anderem die Erreichbarkeit von entfernten Objekten, das Verwalten des Raums und Aufbaus sowie die Übergänge zwischen Detailinteraktionen (nahe der Displaywand) und Überblicksinteraktionen (weiter entfernt von der Displaywand) Probleme, die berücksichtigt werden müssen. Um derartige Aufgaben lösen zu können, müssen neuartige Interaktionskonzepte entwickelt werden, welche die sechs Freiheitsgrade der Rotation und Translation im Raum vor der Displaywand ausnutzen. Der Nutzer muss einerseits in der Lage sein, entfernte Objekte auf der Displaywand selektieren zu können. Andererseits müssen weitere Eingabeaktionen, wie das Anpassen von Parametern unterstützt werden [NCP⁺13].

Wenn ein Mobilgerät als zusätzliches Interaktionswerkzeug verwendet wird, können verschiedene gerätebezogene Gesten eingesetzt werden, wie beispielsweise das *Schütteln* (*Shaking*) oder *rhythmische Schütteln* (*Rhythm*), *Umdrehen* (*Flipping*), *Drücken* (*Squeezing*), *Verschieben* (*Moving*), *Rotieren* (*Rotating*), *Neigen* (*Tilting*), *Stoßen* (*Tossing*), *Schleudern* (*Throwing*), *Malen* (bzw. *freie Symboleingabe*) oder *Berühren* (*Tapping*) des Mobilgerätes [PD15].

Shoemaker et al. [STKB10] haben ein System zur Interaktion mit einer großen Displaywand entwickelt, welches eine Schatten-Metapher nutzt. Der Körper des Nutzers wird dabei als Schatten auf den Bildschirm projiziert, während Eingaben durch Körpergesten und mit einer Wiimote pro Hand getätigt werden. Verschiedene Werkzeuge zur Arbeit an der Displaywand befinden sich an unterschiedlichen Positionen des projizierten Schattens und folgen diesem. Nutzer können auf diese Weise mit der Hand auf eines der Werkzeuge zeigen und dies durch eine Buttonbetätigung auf dem mobilen Controller auswählen. Slidereinstellungen sind im System durch das Bewegen der Hand zwischen zwei Gelenken, wie dem Handgelenk und der Schulter des anderen Armes, möglich.

Proxemics

Aufbauend auf dem Begriff der Proxemics, welcher 1966 von dem Anthropologen Edward Hall [Hal66] geprägt wurde, haben Greenberg et al. [GMB⁺11] die folgenden fünf proxemischen Maßeinheiten definiert: *Distanz*, *Orientierung*, *Bewegung*, *Identität* und *Position*. Durch die *Distanz* können diskrete Zonen zwischen Entitäten generiert werden. Dabei kann die innerste Zone zwischen einem Nutzer und einer Displaywand beispielsweise für explizite Eingaben genutzt werden, während die Displaywand in der äußersten Zone lediglich als ein Umgebungsdisplay dient. Mit *Orientierung* sei die Neigung bzw. Rotation einer Entität in Relation zu einer anderen gemeint. Die *Identität* beschreibt eine Entität genau und *Bewegung* ist die Veränderung der Orientierung und Distanz im Verlauf der Zeit. Die *Position* einer Entität ist eine Beschreibung des physischen Kontextes, wie beispielsweise des Raums, in welchem sich die Entität befindet. Das Konzept der Proxemics wird in verschiedenen Benutzerschnittstellen für natürli-

che Interaktionen eingesetzte, von welchen im Folgenden einige vorgestellt werden sollen [GK99, GMB⁺11, JH12, JHKH13, MBB⁺12, LS13].

Aufbauend auf den proxemischen Maßeinheiten haben Greenberg et al. [GMB⁺11] Interaktionskonzepte entwickelt. So nutzen beispielsweise der *Proxemic Presenter* und das *Proxemic Face* die Orientierung des Nutzers zum Display, um Objekte ein- bzw. auszublenden oder die Darstellung zu ändern. Außerdem kann der Proxemic Presenter Personen voneinander unterscheiden (Identität) und reagiert auf die Bewegung des Nutzers vor dem Display, indem dargestellte Objekte dem Nutzer folgen. Die Distanz kann wie im *Proxemic Media Space* [GK99] genutzt werden, um die Privatsphäre von Gesprächspartnern sicherzustellen, indem Audio- oder Videostreams einer Konferenz nur aktiv sind, wenn sich der Nutzer in der Nähe des Mikrofons oder der Kamera befindet.

Lehmann und Staadt [LS13] verwenden die proxemische Maßeinheit Distanz zur Skalierung von Interaktionen. Im Prototyp der Autoren verwenden Nutzer jeweils einen Cursor pro Hand, um 2D-Objekte auf einer Displaywand zu manipulieren (Rotation, Translation, Skalierung). Mit dem *separated-cursor* wird die Manipulationsaufgabe ausgewählt. Der *connected-cursor* dient Ausführung dieser Manipulationsaufgabe. Die technische Präzision der Interaktionen ist dabei abhängig von der Nutzerdistanz zum Display. Es wurden drei verschiedene Abbildungen der physischen Handbewegungen auf die virtuelle Objektbewegung in Abhängigkeit von der Nutzerdistanz zur Displaywand untersucht (Interaktionsskalierung): eine *kontinuierlicher* Distanzabbildung, eine *nichtlinearer* Distanzabbildung und eine *Bereichsabbildung* (Unterteilung des Raums vor der Displaywand in 4 Zonen: nah, mittel, entfernt, weit entfernt mit jeweils vordefinierten Abbildungsfaktoren) Der *nichtlinearer* Abbildungsfaktor unterteilt den Raum vor der Displaywand in drei Bereiche. Im ersten sowie dritten Bereich werden Interaktionen mit einem vordefinierten Abbildungsfaktor skaliert. Befindet sich der Nutzer im mittleren Bereich wird der Abbildungsfaktor linear interpoliert. Die Autoren haben festgestellt, dass ein kontinuierlicher Distanzabbildungsfaktor bessere Leistungen hervorbringt als vordefinierte, in Bereiche unterteilte Faktoren. Die *Bereichsabbildung* unterteilt den Raum vor der Displaywand in 4 Bereiche: nah, mittel, entfernt und weit entfernt mit jeweils vordefinierten Abbildungsfaktoren. Die Autoren haben festgestellt, dass ein kontinuierlicher Distanzabbildungsfaktor bessere Leistungen hervorbringt als vordefinierte, in Bereiche unterteilte Faktoren. Des Weiteren haben Nutzer für Sortieraufgaben weniger Objektsaktionen benötigt, wenn ein Distanzabbildungsfaktor verwendet wurde.

Auch Jakobsen et al. [JH12] nutzen diese proxemischen Maßeinheiten zur Interaktion. Die Autoren haben 2012 einen Prototyp vorgestellt, mit dem es möglich ist die auf einer 3m x 1,3m großen Displaywand dargestellte Präsentation einer Informationsvisualisierung durch die Position, Orientierung und Bewegung des Nutzers zu beeinflussen. So kann der Nutzer die Zoomstufe einer angezeigten Karte durch eine vertikale Translation in Richtung der z-Achse verändern. Bewegt sich der Nutzer auf die Displaywand zu, wird die Karte vergrößert und es werden mehr Details dargestellt. Entfernt er sich von der Displaywand, wird entsprechend herausgezoomt. Auf welchen Punkt dabei gezoomt wird, ist abhängig von der Orientierung des Kopfes. Ein Verschieben der Karte wird durch eine vertikale Translation in Richtung der x-Achse erreicht, wenn sich der Nutzer also seitlich vor der Displaywand bewegt. Des Weiteren kann die visuelle Repräsentati-

on (Schriftgröße, Datenaggregation, Darstellung individueller Datenobjekte) der Daten abhängig von der Distanz zur Displaywand variiert werden.

Im Jahr 2013 gingen Jakobsen et al. [JHKH13] noch einen Schritt weiter und haben das Zusammenspiel von Proxemics und Informationsvisualisierung explizit untersucht und haben dabei mögliche Interaktionskonzepte erarbeitet. Ein Teil dieser soll im Folgenden erwähnt werden.

- *Distanz:*
Durch die Verringerung der Distanz des Nutzers zu einem großen Display können beispielsweise mehr Details (*Details-on-demand*) angezeigt werden. Die Informationen werden aggregiert, wenn der Nutzer sich vom Display entfernt. Ebenso kann die Distanz des Nutzers zur Displaywand für die Filterung von Daten oder für Fokus+Kontext-Techniken genutzt werden, wodurch ausgewählte Elemente vergrößert dargestellt werden. Wenn sich der Nutzer von der Displaywand entfernt, werden die restlichen Elemente verkleinert.
- *Orientierung:*
Visuelle Darstellungen, welche von Nutzern aus extremen Winkeln betrachtet werden, sehen diese verzerrt. Um diese Verzerrungen zu eliminieren, kann die Darstellung der Displaywand in Abhängigkeit von der Orientierung des Nutzers variiert werden.
- *Bewegung:*
Durch die Bewegung des Nutzers oder einer Entität vor einer Displaywand können Daten gefiltert werden. Dazu muss die Position des Nutzers bzw. der Entität auf die zu filternden Attribute oder Attributsausprägungen abgebildet werden. Des Weiteren kann die Bewegung von Nutzern verwendet werden, um Datenobjekte auszuwählen oder um Kontrollelemente und Legenden neu auf der Displaywand zu organisieren.
- *Position:*
Wenn der Nutzer an einer Seite des Displays steht, kann die andere genutzt werden, um Information anzuzeigen, welche mit dieser Ansicht verwandt sind.

Mit *Gradual Engagement* haben Marquardt et al. [MBB⁺12] eine Entwurfsmuster formuliert, welches das Konzept der Proxemics ausnutzt und Nutzer über die Verbindung zwischen Geräten und Informationsaustauschmöglichkeiten informiert. Dabei wird die Distanz zwischen den Geräten dafür verwendet, um Funktionalitäten in drei Stufen zur Verfügung zu stellen.

1. *Warhnehmen* der verbundenen Geräte:
Nutzer werden über die Präsenz verfügbarer Geräte durch entsprechende Icons (*Awarenes-Icons*) informiert. Zusätzlich wird eine Verbindung zu diesen Geräten aufgebaut.

2. *Aufdecken* der austauschbaren Informationen:
Informationen, welche für den Datentransfer zur Verfügung stehen, werden dem Nutzer präsentiert.
3. Verschiedene Methoden zum *Datentransfer*:
Interaktionsmethoden zum Datentransfer, welche die Autoren in Interaktionen aus der Distanz und in unmittelbarer Umgebung unterteilen.

Es findet ein nahtloser Übergang von Stufe zu Stufe statt. Von besonderem Interesse für diese Arbeit sind die Interaktionsmethoden zum Datentransfer. Diese Interaktionstechniken basieren auf Abstandsbeziehungen der einzelnen Geräte. So zieht der Nutzer beispielsweise Objekte auf dem Mobilgerät auf das *Awarenes-Icon* eines öffentlichen Displays, um diese zu übertragen. Zur Entfernung des Objektes von dem öffentlichen Display zieht der Nutzer das Objekt wieder auf das *Awarenes-Icon* des Mobilgerätes. Des Weiteren kann der Nutzer das Mobilgerät vom Körper weg auf das öffentliche Display richten, um einzelne Objekte darauf zu selektieren. Ein simpler Tap auf dem Tablet überträgt das Objekt. Ein Objekt kann auf ähnliche Weise auch auf dem öffentlichen Display abgelegt werden, indem das Mobilgerät auf die Zielposition des Displays gerichtet und mit einem Tap die Übertragung des Objektes ausgelöst wird.

Wie an den vorgestellten Beispielen zu sehen ist, ermöglicht die Verwendung proxemischer Maßeinheiten eine intuitive und natürliche Interaktion mit großen, hochauflösenden Displays. Jedoch führt die Bewegung als Interaktionsmodalität vor einem großen Display nicht zwangsläufig zu verbesserten Leistungen. Die Ergebnisse der von Jakobsen et al. [JH15] durchgeführten Studie weisen darauf hin, dass Nutzer größtenteils virtuelle (Vergrößern und Verschieben von Ansichten) im Gegensatz zu physischer Navigation (Bewegung des Körpers) durchführen. Die Autoren kamen zu der Schlussfolgerung, dass die Möglichkeit der Leistungsverbesserung durch Bewegung abhängig von der Verwendung einer virtuellen Navigation ist.

2.2.2 Interaktionen mit Mobilgeräten

Das Mobilgerät besitzt grundlegende Eingabeattribute, welche für Interaktionskonzepte in kollaborativen Szenarien verwendet werden können: (1) *Zeigt* der Nutzer mit dem Mobilgerät auf ein entferntes Display, (2) auf welche *Position* des entfernten Displays zeigt der Nutzer mit dem Mobilgerät und (3) jedes Gerät kann durch eine eindeutige *ID* unterschieden werden, wodurch auch eine Unterscheidung verschiedener Nutzer möglich ist [SBR13]. Die grundlegendsten Formen um Eingaben auf einem Mobilgerät zu tätigen, sind das Betätigen von *Softwarebutton* oder *Hardwarebutton*, während das Mobilgerät auf ein Ziel des entfernten Displays gerichtet ist. Weitere Eingabemöglichkeiten stellen *Multitouch-Gesten* auf dem Mobilgerät dar. Des Weiteren kann die *Rotation* (entlang der Zeigeachse zum Ziel) und der *Näherungssensor* des Mobilgerätes als Eingabemodalität verwendet werden [SBR13]. Zudem kann die Position des Mobilgerätes im Raum, insbesondere der Abstand zum entfernten Display (siehe Peck et al. [PNB09] sowie Lehmann und Stadt [LS13]), für Interaktionen eingesetzt werden. Wenn das Mobilgerät

als Zeigegerät verwendet wird, identifizieren Seifert et al. [SBR13] drei Arten der Interaktion mit *Steuerelementen*: (1) *Rotation* des Mobilgerätes, (2) *proximale Interaktion* durch Eingabe auf dem Multitouch-Display und (3) *entfernte/distale Interaktion*, indem das Steuerelement auf dem entfernten Display durch Zeigen des Mobilgerätes selektiert und an eine andere Position verschoben wird. Proximale Interaktion ist bei komplexen Aufgaben mit vielen kleinen Zielen der distalen Interaktion überlegen [RKHQ11]. Benutzerschnittstellen sollten so entworfen werden, dass der Fokus des Nutzers bei proximaler Interaktion auf dem entfernten Display bleibt [SBR13]. Dies kann zum Beispiel durch die Verwendung von Hardwarebutton oder einzelner großer Softwarebutton unterstützt werden. Das Betätigen von Hardwarebutton kann jedoch zu ungewolltem Verwackeln des Mobilgerätes und somit des Cursors führen [MBN⁺02]. Nutzer sollten durch entsprechendes Feedback (auditive oder haptisch) über die ausgelösten Aktion informiert werden, wenn ihr Fokus auf dem entfernten Display liegt [SBR13].

Durch das Mobilgerät kann sowohl *visuelles* als auch *auditives* sowie *haptisches* Feedback durch Vibration gegeben werden.

Es gibt eine große Menge an Interaktionskonzepten, welche sich nicht auf die Interaktion mit großen, hochauflösenden Displaywänden beschäftigt. Auch Benutzerschnittstellen zwischen Mobilgeräten und Tabletops sind für diese Arbeit von Interesse und können aufschlussreiche Ansätze für die Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät bieten. Einige dieser Konzepte sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Analog zu Seifert et al. [SBR13] haben Schmidt et al. [SSRG12] eine Menge von Attributen für geräteübergreifende Interaktionstechniken zwischen Mobilgeräten und Tabletops definiert. Sie unterscheiden dabei *grundlegende* und *zusätzliche Eingabeattribute* sowie *Ausgabeattribute*.

- *grundlegende Eingabeattribute*:

- *Identifizier* ist ein Bezeichner zur Unterscheidung der verschiedenen Mobilgeräte.
- *Position*, wo auf dem Tabletop die Interaktion mit dem Mobilgerät stattfindet.
- *Orientierung* dient der Unterscheidung, welcher Teil des Mobilgerätes mit der Tabletopoberfläche interagiert. Des Weiteren kann die Rotation des Mobilgerätes für kontinuierliche Eingaben verwendet werden.

- *zusätzliche Eingabeattribute*:

Diese Attribute entstehen durch die Kombination aus den grundlegenden Eingabeattributen mit Informationen auf dem Mobilgerät.

- *Datenkontext* ist die Menge an nützlichen Informationen auf dem Mobilgerät, welche für Interaktionen eingesetzt werden können.
- *Selektion* von Optionen dient der Parametrisierung von Interaktionen.
- *Multitouch* bezeichnet in diesem Zusammenhang zweihändige Interaktionen auf dem Tabletop. Diese entstehen durch die Kombination aus Touch-Gesten mit der einen Hand und Interaktion des Tabletops mit dem Mobilgerät.

- *Ausgabeattribute:*
 - *Auditives* Feedback
 - *Visuelles* Feedback
 - *Haptisches* Feedback (Vibration)

Einige Interaktionskonzepte zum Datentransfer zwischen Mobilgeräten und Tabletops verwenden den Berührungspunkt von Mobilgeräten und Tabletops als zentrale Interaktionskomponente. Im Folgenden sollen zwei dieser Benutzerschnittstellen vorgestellt werden.

Schmidt et al. [SSRG12] stellen eine Menge geräteübergreifender Interaktionstechniken vor, bei denen das Mobilgerät wie ein Stift auf einem Tabletop verwendet wird. So kann das Mobilgerät beispielsweise zum Transfer von Daten, als persönliche Ablage, zur Komposition der Benutzerschnittstelle oder in Verbindung mit Touch-Eingaben auf dem Tabletop zum Aufziehen von Magischen Linsen verwendet werden. Das Mobilgerät fungiert in diesem Zusammenhang als greifbares (*tangible*) Eingabegerät, welches einem Stylus ähnelt, beispielsweise für direkte Selektion von Objekten auf dem Tabletop durch Berühren des Tabletops mit dem Mobilgerät. Die Autoren haben ein Dutzend Interaktionskonzepte präsentiert, von denen einige im Folgenden vorgestellt werden sollen. *PhonePick&Drop* dient der Übertragung von Objekten zwischen Mobilgerät und Tabletop. Zuerst wird das zu übertragende Objekt selektiert. Durch Berühren des Tabletops an der Stelle, an der das Objekt abgelegt werden soll, wird es auf den Tabletop übertragen. Das Aufheben eines Objektes vom Tabletop geschieht durch Berühren des Objektes mit dem Mobilgerätes (analog *PhoneCopy&Paste*). Persönliche Informationen auf dem Mobilgerät können mit *PhoneFill* durch Berühren eines speziellen Steuerelements des Tabletops verfügbar gemacht werden. Des Weiteren ist es möglich eine personalisierte Magische Linse (*PhoneLens*) durch Berühren des Tabletops mit einer Ecke des Mobilgerätes und einem Finger der anderen Hand aufzuziehen. Durch *PhonePallets* wird eine Palette von Werkzeugen nicht auf dem Tabletop sondern auf dem Mobilgerät dargestellt. Dies folgt dem Konzept der *separaten Benutzerschnittstelle* [GVVR05], wobei Werkzeuge nicht auf dem Hauptbildschirm sondern einem Mobilgerät verfügbar gemacht werden, ähnlich einem Maler, welcher eine Farbpalette in der Hand hält [Rek98]. Dabei wird vorerst der Zielbefehl mit dem Mobilgerät gewählt, welcher durch das Berühren des Tabletops mit dem Mobilgerät ausgeführt wird. Numerische Parameter können mit *PhoneHandle* durch Verwendung der Roll-, Nick, und Gierwinkel des Mobilgerätes gesteuert werden. Dabei berührt das Mobilgerät ein Steuerelement (Slider, Radialslider) auf dem Tabletop und verändert dessen Wert durch Neigen bzw. Drehen des Mobilgerätes. Auch die *PhoneGestures* basieren auf den Roll-, Nick, und Gierwinkeln um bspw. Objekte auf dem Tabletop durch Rotation des Mobilgerätes zu löschen.

Seifert et al. [SDS⁺14] haben verschiedene Interaktionstechniken mit einem Mobilgerät untersucht um nur vom Nutzer selektierte Daten auf eine Displayoberfläche zu transferieren. Auch in diesem Fall wird die Position der zu übertragenden Informationen durch Berührung des Displays mit dem Mobilgerät bestimmt. Durch vier Interaktionskonzepte der Autoren können Nutzer entscheiden, welche Daten auf das Display zu übertra-

gen sind. Wird das Mobilgerät beispielsweise auf dem Tabletop abgelegt (*Place2Share*), führt dies zum Teilen aller Daten des Mobilgerätes (ohne vorherige Selektion). Mit *Select&Place2Share* und *Select&Touch2Share* hingegen ist eine vorherige Selektion der zu übertragenden Objekte möglich. Die Übertragung der selektierten Objekte wird entweder durch Ablegen des Mobilgerätes oder Berührung des Mobilgerätes mit dem Tabletop (vgl. [SSRG12]) ausgelöst. Alternativ stellen Nutzer das Mobilgerät senkrecht wie ein Schutzschild auf den Tabletop und ziehen die gewünschten Objekte vom Mobilgerät auf das Tabletop (*Shield&Share*).

Auch Jokela et al. [JOG⁺15] verwenden die Berührung von Geräten zum Datentransfer, jedoch um Informationen zwischen Mobilgeräten auszutauschen. Die Autoren haben einen Vergleich von drei unterschiedlichen Möglichkeiten der Datenübertragung zwischen Mobilgeräten aufgestellt. Ihre Studie hat herausgestellt, dass die Präferenz der Nutzer für eine der Interaktionstechniken stark von der gegebenen *Aufgabe* und dem *Szenario* abhängig ist. Faktoren, welche dabei eine Rolle spielen, sind die Anzahl der Objekte, die Anzahl der Geräte, Gerätecharakteristiken, der Zugriff auf Geräte, die Soziale Situation sowie die physische Umgebung. Die folgenden Interaktionskonzepte wurden von den Autoren verglichen: *Tray*, *Transfer Mode*, *Device Touch*. Durch *Tray* können Nutzer Objekte zwischen Mobilgeräten teilen, indem sie diese mit einer 1-Finger-Touch-Geste in eine virtuelle Ablage verschieben. Auf einem zweiten Mobilgerät können die gewünschten Objekte durch einen 1-Finger-Touch-Geste aus der Ablage auf dieses Mobilgerät geschoben werden. Durch eine Wischgeste auf den Mobilgeräten werden diese im *Transfer Mode* für den Datentransfer aktiviert. Anschließend müssen die zu übertragenden Objekte berührt werden. Objekte können auch von einem Gerät auf ein anderes durch Berühren (*Device Touch*) mit einer Ecke des Mobilgerätes übertragen werden. Vorher werden die zu übertragenden Objekte durch langes Berühren selektiert.

Die *Tangible Views* von Spindler et al. [STSD10] nutzen im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Tabletop-Interfaces den Raum über dem Tabletop zur Interaktion. Bei den *Tangible Views* handelt es sich um leichtgewichtige Displays in verschiedenen Formen. Durch die Bewegung und Orientierung der *Tangible Views* können beispielsweise die Parameter einer Visualisierung angepasst werden. Der Tabletop liefert in diesem Fall eine Übersicht bzw. den Kontext des Informationsraumes, während die *Tangible Views* lokale Ansichten für Nutzer darstellen. Die Autoren haben ein Interaktionsvokabular der *Tangible Views* aufgestellt, welches aus den folgenden Verwendungsmustern besteht: *Translation*, *Rotation*, *Einfrieren*, *Gesten*, *Direktes Zeigen*, der *Toolbox-Metapher* sowie *mehrere Ansichten*. Diese Interaktionsmuster können gleichermaßen für die 3D-Interaktion im Raum vor einer Displaywand verwendet werden. Spindler et al. [STSD10] nutzen diese Interaktionsmuster, um beispielsweise durch eine horizontale Rotation die Vergrößerung einer Fischaugen-Linse und durch eine vertikale Translation die Anzahl der dargestellten Polylinien von Parallelkoordinaten zu steuern oder durch das Umdrehen des *Tangible Views* die Visualisierung zu ändern.

Mobilgeräteinteraktion mit vertikalen Displays

Die Berührung des Mobilgerätes zur Interaktion kann auch mit vertikalen Displays erfolgen. Ähnlich wie *PhoneTouch* von Schmidt et al. [SCRG10] (vgl. [SSRG12, SDS⁺14, JOG⁺15]) nutzt *Digifields* von Alt et al. [ASKS13] die Berührung des Mobilgerätes mit einem öffentlichen Display zur Übertragung von Inhalten.

Mobilgeräte eignen sich insbesondere zur Steuerung von großen, vertikalen Displays aufgrund der Bewegungsfreiheit, welche sie Nutzer während der Interaktion bieten. Mit *Modcontrol* von Deller und Ebert [DE11] lassen sich beispielsweise große öffentliche Displays per Smartphone steuern. Jedoch basiert die Interaktion in diesem Fall nur auf Multitouch-Eingaben und nutzt die sechs Freiheitsgrade des Mobilgerätes im Raum nicht.

Nancel et al. [NCP⁺13] kombinieren Toucheingaben mit Kopfbewegungen der Nutzer um hoch präzises Zeigen auf sehr kleine Ziele (4mm) einer großen Displaywand (5,5m breit) zu ermöglichen. Zunächst wird durch die Orientierung des Kopfes die absolute Positionierung des Cursors auf der Displaywand bestimmt. Anschließend erfolgt eine Feineinstellung der Cursorposition durch eine 1-Finger-Touch-Geste auf dem Mobilgerät (relative Positionierung). Im Vergleich mit reinen Zeigetechniken verrichten diese unter Verwendung eines Bruchteils der Interaktionsressourcen genauso gute oder gar bessere Ergebnisse. Somit ist entferntes Zeigen auf kleine, von einer großen Displaywand dargestellten Objekte mit hoher Präzision möglich. Dabei wird nur ein kleiner Teil (7%) des Tabletbildschirms für die Navigation verwendet. Der restliche Anzeigebereich des Mobilgerätes kann für weitere Steuerelemente verwendet werden.

Mobilgeräte können auf natürliche Weise als Zeigewerkzeuge eingesetzt werden, wodurch eine Laserpointer-ähnliche Interaktion mit entfernten Displays möglich ist [JOMS06]. Cursor und Objekte können intuitiv auf dem Display bewegt werden. Dies ist insbesondere nützlich, da es immer wieder nötig ist auf großen, hochauflösenden Displaywänden Positionen zu bestimmen, an denen beispielsweise Objekte erstellt werden sollen. Es existieren eine Menge von Ansätzen, welche zur Interaktion mit vertikalen Displays die integrierte Kamera des Mobilgerätes zur Erfassung des Inhaltes verwenden. Im Folgenden sollen einige dieser Ansätze vorgestellt werden, welche Zeigefunktionalitäten durch die integrierte Kamera des Mobilgerätes ermöglichen.

Point & Shoot von Ballagas et al. [BRS05] nutzt beispielsweise visuelle Hinweise, welche von der integrierten Kamera des Mobilgerätes erfasst werden, um ein absolutes Koordinatensystem zu erstellen. Auf diese Weise ist es Nutzern möglich, Objekte auf einem öffentlichen Display zu selektieren. Der Cursor zur Selektion befindet sich dabei auf dem Bildschirm des Mobilgerätes und nicht auf dem entfernten Display. Des Weiteren ermöglicht die *Sweep* Technik von Ballagas et al. [BRS05] die Steuerung eines Cursors auf einem entfernten Display durch die Bewegung des Mobilgerätes basierend auf optischer Bewegungserkennung. Zur Bewegung des Cursors müssen Nutzer den Joystick des Mobilgerätes gedrückt halten. Wird dieser losgelassen, führen die Bewegungen des Mobilgerätes nicht zu einer Veränderung der Cursorposition. Dies dient beispielsweise der Neupositionierung des Armes oder um Ermüdungserscheinungen vorzubeugen, wenn der Cursor an einer bestimmten Stelle des Displays verweilen soll.

Die von Boring et al. entwickelte Interaktionstechnik des *Shoot & Copy* [BAB⁺07] verwendet gleichermaßen die Kamera des Mobilgerätes, um Daten von einem großen, entfernten Display auf das Mobilgerät zu übertragen. Hierzu werden die Daten durch Icons auf dem große Display dargestellt. Der Nutzer erstellt mit der integrierten Kamera des Mobilgerätes ein Bild eines Teilbereiches des entfernten Displays. In diesem Teilbereich befinden sich die Daten, welche für den Nutzer von Interesse sind. Anschließend wird eine Referenz der Daten an das Mobilgerät gesendet, wodurch auf die erfassten Daten zugegriffen werden kann.

Auch *Touch Projector* von Boring et al. [BBB⁺10] nutzt die integrierte Kamera des Mobilgerätes. Dabei wird ein Live-Videobild auf dem Mobilgerät dargestellt, welches Toucheingaben des Nutzers auf ein Zieldisplay „projiziert“. Durch die Bewegung des Mobilgerätes können somit anvisierte Elemente zwischen Displays (unterschiedlicher Größe) hin- und hergeschoben werden.

Baur et al. stellten 2012 die Interaktionsmetapher *Virtual Projection* [BBF12] vor, welche durch das Erfassen der Orientierung und Position des Mobilgerätes die Manipulation eines Bildes ermöglicht. Das Bild wird dazu vom Mobilgerät auf ein vertikales Display (*Sekundärdisplay*) projiziert und kann durch Bewegung des Mobilgerätes sowie verschiedene Touch-Gesten auf dem Mobilgerät beispielsweise vergrößert, verschoben oder gelöscht werden. Eine Schüttelgeste des Mobilgerätes führt zur Erstellung einer neuen Ansicht. Durch Zielen auf das Sekundärdisplay und eine lange Touch-Geste wird eine neue Projektion erstellt. Touch-Gesten auf dem Mobilgerät zur Manipulation der Projektion haben ebenfalls Effekt auf dem Sekundärdisplay (Synchronisierte Interaktion). Langes Halten auf dem Mobilgerät und die Bewegung des Mobilgerätes im Raum (sechs Freiheitsgrade) ermöglicht die Translation der Projektion auf dem Sekundärdisplay. Bewegung der Projektion auf dem Sekundärdisplay durch eine lange Toucheingabe und Halten dieser auf dem Mobilgerät und Bewegung des Mobilgerätes im Raum (sechs Freiheitsgrade). Zum Entfernen einer Projektion wird diese aus dem Sekundärdisplay herausgeschoben. Die Größe der Magischen Linse bzw. des Bildfilters wird durch die Entfernung zum Sekundärdisplay bestimmt.

Zum Übertragen von Daten zwischen Mobilgeräten und großen, vertikalen Displays eignet sich eine Flickgeste mit dem Daumen. Die Zielposition des Datentransfers wird lediglich durch die Orientierung des Mobilgerätes (Zeigegerät) im Raum bestimmt. Durch diese Art der lockeren Interaktion [PMS13], können sich die Nutzer voll und ganz auf das Zieldisplay konzentrieren ohne dabei den Blick von diesem abwenden zu müssen.

Um Objekte auf das entfernte Display zu übertragen, richten Nutzer von *Code Space* [Bra11] beispielsweise das Mobilgerät auf die gewünschte Position auf dem entfernten Display und führen mit dem Daumen eine Flickgeste nach oben aus. *Code Space* von Bragdon et al. [Bra11] wurde zur Unterstützung von Entwickler-Meetings konzipiert. Es können unterschiedliche Gerätegesten in Kombination mit Toucheingaben und -gesten verwendet werden, um Daten auf einem öffentlichen Display zu manipulieren oder private Daten offenzulegen. Elemente auf dem entfernten Display können verschoben werden, indem das Mobilgerät auf diese gerichtet wird und ein Finger auf dem Multitouch-Display des Mobilgerätes gehalten wird. Die Bewegung des Mobilgerätes im Raum führt zur Bewegung des anvisierten Objektes. *Code Space* ermöglicht es weiterhin mit dem Mobilgerät

Markierungen, Lassos oder Unterstreichungen auf dem entfernten Display zu zeichnen. Zudem können Nutzer relevante Objekte vom entfernten Display auf ihr persönliches Mobilgerät übertragen, indem sie das Mobilgerät auf ein Objekt des entfernten Displays richten und mit dem Daumen eine Flickgeste nach unten durchführen. Daraufhin können die Nutzer das Objekt durch eine Pinchgeste skalieren und durch eine 1-Finger-Touch-Geste neu positionieren. Des Weiteren erscheint ein Kontextmenü des jeweiligen Objektes auf dem Display des Mobilgerätes für zusätzliche Objektoperationen (Editieren, Speichern, Löschen, etc.). Hierzu ist es nicht mehr notwendig, das Mobilgerät auf das entfernte Display zu richten. Nutzer können zudem kurzzeitig Objekte von ihrem Mobilgerät auf dem entfernten Display darstellen, indem sie das Mobilgerät wie ein Blatt Papier im rechten Winkel zum Boden halten (vgl. *Tangible Views* [STSD10]). Somit wird das Objekt kurzzeitig für alle Nutzer auf dem entfernten Display sichtbar, um beispielsweise den Inhalt in der Gruppe zu diskutieren. *CodeSpace* ermöglicht auch die Übertragung von Daten zwischen Mobilgeräten. Zu diesem Zweck muss mit einer Hand auf den Zielnutzer gezeigt werden, während die andere Hand eine Flickgeste auf dem Mobilgerät ausführt.

Auch *FlickTransfer* von Langner et al. [LZH⁺16] verwendet eine 1-Finger-Flickgeste, um Daten zwischen einem Mobilgerät und einer hochauflösenden Displaywand zu übertragen. Die Autoren haben Datenübertragungstechniken für einzelne und mehrere Objekte entwickelt, welche Konzepte der physischen Navigation [BNB07] und lockeren Interaktion [PMS13] verbinden. Dabei werden Touch-Gesten und die Position sowie Orientierung des Mobilgerätes im Raum verwendet, um einzelne oder mehrere Objekte auf eine Displaywand zu übertragen, dort zu positionieren und aneinander auszurichten. Die Interaktionstechniken wurden durch eine qualitative Nutzerstudie im Laborumfeld evaluiert. Auf dieser Basis haben die Autoren einen Entwurfsraum für das Teilen von Inhalten zwischen Mobilgeräten und großen Displays erstellt. Folgende Dimensionen seien demnach zu beachten:

- *Distanz zum großen Display* (nah bis entfernt)
- *Lockere Interaktion* (locker vs. fokussiert)
- *Gestenkomplexität* (gering bis hoch)
- *Funktion räumlicher Position* (irrelevant, diskret oder kontinuierlich)
- *Objektausrichtung auf dem großen Display* (beliebig/vordefiniert, einzelne Position oder Anordnung)
- *Übertragungsmenge* (Einzel/Menge, mehrere oder Reihenfolge)

Langner et al. [LZH⁺16] haben unter anderem herausgefunden, dass der Wechsel von Modi durch unterschiedliche Touch-Gesten anstelle von Orientierungsänderungen eine brauchbare Lösung darstellt. Des Weiteren führe die Minimierung der Blickwechsel zwischen Mobilgerät und Displaywand zu einer verbesserten Usability. Die Autoren gehen

davon aus, dass hierfür die Konzentration auf Gesteneingabe auf dem Mobilgerät und visuelles Feedback auf der Displaywand entscheidend sei.

Ähnlich der vorgestellten Interaktionstechniken von Bragdon et al. [Bra11] oder Langer et al. [LZH⁺16] ist auch mit dem *PointerPhone* von Seifert et al. [SBR13] eine 1-Finger-Flickgeste zum Datentransfer zwischen Mobilgeräten und einem entfernten Display möglich. Die Autoren unterscheiden *Rotations-*, *proximale* und *distale* Interaktionen mit Steuerelementen. Rotationsinteraktionen beruhen auf der Rotation des Mobilgerätes. *Proximale Interaktionen* werden durch Multitouch-Eingaben auf dem Mobilgerät getätigt, während *distale Interaktionen* auf direktem Zeigen mit dem Mobilgerät basieren. Proximale Kontextmenüs ermöglichen beispielsweise das Umbenennen von Dateien auf dem entfernten Display. Das Kontextmenü erscheint auf dem Mobilgerät, wenn das gewünschte Objekt auf dem entfernten Display durch direktes Zeigen ausgewählt wird. Nach Auswahl eines Objektes ist es nicht länger nötig das Mobilgerät auf dieses zu richten. Das Kontextmenü bleibt auf dem Mobilgerät bestehen. Des Weiteren können Nutzer Objekte auswählen und auf dem persönlichen Mobilgerät näher betrachten (z.B. Links, GPS-Koordinaten, Kontaktkarten) ohne dabei die Kollaboration der Gruppe zu stören.

Der Anteil der Visualisierung, welche von einem Nutzer vor einer großen Displaywand wahrgenommen werden kann, ist abhängig von seiner Distanz zum Display. Mit *Multiscale Interaction* kombinieren Peck et al. [PNB09] physische Navigation vor einer Displaywand mit Zeigegesten eines Mobilgerätes, um den Umfang der Wahrnehmung mit der Interaktion des Nutzers zu verknüpfen. Insbesondere spielt hierbei der Abstand des Nutzers zur Displaywand eine wichtige Rolle. Abhängig vom Abstand zur Displaywand sind dem Nutzer kleinere oder größere Bereiche der Darstellung sichtbar. Aus diesem Grund wird der Detailgrad der Selektion entsprechend angepasst. *Multiscale Selection* [PNB09] erlaubt die Manipulation von Informationen in unterschiedlichen Detailstufen. Die Skalierung des Selektionscursors kann entweder kontinuierlich oder hierarchisch erfolgen. Abhängig von der Nutzerdistanz zur Displaywand wird der Cursor entweder kontinuierlich oder in diskreten Schritten skaliert. Eine kontinuierliche Skalierung eignet sich am besten für kontinuierliche Datenstrukturen, denen keine hierarchische Gruppierung zugrunde liegt. Demzufolge wird der Cursor kleiner je mehr sich der Nutzer der Displaywand nähert. Eine Hierarchische Skalierung des Cursors hingegen ändert die Selektionsstufe basierend auf der hierarchischen Struktur, welche dem Datensatz zugrunde liegt (z.B. bei geografischen Informationsvisualisierungen: Stadt, Bundesland, Land).

Mobilgeräte können in Kombination mit großen, hochauflösenden Displaywänden zudem als Magische Linsen eingesetzt werden. Mit *Ubiquitous Graphics* haben Sanneblad und Holmquist [SH06] beispielsweise ein Interaktionskonzept entwickelt, um mit großen computergenerierten Grafiken zu interagieren. Die Grafik wird dabei von einem Projektor oder hochauflösenden Display dargestellt, währenddessen ein Tablet auf diese projizierten Grafik gerichtet wird, um ein vergrößertes Bild oder zusätzliche Informationen zu erhalten. Auch Sörös et al. [SSRG11] haben mit *Augmented Visualization* ein System vorgestellt, welches ein Mobilgerät als Magische Linse verwendet. Hierbei werden die natürlichen Features der Displaywand durch die integrierte Kamera des Mobilgerätes erfasst. Es wird eine Magische Linse verwendet, um die Ansicht auf dem Display des Mobilgerätes abhängig von der Position und Orientierung im Raum (sechs Freiheitsgrade)

anzupassen und somit zusätzlich bzw. versteckte Informationen über die Visualisierungen zu erhalten. Auf diese Weise können Smartphones oder Tabletcomputer als eine Art mobiles Röntgengerät eingesetzt werden, um beispielsweise verschiedenen Gewebeschichten oder das Skelett eines Menschen im Bereich des Volumenrenderings zu visualisieren.

Lockere und fokussierte Interaktion

Pohl und Murray-Smith [PMS13] unterscheiden *fokussierte* und *lockere* Interaktion, um dem Nutzer abhängig von der gegebenen Situation verschiedene Stufen der Interaktion zur Verfügung zu stellen. In Szenarien, in denen die volle Aufmerksamkeit auf Interaktionen sozial missbilligt, unsicher, physisch fordernd oder eine zu hohe mentale Belastung darstellt, bieten lockere Interaktionen eine brauchbare Alternative. Für einfache Aufgaben können lockere Gesten eingesetzt werden. Wohingegen kompliziertere Aufgaben präzisere und verbindlichere Interaktionstechniken erfordern [PMS13]. Bei fokussierten Interaktionen besteht eine hohe Kanalkapazität von der Ausgabe des Endgerätes zu den Sinnen des Nutzers. Der Informationsfluss vom Endgerät zum Nutzer findet im Fall von lockeren Interaktionen viel sporadischer und ungleichmäßiger statt. So wird die Ausgabe des Endgerätes nur gelegentlich vom Nutzer wahrgenommen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Bedeutung einer kontextabhängigen Bereitstellung von lockeren sowie fokussierten Interaktion zunehmen wird. Durch die Bereitstellung solcher lockeren Interaktionstechniken ist es dem Nutzer möglich selbst zu entscheiden, in welchem Maß er sich mit einem interaktiven System auseinandersetzen möchte.

Wurf- und Neigegesten des Mobilgerätes können beispielsweise für lockere Interaktionen genutzt werden. Sowohl Dachselt & Buchholz [DB09] machen Gebrauch von natürlichen, einhändigen und ausdrucksstarken Gerätegesten um schrittweise oder kontinuierliche Interaktionen zu ermöglichen. Die Autoren haben zur Steuerung von entfernten Displays *Neige-* und *Wurfgesten* für Mobilgeräte entwickelt. So können Nutzer das Mobilgerät beispielsweise zur Navigation von Menüs auf einem entfernten Display verwenden, indem sie das Mobilgerät nach oben oder unten neigen, um durch Listen zu scrollen oder es nach links und rechts neigen, um zwischen Tabs zu wechseln. Es ist dabei der Unterschied zwischen *diskreter* und *kontinuierlicher* Bewegung zu machen. Die Durchführung einer Wurfgeste in Nähe eines großen Displays ermöglicht es hingegen Daten, wie z.B. Fotos, vom Mobilgerät auf das Display zu übertragen, um diese dort betrachten zu können. Analog können Daten von einem großen Display auf das Mobilgerät übertragen werden, indem die Geste in umgekehrter Richtung ausgeführt wird. Die Wurftechnik *Chucking* von Hassan et al. [HRIG09] ermöglicht ebenfalls das Austauschen von Dokumenten zwischen privaten Mobilgeräten und öffentlichen Displays sowie eine zusätzliche Positionierung der Elemente auf dem Zieldisplay.

2.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Überblick über den Stand der Forschung im Bereich Magischer Linsen sowie der Interaktion mit entfernten Displays und Mobilgeräten gegeben. Die Betrachtung dieser verwandten Arbeiten soll als Grundlage für die Konzeption neuer

Interaktionstechniken zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen auf einer großen Displaywand (siehe Kapitel 3) dienen. Die zumeist runden Magischen Linsen werden typischerweise durch Maus und Tastatur gesteuert. Neben klassischer Maus- und Tastatursteuerung existieren aber auch einige Magische Linsen, welche durch moderne Interaktionsmodalitäten gesteuert werden können. Es existieren sowohl Interaktionskonzepte, welche Gebrauch von Multitouch-Displays als auch räumlicher Interaktion oder Gestensteuerung machen. Dieses Forschungsfeld ist dennoch nicht ausgeschöpft, insbesondere wenn es um die Steuerung Magischer Linsen auf einer großen, hochauflösenden Displaywand geht. Im zweiten Teil dieses Kapitels wurde auf generelle Interaktionstechniken zwischen mehreren Endgeräten eingegangen. Somit konnten Dimensionen bei der Geräteinteraktion ermittelt werden, welche für die nachfolgende Interaktionskonzeption von Bedeutung ist. Hierbei wurde unter anderem auf verwandte Arbeiten im Bereich der Mobilgeräteinteraktion, Proxemics und lockeren Interaktion eingegangen.

3 Bedienungskonzeption

Nachdem im vorherigen Kapitel eine theoretische Grundlage zur Funktion und Bedienung Magischer Linsen sowie zur Interaktion zwischen verschiedenen Geräten geschaffen wurde, sollen im Folgenden die in dieser Arbeit entwickelten Interaktionskonzepte zur Steuerung Magischer Linsen auf einer großen, hochauflösenden Displaywand vorgestellt werden. Als Mobilgerät wird hierzu ein Smartphone eingesetzt, welches locker mit einer Hand bedient werden kann. Zunächst sollen jedoch in Abschnitt 3.1 zwei Anwendungsszenarien vorgestellt werden, für welche der Einsatz Magischer Linsen auf einer hochauflösenden Displaywand geeignet ist. In den beiden nachfolgenden Abschnitten werden Aktionen zur Bedienung Magischer Linsen identifiziert und es wird ein Entwurfsraum für die Interaktionskonzeption vorgestellt. Auf dieser Basis werden die einzelnen Interaktionskonzepte in den darauf folgenden Abschnitten nacheinander beschrieben. Durch die getrennte Betrachtung der einzelnen Konzepte sollen verschiedene Alternativen präsentiert werden.

3.1 Anwendungsfälle

Die Konzeption der Interaktionstechniken zur Arbeit mit Magischen Linsen beruht auf Aufgaben, welche durch diese zu erfüllen sind. Im Folgenden werden zunächst zwei Anwendungsfälle für den Einsatz Magischer Linsen auf einer hochauflösenden Displaywand vorgestellt. Diese Anwendungsfälle beschreiben die Problemsituation in der Distributionslogistik eines Unternehmens sowie bei der Diskussion über die Energieversorgung Europas. Motiviert durch die zu lösenden Aufgaben beider Anwendungsfälle werden in den nachfolgenden Abschnitten die entwickelten Interaktionskonzepte vorgestellt.

3.1.1 Distributionsnetzwerk

Magische Linsen können zur Kontrolle von Geschäftsprozessen in allen Bereichen der Logistik (Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik) eingesetzt werden. Im ersten Anwendungsfall sollen Magische Linsen auf den Graphen der Distributionslogistik eines Unternehmens angewandt werden. Die Knoten im Graphen stellen dabei die verschiedenen Kunden, Lager (Zentral-, Regional- oder Auslieferungslager) und Zulieferer sowie Produktionsstätten dar. Diese Knoten besitzen verschiedene Attribute, zu denen unter anderem die Lagerkapazitäten, Produktmengen- bzw. -werte sowie durchschnittliche Lagerbestände für verschiedene Geschäftsjahre gehören. Die Knoten sind über Kanten miteinander verbunden, welche die Lieferwege darstellen, und ebenfalls über Attribute verfügen. Zu diesen Attributen gehören die Verkehrsträger, Distanz, Produktmengen bzw. -werte und Lieferdauer sowie -kosten. Magischer Linsen können für Zeitvorabgenvergleiche und zur Identifizierung von Schwachstellen sowie Stärken innerhalb der Distributionskette eingesetzt werden. Einzelne Mitarbeiter können diese Tätigkeiten alleine vor der Displaywand durchführen und entsprechende Magische Linsen auf ihrem Mobilgerät speichern. Alternativ ist es vorstellbar, dass Mitarbeiter die Graphanalyse mit Magischen Linsen an einem PC bzw. Tabletcomputer durchführen. Gespeicherte

Linsen können in Meetings vor der Displaywand wieder aufgerufen werden. In diesen Besprechungen vor der Displaywand kommen verschiedene Mitarbeiter der einzelnen Distributionsstufen (Fertigung, Lager und Kundenmanagement) zusammen, um Problemmursachen zu diskutieren bzw. erfolgreiche Geschäftsprozesse zu identifizieren, welche möglicherweise auf andere Bereiche des Logistiksystems zu übertragen sind. Ausgehend von diesem Anwendungsfall entstehen unter anderem folgende Aufgaben, welche es zu lösen gilt:

- **A 1.1:** Identifizierung der Lager mit nicht vollständig ausgenutzten Kapazitäten. Warum werden die Lagerkapazitäten nicht vollständig ausgenutzt? Liegt dies möglicherweise an zu hohen Lieferkosten bzw. -zeiten oder Produktionsengpässen in der Fertigung? Wie verhalten sich die Lagerkapazitäten im Vergleich zu den Vorjahren?
- **A 1.2:** Welche Produkte finden bei Kunden den größten bzw. geringsten Absatz? Bestehen Lagerengpässe bzw. Leerlager entlang der Produktionskette? Wie verhalten sich die Absatzmengen im Vergleich zu den Vorjahren?
- **A 1.3:** Bei Beschwerden von Kunden über lange Lieferzeiten bestimmter Produkte ist zu identifizieren, warum dies der Fall ist. Wie viele Stufen der Distribution durchlaufen Produkte bis zum Absatz beim Kunden? Gibt es Problemstellen entlang der Lieferkette, wenn ja welche?
- **A 1.4:** Identifizierung der Bedeutung einzelner Lager- bzw. Produktionsstätten. Welche Stellen der Distributionslogistik beliefern diese? Welche Produkte werden von diesen produziert bzw. beherbergt?

3.1.2 Energiekarte

Magische Linsen sind zur detaillierten Untersuchung einzelner Länder auf einer geografischen Karte geeignet, da sie eine Untersuchung lokaler Interessenbereiche ermöglichen. Im zweiten Anwendungsfall soll eine geografische Karte Europas mit Informationen über die Energieversorgung der einzelnen Länder verwendet werden. Für jedes Land auf der Karte sind Informationen über den kWh/Kopf-Verbrauch, die Energieimporte und Energieexporte sowie den Energie-Mix (Anteil an Atomenergie, Erneuerbarer Energie sowie Energie aus Kohle, Erdöl und Gas) mehrerer Jahre gespeichert. Zudem sind weitere Daten zum Bruttoinlandsprodukt und der Bevölkerungsanzahl erfasst. Eine derartige Kartenvisualisierung kann zur Studie der Energieentwicklung Europas verwendet werden. Aus diesem Szenario ergeben sich unter anderem folgende zu lösende Aufgaben:

- **A 2.1:** Wie hat sich der Gesamtenergiebedarf eines Landes im Verlauf der Zeit verändert?
- **A 2.2:** Wie hoch ist beispielsweise der Anteil an Erneuerbaren Energien am Gesamtenergiebedarf eines Landes. Wie hat sich dieser im Vergleich zu den Vorjahren entwickelt? Wie hoch ist der Anteil dieses Energieträgers im Vergleich mit anderen Ländern?

- **A 2.3:** Wie viel Energie wird von einem Land importiert bzw. exportiert? Welcher Energieträger ist für den Großteil der Importe bzw. Exporte verantwortlich? Aus welchen Quellen wird die Energie importiert?

3.2 Aktionen zur Bedienung Magischer Linsen

Um ein effektives und effizientes Interaktionskonzept zur Steuerung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät zu entwerfen, muss zunächst erörtert werden, welche Aktionen bei der Bedienung Magischer Linsen zu unterstützen sind. Zunächst soll jedoch der Begriff des *Linsenattributes* eingeführt werden. In dieser Arbeit bezeichnet ein Linsenattribut jede konfigurierbare Eigenschaft einer Magischen Linse. Dazu gehören unter anderem die *Linsenoptionen*, mit welchen eine Linse gesperrt oder deren Linsenfunktion deaktiviert werden kann. Die Menge aller Linsenattribute ist demzufolge die Menge bestehend aus den Linsenfunktionen, aller Linsenfunktionsparameter, geometrischer Eigenschaften einer Linse und Linsenoptionen. Ausgehend von den Anwendungsfällen des vorherigen Abschnitts lassen sich folgende Aktionen identifizieren:

Elementare Aktionen zur Bedienung Magischer Linsen:

- Erstellen einer Magischen Linse
- Entfernen einer Magischen Linse
- (De-)Selektieren einer Magischen Linse
- Speichern einer Magischen Linse (mit allen Eigenschaften und Parametern)
- Duplizieren einer Magischen Linse
- Manipulation geometrischer Eigenschaften einer Magischen Linse
 - Linsenposition ändern
 - Linsengröße ändern
 - Linsenform ändern
 - Linsenorientierung ändern
- Verbinden einer Magischen Linse mit einer Linsenfunktion (Linsenfunktionsauswahl)
- Parametrisierung einer Magischen Linse
 - Numerischer Parameter einer Linsenfunktion einstellen
 - Kategorischer Parameter einer Linsenfunktion einstellen
- Einstellung von Linsenoptionen:
 - (Ent-)Sperrungen einer Magischen Linse

- (De-)Aktivieren der Linsenfunktion

Aus diesen elementaren Aktionen lassen sich durch Kombination komplexere Aktionen erstellen, welche der Erfüllung mehrerer Aufgaben gleichzeitig dienen.

3.3 Entwurfsraum für Mobilgeräteinteraktionen mit großen, vertikalen Displays

Motiviert durch die proxemischen Maßeinheiten von Greenberg et al. [GMB⁺11] (siehe Abschnitt 2.2.1) und die Attributklassifizierung bei der Interaktion zwischen Mobilgeräten und Tabletops von Schmidt et al. [SSRG12] (siehe Abschnitt 2.2.2) soll im Folgenden eine Klassifizierung der Eingabe- und Ausgabeattribute bei der Interaktion von Mobilgeräten mit einer hochauflösenden Displaywand definiert werden. Die Interaktionsattribute werden wie folgt in *Eingabeattribute* und *Ausgabeattribute* unterteilt:

- **Eingabeattribute:**

- *Identifier*: Die ID dient der Unterscheidung verschiedener Mobilgeräte.
- *Cursorposition*: Die Position des Cursors auf der Displaywand kann verwendet werden, um zu definieren, wo eine Interaktion stattfinden soll.
- *Mobilgeräteposition*: Die Position des Mobilgerätes im Raum vor der Displaywand kann verwendet werden, um Interaktionen zu parametrisieren. Durch die Position des Mobilgerätes können diskrete und kontinuierliche Eingaben getätigt werden.
- *Mobilgeräteorientierung*: Die Orientierung des Mobilgerätes im Raum vor der Displaywand kann verwendet werden, um Interaktionen zu parametrisieren. Durch die Orientierung des Mobilgerätes können diskrete und kontinuierliche Eingaben getätigt werden.
- *Displaywandkontext*: In welchem Kontext auf der Displaywand werden Mobilgeräteinteraktionen getätigt? Identische Interaktionen können in unterschiedlichen Kontexten (z.B. Selektion einer Linse) zu unterschiedlichen Aktionen führen.
- *Mobilgerätekontext*: In welchem Kontext auf dem Mobilgerät werden Mobilgeräteinteraktionen getätigt? Identische Interaktionen können in unterschiedlichen Kontexten (z.B. Selektion eines Parameters) zu unterschiedlichen Aktionen führen.

- **Ausgabeattribute:**

- *Auditives* Feedback
- *Visuelles* Feedback
- *Haptisches* Feedback

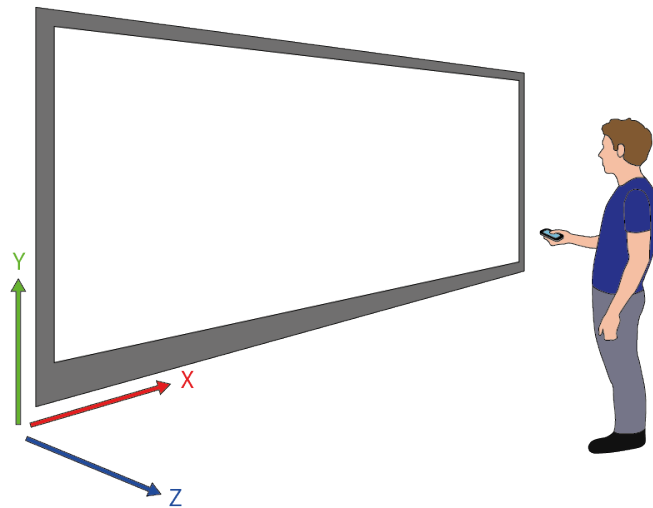


Abbildung 9: Das Koordinatensystem im Raum vor der Displaywand

Dies Eingabe- und Ausgabeattribute ermöglichen den Entwurf vielfältiger Interaktionskonzepte für die Mobilgeräteinteraktion mit großen, hochauflösenden Displays.

Neben Interaktionsattributen ist zudem eine Beschreibung der möglichen Interaktionsformen nützlich für die Bedienungskonzeption zur Steuerung Magischer Linsen auf einer Displaywand durch ein Mobilgerät. Aus diesem Grund soll im Folgenden ein Interaktionsvokabular vorgestellt werden, welches der Unterscheidung potentieller Interaktionsformen dient. Es ist in ein *physisches Interaktionsvokabular* und ein *Touch-Interaktionsvokabular* unterteilt. Das Physische Interaktionsvokabular ist auf Basis der von Preim und Dachselst vorgestellten Geräteinteraktionen [PD15] (siehe Abschnitt 2.2.1) und dem Interaktionsvokabular der Tangible Views von Spindler et al. [STSD10] (siehe Abschnitt 2.2.2) entstanden. Dabei wurden die Interaktionen der Tangible Views auf die Bedienung eines vertikalen Displays angepasst, bei welchem die z-Achse parallel zum Boden verläuft (siehe Abb. 9). Die Interaktionen dieses Teils des Interaktionsvokabulars sind durch die Bewegung des Mobilgerätes im Raum vor der Displaywand gekennzeichnet.

Physisches Interaktionsvokabular:

- *Translation* ist die Änderung der 3D-Position des Mobilgerätes im Raum (3 Freiheitsgrade). Die Bewegung kann auf eine oder zwei Achsen beschränkt werden:
 - *Vertikale Translation*: Das Mobilgerät wird lediglich entlang der y-Achse bewegt.
 - *Horizontale Translation*: Das Mobilgerät wird lediglich in der x-z-Ebene bewegt.
- *Rotation* ist die Veränderung der lokalen Orientierung des Mobilgerätes bzw. der Roll-Nick-Gier-Winkel (3 Freiheitsgrade). Auch die Rotation kann auf eine Achse beschränkt werden:

- *Vertikale Rotation*: Das Mobilgerät wird lediglich um die x- oder z-Achse rotiert.
- *Horizontale Rotation*: Das Mobilgerät wird lediglich um die y-Achse rotiert.
- *Einfrieren*: Um das Mobilgerät bewegen zu können ohne eine Interaktion auszulösen, wird die Bewegung auf allen Achsen ignoriert. Es kann zudem lediglich die Bewegung auf einer oder zwei Achsen ignoriert werden:
 - *Vertikales Einfrieren*: Es wird lediglich die Bewegung auf der y-Achse ignoriert.
 - *Horizontales Einfrieren*: Es wird nur die Bewegung auf der y-Achse betrachtet.
- *Gerätebezogene Gesten* sind komplexere Gesten, welche die sechs Freiheitsgrade ausnutzen (Rotation und Translation):
 - *Entferntes Zeigen*
 - *Schütteln*
 - *Werfen*
 - *Umdrehen*
 - *Schwenken*
 - *freie Zeicheneingabe*

Touch-Eingaben auf dem Mobilgerät gehören zum zweiten Teil des Interaktionsvokabulars. Auf Basis der Gestischen Multitouch-Eingabe von Preim und Dachselt [PD15] werden die nachfolgenden Interaktionen dem Touch-Interaktionsvokabular zugeordnet. Dabei wird auf Multi-Touchgesten verzichtet, da die Steuerung Magischer Linsen locker und einhändig mit dem Daumen der dominanten Hand erfolgen soll. Aus diesem Grund werden beispielsweise keine Pinchgesten eingesetzt, welche sich für die Größenveränderung Magischer Linsen eignen würden.

Touch-Interaktionsvokabular:

- Tap
- Hold
- Double Tap
- Drag
 - Vertikaler Drag (nach oben oder unten)
 - Horizontaler Drag (nach links oder rechts)
- Flick

- Vertikaler Flick (nach oben oder unten)
- Horizontaler Flick (nach links oder rechts)

Das vorgestellte Interaktionsvokabular bietet elementare Formen der Interaktion, welche für die Mobilgeräteinteraktion mit einer hochauflösenden Displaywand verwendet werden können. Des Weiteren ermöglicht eine Kombination der elementaren Interaktionsformen komplexere Eingabemethoden. Auf Hardware-Button wurde bei der Erstellung des Interaktionsvokabulars verzichtet, da die Betätigung dieser zu ungewolltem Verwackeln des Mobilgerätes und somit des Cursors führen kann [MBN⁺02]. Des Weiteren ist für die Bedienung der Hardware-Button möglicherweise ein Umgreifen nötig. Das beschränkte Touch-Interaktionsvokabular ermöglicht eine lockere Interaktion, bei welcher lediglich der Daumen des Nutzers zur Steuerung der Magischen Linsen eingesetzt werden muss.

Ausgehend von den Aktionen zur Bedienung Magischer Linsen (siehe Abschnitt 3.2) und der Definition des Entwurfsraums für Mobilgeräteinteraktion mit großen, vertikalen Displays (siehe Abschnitt 3.3) werden in den nachfolgenden Abschnitten die Interaktionskonzepte zur Bedienung Magischer Linsen vorgestellt. Zunächst soll in diesem Abschnitt jedoch auf die Grafische Benutzerschnittstelle des Mobilgerätes eingegangen werden, welche eine Grundlage für die nachfolgende Bedienungskonzeption bildet.

Zur Steuerung Magischer Linsen auf einer hochauflösenden Displaywand durch ein Mobilgerät ist eine entsprechende Grafische Benutzerschnittstelle auf diesem nötig. Im Folgenden sollen zwei alternative Bildschirmaufteilungen des Mobilgerätes vorgestellt werden: das *WidgetScreenLayout* und das *MinimalScreenLayout*. Beide Bildschirmaufteilungen verfügen über einen dedizierten Touch-Interaktionsbereich, welcher eine lockere Steuerung Magischer Linsen ermöglichen soll. Dieser Bereich dient der Erkennung von Touch-Gesten und besitzt keine weiteren Steuerelemente. Der Touch-Interaktionsbereich nimmt in beiden Bildschirmaufteilungen den größten Teil der verfügbaren Anzeigefläche ein, um eine lockere Interaktion mit Magischen Linsen zu ermöglichen. So können Nutzer Touchgesten ausführen ohne ihren Blick auf das Mobilgerät richten zu müssen, um den Touch-Interaktionsbereich zu finden.

3.4 Bildschirmaufteilung des Mobilgerätes

3.4.1 WidgetScreenLayout

Das WidgetScreenLayout ist die komplexere Variante der beiden Bildschirmaufteilungen. Wie in Abb. 10 zu sehen ist, besteht der obere Bereich des WidgetScreenLayout aus je einem Steuerelement zum Zugriff auf die gespeicherten Linsen, zur Einstellung der globalen Linse sowie der lokalen Linse. Darunter befindet sich das Kontextmenü und der Touch-Interaktionsbereich der aktiven Magischen Linse. Ein Tap auf das Steuerelement zum Zugriff auf die gespeicherten Linsen ruft eine Liste mit den auf dem Mobilgerät gespeicherten Magischen Linsen auf. Die Steuerelemente zur Einstellung der globalen bzw. der lokalen Linse dienen dem Wechsel zwischen globaler und lokaler Linse. Je nachdem ob die globale Linse oder die lokale Linse aktiviert ist, dient das Kontextmenü der Steuerung der entsprechenden Linse. Am rechten Rand des Kontextmenüs befinden

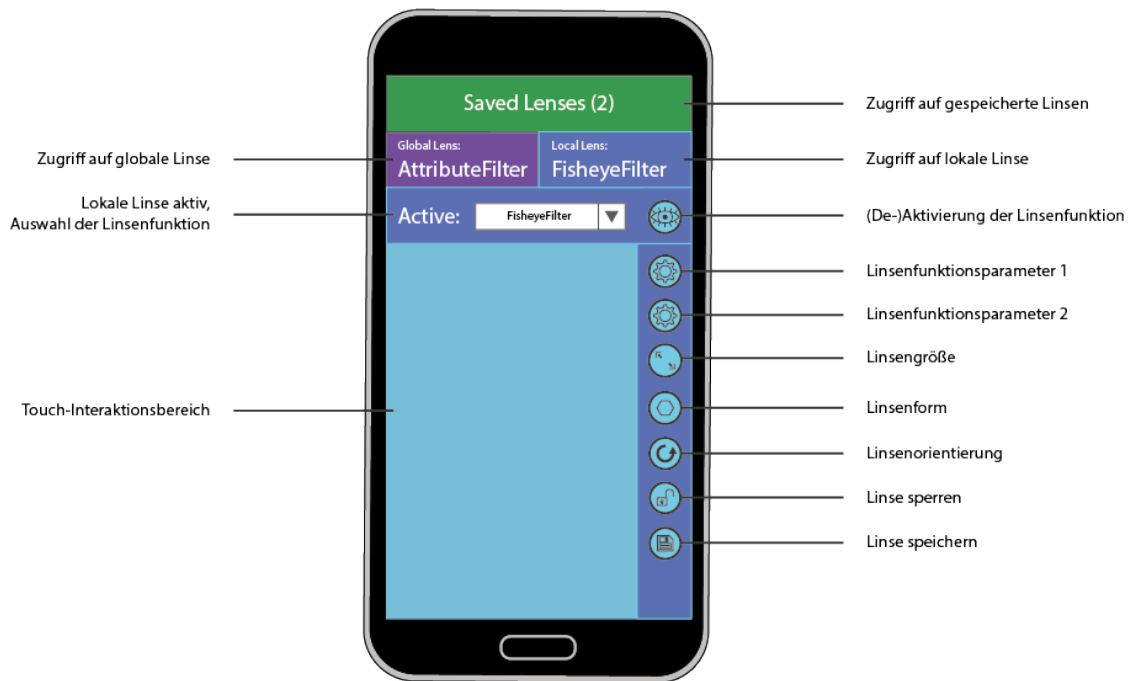


Abbildung 10: Die Anzeige des Mobilgerätes bei Verwendung des WidgetScreenLayouts besteht aus einer Vielzahl an Steuerelementen.

sich mehrere Buttons zur Einstellung von Attributen der aktiven Magischen Linse. Für eine linkshändige Bedienung sind diese Steuerelemente entsprechend am linken Rand des Kontextmenüs anzuordnen. Touchgesten auf dem Touch-Interaktionsbereich werden auf die aktive Magische Linse angewandt.

3.4.2 MinimalScreenLayout

Das MinimalScreenLayout besteht fast hauptsächlich aus einem großen Touch-Interaktionsbereich. Die Größe dieses Bereiches soll einer vereinfachten Durchführung von Touchgesten dienen. Wie in Abb. 11 zu sehen ist, wird im oberen Anzeigebereich des Mobilgerätes lediglich ein zusätzlicher Button zum Zugriff auf bereits gespeicherte Linsen zur Verfügung gestellt.

3.5 Grundlegende Steuerung Magischer Linsen

Für eine intuitive Steuerung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät ist ein Cursor auf der Displaywand nötig. Das Mobilgerät dient in diesem Fall als Zeigergerät. Es liegt locker in der Handfläche der dominanten Hand und wird größtenteils mit Touch-Gesten des Dauemens bedient. Durch Bewegung des Mobilgerätes im Raum (Rotation und Translation) wird ein kreisförmiger Cursor auf der Displaywand gesteuert. Dieser Cursor ist essentiell, um die Position von Linsen zu spezifizieren und bestehende Linsen zu selektieren. Im Folgenden sollen Interaktionskonzepte zur grundlegenden Steuerung magischer Linsen

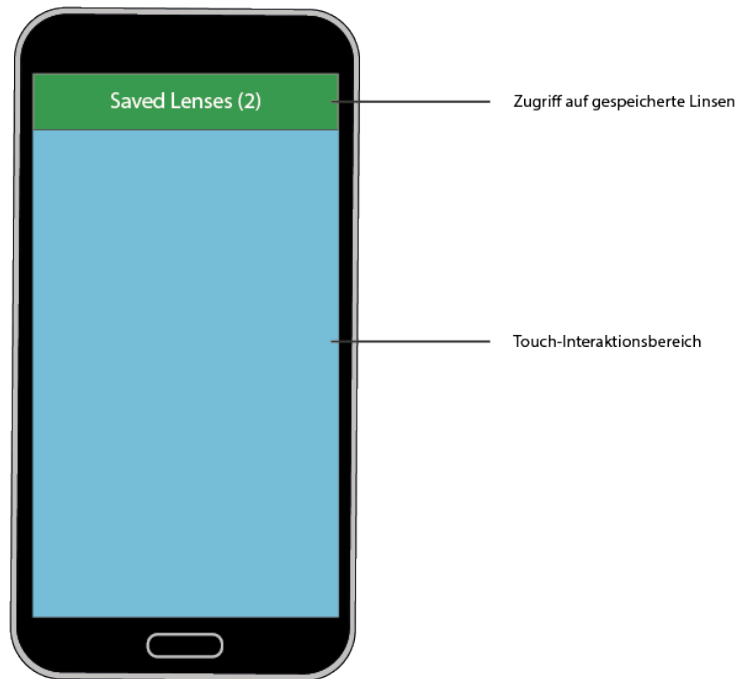


Abbildung 11: Die Anzeige des Mobilgerätes bei Verwendung des MinimalScreenLayouts besteht lediglich aus zwei Komponenten.

vorgestellt werden. Jedes der Konzepte besitzt einen Namen, durch welchen sich auf das Konzept in den nachfolgenden Abschnitten bezogen werden kann.

3.5.1 Linsenerstellung

Hold2Create: Zur Erstellung einer neuen Magischen Linse führen Nutzer eine Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes aus. Daraufhin entsteht an der Cursorposition auf der Displaywand eine neue kreisförmige Magische Linse. Das Erstellen der Linse wird dem Nutzer zusätzlich durch kurze Vibration des Mobilgerätes verdeutlicht. Die Größe der Linse ist abhängig von der Distanz des Nutzers zur Displaywand. Je näher sich der Nutzer an der Displaywand befindet, desto kleiner ist der Radius der Magischen Linse. Solange der Nutzer die Holdgeste auf dem Mobilgerät nicht unterbricht, kann dieser die Position der Linse durch Bewegen des Mobilgerätes und den Radius der Linse durch eine Translation in Richtung der z-Achse (Abstand zur Displaywand) variieren (siehe Abb. 12). Sobald die Holdgeste unterbrochen wird, indem der Nutzer den Finger vom Touch-Interaktionsbereich nimmt, ist die Erstellung der Magischen Linse abgeschlossen. Eine neu erstellte Magische Linse besitzt noch keine Linsenfunktion, eine vorher spezifizierte Linsenfunktion oder eine Standardlinsenfunktion.

Flick2Create: Alternativ kann eine kreisförmige Magische Linse durch eine Flickgeste nach oben auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes erstellt werden. Das Erstellen der Linse zusätzlich durch eine kurze Vibration des Mobilgerätes verdeutlicht.

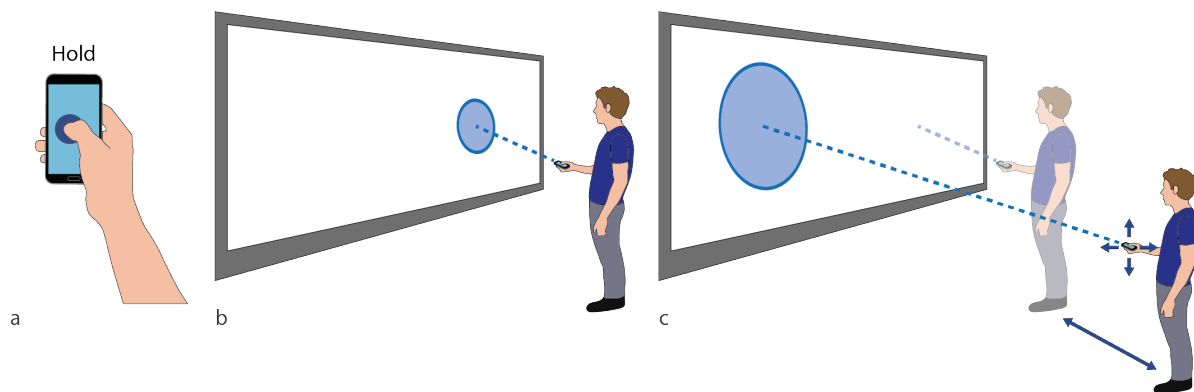


Abbildung 12: Erstellung und Translation von Linsen: (a) Befindet sich der Cursor über einer Linse wird diese durch einen Hold selektiert, (b) andernfalls wird eine neue Linse erstellt. (c) Translation und Skalierung der Linse durch Orientierung des Mobilgerätes und Veränderung der Distanz zur Displaywand.

Analog zu Hold2Create wird der Abstand des Mobilgerätes bzw. des Nutzers zur Displaywand verwendet, um die Größe der neu erstellten Magischen Linse zu bestimmen (siehe Abb. 13). Jedoch ist in diesem Fall die Linsengröße nach Ausführung der Flickgeste nicht länger einstellbar. Für eine nachträgliche Größenänderung der Magischen Linse ist eine weitere Interaktion nötig. Aus diesem Grund wird vor der Erstellung der Linse ein dünner Kreis um den Cursor herum dargestellt. Der Radius des Kreises stellt die Größe einer neu erstellten Magischen Linse nach der Erstellung in Abhängigkeit von der Distanz zur Displaywand dar. Analog zu Hold2Create kann eine Magische Linse in drei Varianten erstellt werden: ohne Linsenfunktion, mit einer vorher spezifizierten Linsenfunktion oder mit einer Standardlinsenfunktion.

3.5.2 Linsenselektion

Tap2Select: Der Cursor des Mobilgerätes wird angezeigt, wenn dieser über die Displaywand bewegt wird. Wird der Cursor jedoch über eine Magische Linse auf der Displaywand bewegt, so verschwindet der Cursor und die Magische Linse wird durch eine leichte Schattierung hervorgehoben. Dieses visuelle Feedback soll verdeutlichen, dass der Nutzer mit der Magischen Linse interagieren kann. Um eine Magische Linse als aktiv zu markieren, muss der Cursor lediglich über die entsprechende Linse bewegt werden und ein Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes erfolgen. Ist eine Magische Linse aktiv für ein gegebenes Mobilgerät, bedeutet dies, dass sie durch dieses Mobilgerät operiert wird. Ein Tap ähnelt einem klassischen Mausklick zur Selektion von Objekten in WIMP-Benutzerschnittstellen und ist daher sehr gut zur Linsenselektion geeignet. Es können nur Linsen als aktiv markiert werden, welche nicht gesperrt sind und nicht von anderen Mobilgeräten bzw. Nutzern operiert werden. Wird ein Tap nicht über einer bestehenden Linse, sondern über einem freien Bereich auf der Displaywand durchgeführt, wird die aktive Linse deselektiert. Daraufhin besitzt das Mobilgerät keine

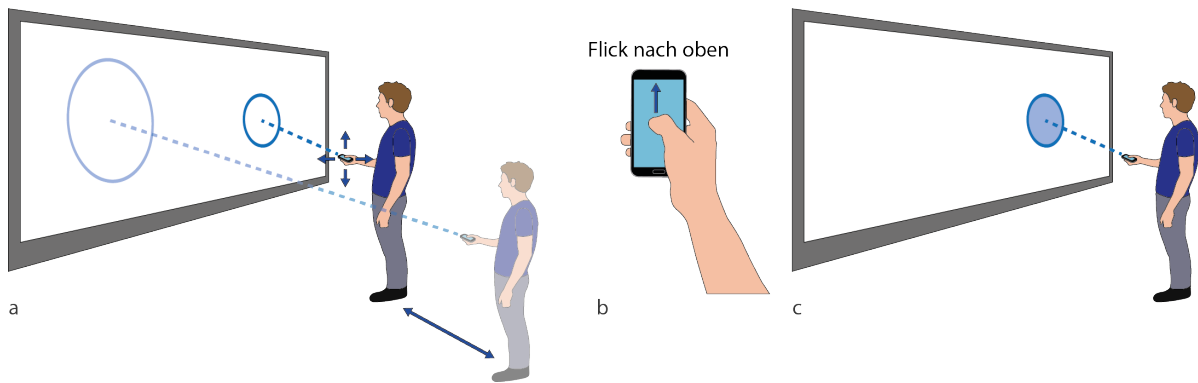


Abbildung 13: Flick2Create: (a) Der Umriss der neuen Linse wird auf der Displaywand dargestellt. Durch Orientierung und Veränderung der Distanz zur Displaywand kann dieser positioniert sowie skaliert werden. (b) Eine Flickgeste nach oben erzeugt die neue Linse, (c) welche auf der Displaywand dargestellt wird.

aktive Magische Linse.

3.5.3 Linsentranslation

Hold2Move: Um die Position einer Magischen Linse zu verändern, muss der Cursor als erstes über die entsprechende Magische Linse bewegt werden. Analog zu Tap2Select verschwindet der Cursor so bald er sich über einer Linse befindet. Die Magische Linse wird durch eine leichte Schattierung hervorgehoben, um zu signalisieren, dass mit dieser interagiert werden kann. Befindet sich der Cursor über einer Magischen Linse, kann diese durch eine Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes „aufgehoben“ und verschoben werden. Vibration des Mobilgerätes verdeutlicht, dass die Linse angehoben wurde. Solange die Holdgeste nicht unterbrochen wurde, kann der Nutzer die Linse durch Bewegung des Mobilgerätes neu positionieren und deren Größe durch Variation des Abstandes zur Displaywand einstellen (siehe Abb. 12). Mit Beendigung der Holdgeste wird die Linse an der neuen Position „abgelegt“. Diese Form der Interaktion ähnelt dem Verschieben von Objekten in klassischen WIMP-Benutzerschnittstellen durch das Halten der Maustaste. Des Weiteren stellt Hold2Move eine Form der direkten Manipulation [Shn83] dar, indem Linsen „angefasst“ und verschoben werden können. Es können nur Linsen bewegt werden, welche nicht gesperrt sind und nicht von anderen Mobilgeräten bzw. Nutzern operiert werden.

3.5.4 Linsenentfernung

MoveOut2Remove: Um Magische Linsen von der Displaywand zu entfernen wird im Folgenden die Linsentranslation eingesetzt. Zur Entfernung einer bestehenden Magischen Linse muss diese lediglich durch die Holdgeste von Hold2Move „aufgehoben“ werden. Solange die Holdgeste nicht unterbrochen wurde, können Nutzer die Linse wie üblich

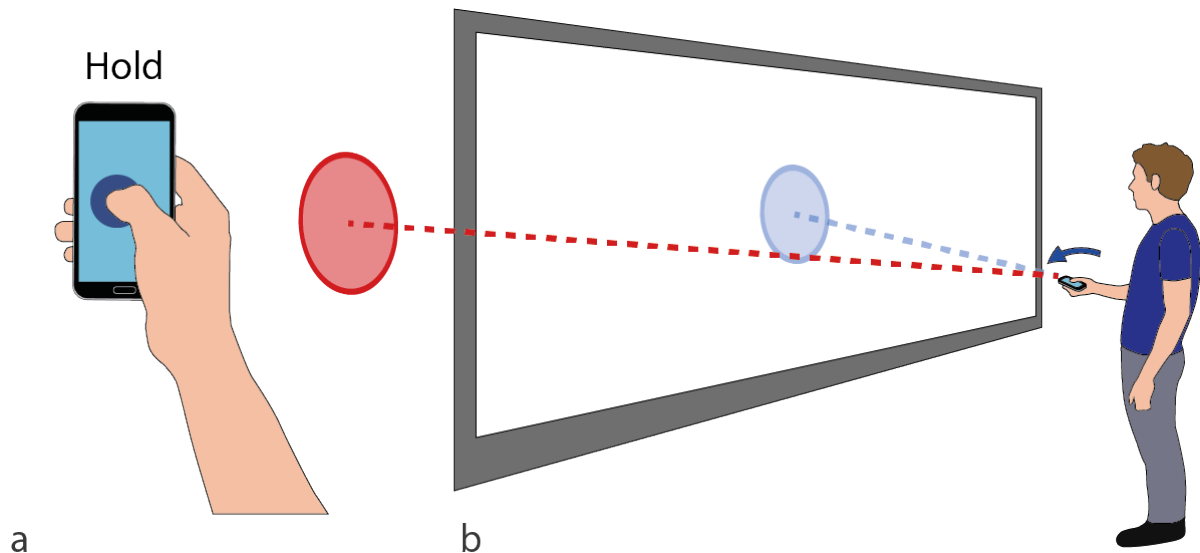


Abbildung 14: MoveOut2Remove: (a) Aufheben der gewünschten Linse mittels Hold. (b) Um die Linse zu entfernen, muss diese lediglich aus dem Anzeigebereich der Displaywand geschoben werden.

verschieben. Um Linsen jedoch zu entfernen, müssen diese aus dem Anzeigebereich der Displaywand bewegt werden. Durch Beenden der Holdgeste im Bereich außerhalb der Displaywand wird diese aus der Anzeige entfernt und gelöscht (siehe Abb. 14). Das Entfernen einer Magischen Linse wird zusätzlich durch Vibration des Mobilgerätes verdeutlicht. Analog zu Hold2Move können entsprechend nur Linsen entfernt werden, welche nicht gesperrt sind und nicht von anderen Mobilgeräten bzw. Nutzern operiert werden.

Flick2Remove: Alternativ zur Linsenentfernung durch Translation können Linsen durch eine Flickgeste nach unten auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes entfernt werden. Für diese Form der Interaktion muss die zu entfernende Linse aktive für das Mobilgerät des Nutzers sein. Dies bedarf unter Umständen eines weiteren Interaktionsschrittes zur Linsenselektion mittels Tap2Select. Nachdem die gewünschte Linse selektiert wurde, wird eine Flickgeste nach unten auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes durchgeführt. Dies entfernt die Magische Linse von der Displaywand und wird durch eine Vibration des Mobilgerätes unterstrichen. Die Flickgeste nach unten stellt einen Gegensatz zur Linsenerstellung mittels Flick2Create dar. Es können nur Linsen entfernt werden, welche nicht gesperrt sind und nicht von anderen Mobilgeräten bzw. Nutzern operiert werden.

3.5.5 Linsenduplizierung

DoubleTap2Duplicate: Um eine bestehende Linse zu duplizieren muss der Cursor über der Linse positioniert werden. Analog zu Tap2Select und Hold2Move verschwindet der Cursor so bald er sich über einer Linse befindet. Die Magische Linse wird durch

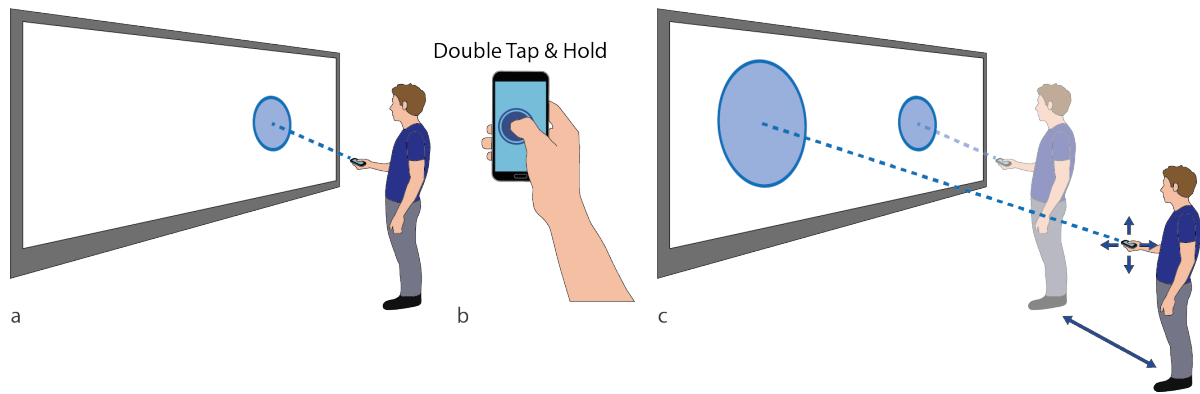


Abbildung 15: DoubleTap&Hold2Duplicate: (a) Der Cursor muss sich über einer Linse befinden. (b) Mit Double Tap & Hold wird die Linse dupliziert und (c) kann auf der Displaywand analog zu Hold2Create und Hold2Move platziert sowie skaliert werden.

eine leichte Schattierung hervorgehoben, um zu signalisieren, dass mit dieser interagiert werden kann. Ein Double Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes löst die Linsenduplizierung aus, welche durch eine Vibration des Mobilgerätes unterstrichen wird. Daraufhin wird eine Kopie der Linse samt aller Einstellungen neben der Ursprungslinse erstellt. Die Positionierung der Linse sollte algorithmisch so gewählt werden, dass die Linse nach Möglichkeit keine andere Linse oder den Rand der Displaywand überlappt. Die duplizierte Linse ist automatisch die aktive Linse des Mobilgerätes. Es können nur Linsen dupliziert werden, welche nicht gesperrt sind und nicht von anderen Mobilgeräten bzw. Nutzern operiert werden.

DoubleTap&Hold2Duplicate: Die folgende Interaktion stellt eine Erweiterung von DoubleTap2Duplicate dar. Um die duplizierte Linse im Anschluss direkt positionieren zu können, müssen Nutzer statt eines Double Taps einen Double Tap & Hold auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes ausführen. Die neue Linse entsteht dabei an der Cursorposition, also über der Ursprungslinse. Analog zu Hold2Move kann die duplizierte Linse auf der Displaywand bewegt werden, bis die Holdgeste beendet wird (siehe Abb. 15).

3.6 Linsenparametrisierung

Nachdem eine Magische Linse auf der Displaywand erstellt wurde, müssen in den meisten Anwendungsfällen verschiedene Linsenattribute eingestellt werden. In dieser Arbeit bezieht sich der Begriff der *Linsenparametrisierung* nicht ausschließlich auf die Parametrisierung der Linsenfunktionsparameter, sondern auch auf die Einstellung sonstiger Linsenattribute, wie der Linsenfunktion, Linseneigenschaften sowie Linsenoptionen. Jede Linsenparametrisierung besteht aus zwei Schritten: (1) *Auswahl eines Linsenattributes*, (2) *Einstellen des gewählten Linsenattributes*. Im Folgenden sollen verschiedene Konzepte zur Linsenparametrisierung vorgestellt werden, welche diese beiden Schritte in unter-

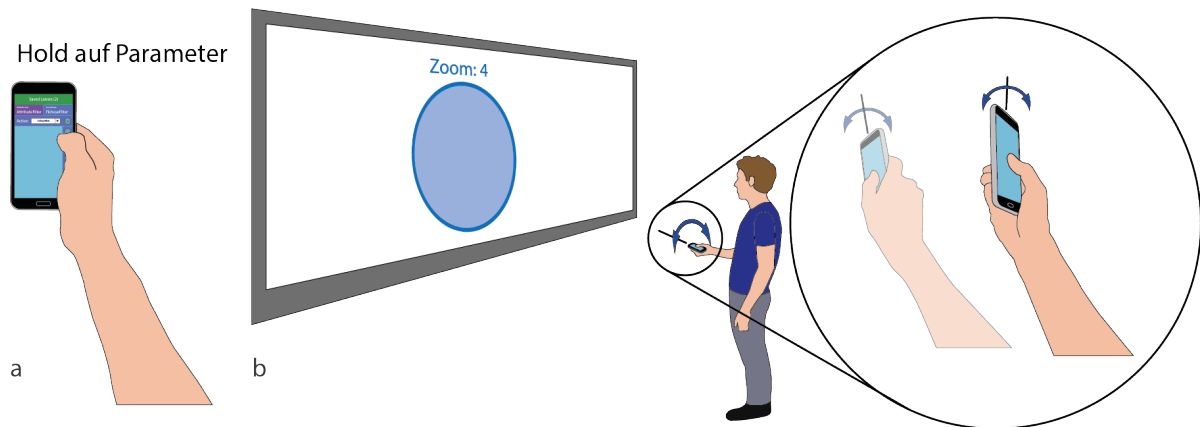


Abbildung 16: Tilt2Parametrize: (a) Zur Initiierung der Parametrisierung müssen Nutzer eine Holdgeste auf dem Button des entsprechenden Parameters durchführen. (b) Der Parameter wird durch Neigung des Mobilgerätes eingestellt.

schiedlichen Formen realisieren. Diese Konzepte nutzen verschiedene Dimensionen des vorgestellten Entwurfsraums (siehe Abschnitt 3.3) aus. Die Interaktionskomplexität der Konzepte variiert und reicht von fokussierten bis zu lockeren Interaktionen (vgl. Langner et al. [LZH⁺16]). Zur Linsenparametrisierung werden in den einzelnen Konzepten unterschiedliche Menüvariationen vorgestellt, welche von Linearmenüs zu Radialmenüs reichen und auf dem Mobilgerät oder der Displaywand dargestellt werden. Die in den nachfolgenden Abschnitten präsentierten Konzepte stellen jeweils den Kern eines Interaktionsablaufes dar.

3.6.1 Linsenparametrisierung durch Steuerelemente

Widgets4Parametrization stellt das erste Konzept zur Linsenparametrisierung dar und bietet eine Kombination von Buttons, Menüs und Slidern mit physischer Interaktion. Zur Parametrisierung Magischer Linsen wird hierzu das `WidgetScreenLayout` (siehe Abschnitt 3.4.1) eingesetzt. Ist eine Linse beispielsweise durch `Tap2Select` für das Mobilgerät als aktiv markiert wurden, kann diese durch die Steuerelemente des `WidgetScreenLayouts` parametrisiert werden. Auf dem `WidgetScreenLayout` wird die derzeit aktive Linse und ihre Linsenfunktion dargestellt. Über dem Touch-Interaktionsbereich befindet sich eine Combobox, über welche die Linsenfunktion der aktiven Linse gewählt werden kann (siehe Abb. 10). Am rechten Rand des `WidgetScreenLayouts` befinden sich Button für Linsenoptionen, Linseneigenschaften und die einzelnen Linsenfunktionsparameter. Für Linkshänder befinden sich diese Button entsprechend am linken Rand des Mobilgeräteschirms. Zur Änderung einer Linsenoption, d.h. das (Ent-)Sperren einer Linse oder die (De-)Aktivierung der Linsenfunktion, genügt ein Tap auf den entsprechenden Button. Zur Einstellung von Linseneigenschaften und Linsenfunktionsparametern stehen verschiedene Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung: (1) *ClassicParametrization*, (2) *Tilt2Parametrize*, (3) *Swing2Parametrize*.

- **ClassicParametrization:**

Durch einen Tap auf den Button des entsprechenden Linsenattributes wird der Name des Attributs sowie ein Slider bzw. eine Combobox für numerische bzw. kategoriale Attribute dargestellt. Zur Einstellung des Linsenattributes ist der gewünschte Attributswert über den Slider bzw. aus der Combobox zu wählen.

- **Tilt2Parametrize:**

Mit einem Hold auf den Button des entsprechenden Linsenattributes kann der Attributswert direkt durch Neigen bzw. eine vertikale Rotation des Mobilgerätes um die z-Achse eingestellt werden (siehe Abb. 16). Durch Neigung des Mobilgerätes nach links bzw. rechts werden numerische Linsenattribute kontinuierlich verringert bzw. erhöht. Kategoriale Linsenattribute können durch Neigung des Mobilgerätes diskret gewechselt werden. Eine Neigung des Mobilgerätes nach links bzw. rechts bis zu einem gewissen Schwellenwert wählt demzufolge den vorherigen bzw. nächsten Attributswert aus. Der Wechsel von kategorischen Attributen wird durch eine zusätzliche Vibration (Tick) des Mobilgerätes signalisiert. Durch Beenden der Holdgeste wird die Interaktion abgeschlossen.

- **Swing2Parametrize:**

Mit einem Hold auf den Button des entsprechenden Linsenattributes kann der Attributswert direkt durch Schwenken des Mobilgerätes eingestellt werden (siehe Abb. 17). Durch Schwenken des Mobilgerätes vor dem Nutzer nach links bzw. rechts werden numerische Linsenattribute kontinuierlich verringert bzw. erhöht. Der Wert kategorischer Linsenattribute wird auf die selbe Weise gewechselt, wobei mit dem Schwenk nach links bzw. rechts diskret durch die möglichen Attributswerte geschaltet wird. Beim Wechsel eines kategorischen Attributswertes vibriert das Mobilgerät kurzzeitig (Tick), um diesen Wechsel zu verdeutlichen.

Mit diesen Interaktionen können Linseneigenschaften, wie Größe, Orientierung und Form, sowie verschiedene Linsenfunktionsparameter konfiguriert werden. Bei allen Interaktionen gibt die Displaywand entsprechendes visuelles Feedback. Oberhalb der Linse wird das gewählte Linsenattribut sowie der geänderte Attributswert dargestellt (siehe Abb. 16 bzw. 17). Somit sehen Nutzer während der Parametrisierung durch Tilt2Parametrize oder Swing2Parametrize die Auswirkungen ihrer Interaktionen ohne ihren Blick auf das Mobilgerät richten zu müssen. Jedoch müssen Nutzer ihren Blick vorher auf das Mobilgerät richten, um die Interaktion mit einem Hold auf dem entsprechenden Button zu initiieren. Des Weiteren kann die Parametrisierung eines selektierten Linsenattributes durch vertikale Draggesten auf dem Touch-Interaktionsbereich durchgeführt werden (siehe VerticalDrag2Parametrize im nächsten Abschnitt). Durch die Verfügbarkeit redundanter Interaktionen können Nutzer jederzeit entscheiden, wie sie die Einstellung von Linsenfunktionsparametern vornehmen möchten. Insbesondere bei kategorischen Linsenfunktionsparametern mit sehr vielen Attributsausprägungen ist die Möglichkeit der Auswahl durch eine Combobox hilfreich. Durch die Verwendung von Buttons, Slidern sowie Comboboxen ist davon auszugehen, dass der Anteil der Nutzeraufmerksamkeit, welche auf das Mobilgerät gerichtet ist, relativ hoch sein wird.

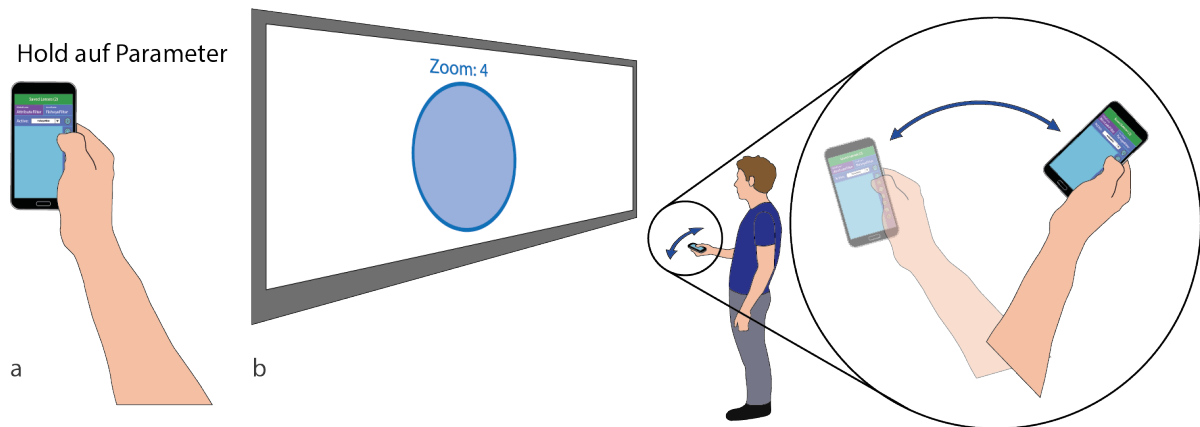


Abbildung 17: Swing2Parametrize: (a) Zur Initiierung der Parametrisierung müssen Nutzer eine Holdgeste auf dem Button des entsprechenden Parameters durchführen. (b) Der Parameter wird durch Schwenken des Mobilgerätes nach links bzw. rechts eingestellt.

3.6.2 Linsenparametrisierung durch Flick- und Draggesten

Um den Anteil der Aufmerksamkeit auf das Mobilgerät zur reduzieren soll im Folgenden eine alternative Möglichkeit der Linsenparametrisierung vorgestellt werden. Mit **Flick&Drag4Parametrization** werden horizontale sowie vertikale Flick- und Draggesten eingesetzt, um Linsenattribute auszuwählen und nachfolgend zu konfigurieren. Für dieses Interaktionskonzept wird auf die Verwendung von Steuerelementen verzichtet. Sämtliche Interaktionen werden mit dem Daumen auf dem Touch-Interaktionsbereich ausgeführt. Aus diesem Grund bietet sich das MinimalScreenLayout (siehe Abschnitt 3.4.2) auf dem Mobilgerät an, da dieses einen größeren Touch-Interaktionsbereich besitzt. Nachdem eine Linse auf der Displaywand für das Mobilgerät als aktiv markiert wurde, können Flick- und Draggesten zur Parametrisierung dieser verwendet werden. Wie bei Widgets4Parametrization wird das aktuell gewählte Linsenattribut jeweils über der Linsenform dargestellt (siehe Abb. 18). Horizontale Flickgesten nach links bzw. rechts dienen dem diskreten Wechsel der Linsenattribute. Alternativ können horizontale Draggesten eingesetzt werden, um diesen Wechsel mit einer einzelnen kontinuierlichen Touchgeste durchzuführen. Wurde ein Linsenattribut auf diese Weise gewählt, können nachfolgenden vertikale Flick- bzw. Draggesten eingesetzt werden, um den Wert des Linsenattributes zu konfigurieren (siehe Abb. 18).

- **VerticalDrag2Parametrize:**

Numerische Linsenattribute können durch vertikale Draggesten nach oben bzw. unten kontinuierlich erhöht bzw. verringert werden. Bei der Einstellung kategorischer Linsenattribute durch vertikale Draggesten vibriert das Mobilgerät zusätzlich bei jedem Wechsel des Attributwertes (Tick).

- **VerticalFlick2Parametrize:**

Numerische Linsenattribute können durch vertikale Flickgesten nach oben bzw.

unten diskret in vordefinierten Schritten erhöht bzw. verringert werden. Ebenso kann der Wert kategorischer Linsenattribute durch vertikale Flick- bzw. Draggesten eingestellt werden.

Für numerische sowie kategorische Linsenattribute sind demzufolge sowohl Drag- als auch Flickgesten zur Einstellung der Attributswerte gegeben. Jedoch eignen sich kontinuierliche Draggesten mehr für die Parametrisierung numerischer Linsenattribute und diskrete Flickgesten mehr für die Parametrisierung kategorischer Linsenattribute. Durch den Verzicht auf Steuerelemente wird der Anteil der Aufmerksamkeit auf das Mobilgerät deutlich reduziert. Jedoch ist davon auszugehen, dass der Auswahl eines Linsenattributes mehr Zeit in Anspruch nehmen wird, insbesondere wenn Linsenfunktionen mit einer hohen Anzahl an Parametern eingesetzt werden.

3.6.3 Linsenparametrisierung durch Radialmenüs

Die Auswahl eines Linsenattributes zur Parametrisierung ist bei `Widgets4Parametrization` (siehe Abschnitt 3.6.1) mit einem relativ geringen Zeitaufwand möglich, aber mit einem erhöhten Anteil der Aufmerksamkeit auf dem Mobilgerät verbunden. `Flick&Drag4Parametrization` (siehe Abschnitt 3.6.2) hingegen ermöglicht einen deutlich erhöhten Anteil der Aufmerksamkeit auf der Displaywand, ist jedoch mit einem höheren Zeitaufwand zur Auswahl der Linsenattribute verbunden. In diesem Abschnitt sollen verschiedene Konzepte vorgestellt werden, welche die Vorteile von `Widgets4Parametrization` und `Flick&Drag4Parametrization` vereinen. Mit **`RadialLensMenu4Parametrization`** soll

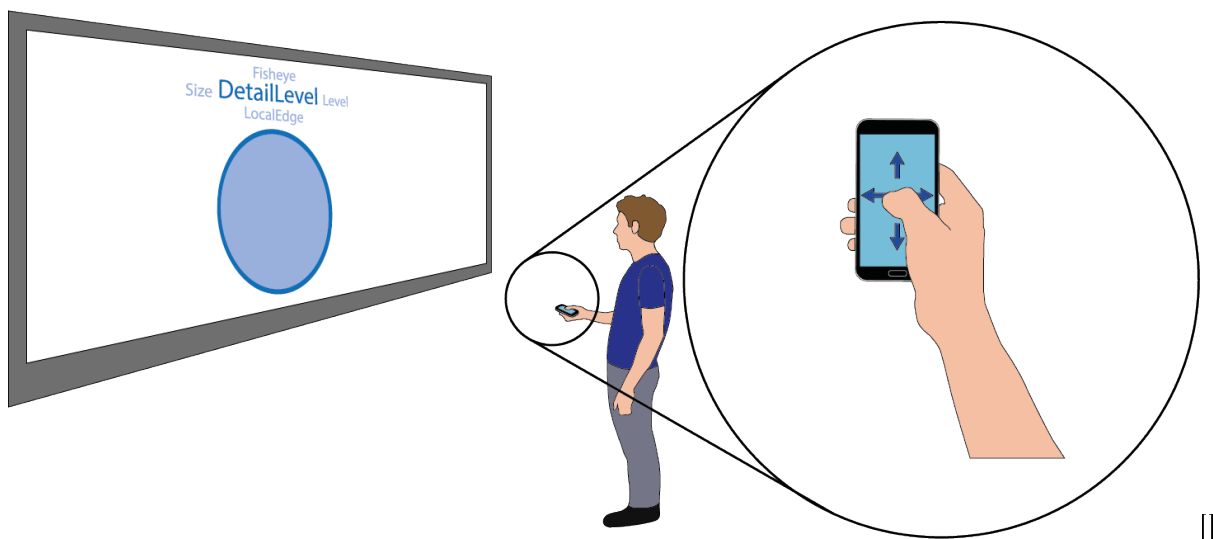


Abbildung 18: `Flick&Drag4Parametrization`: Horizontale Flick- bzw. Draggesten dienen der Auswahl des zu parametrisierenden Linsenattributes (Linsenfunktion, Linsenattribut, geometrische Linseneigenschaften bzw. Linsenoptionen). Durch Vertikale Flick- bzw. Draggesten wird das gewählte Linsenattribut eingestellt (hier: Auswahl der Linsenfunktion).

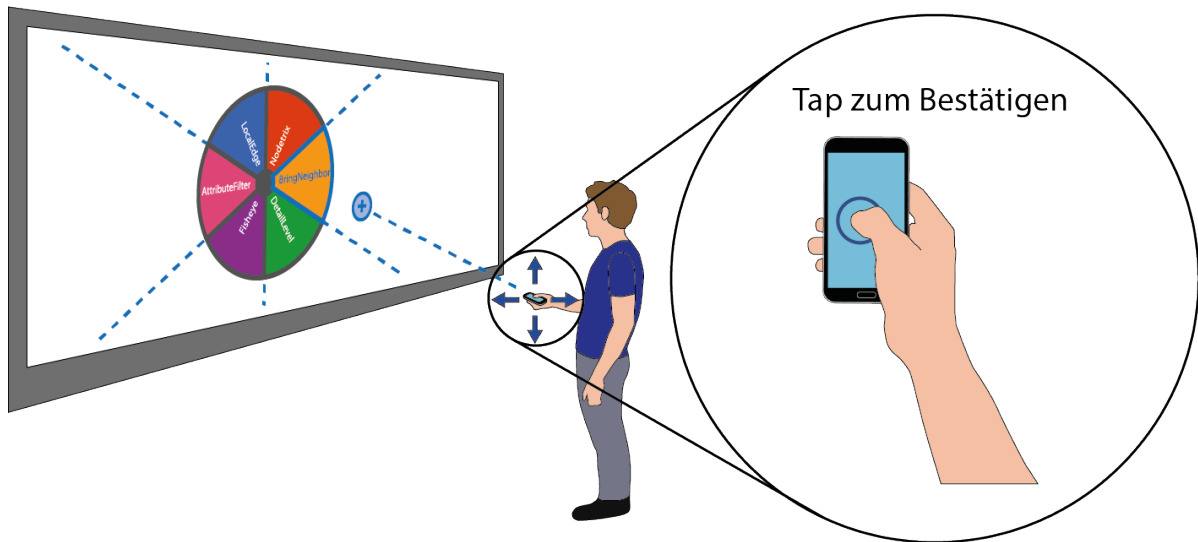


Abbildung 19: CircularPointing2Navigate: Navigation des RadialLensMenu durch entferntes Zeigen in einer kreisförmigen Bewegung. Die Auswahl des Menüpunktes wird durch einen Tap bestätigt.

durch den Einsatz eines Radialmenüs auf der Displaywand der Zeitaufwand zur Auswahl von Linsenattributen verringert werden, während die Aufmerksamkeit des Nutzers überwiegend auf die Displaywand gerichtet ist. Die Bedienungskonzepte dieses Abschnitts konzentrieren sich demzufolge auf eine lockere Interaktion mit Magischen Linsen. Durch den Fokus auf die Displaywand erhalten Nutzer durchgehend visuelles Feedback über die Auswirkungen ihrer Aktionen. Für die folgenden Interaktionskonzepte bietet sich die Verwendung des MinimalScreenLayout (siehe Abschnitt 3.4.2) auf dem Mobilgerät an, da auf den Einsatz von Steuerelementen verzichtet wird und die Linsenparametrisierung lediglich über Touchgeste des Daumens auf dem Touch-Interaktionsbereich erfolgt.

Das RadialLensMenu als Grundlage der Linsenparametrisierung

Als Grundlage von RadialLensMenu4Parametrization soll das Konzept eines Radialmenüs vorgestellt werden, welches auf der Displaywand dargestellt wird. Das **RadialLensMenu** ist ein kreisförmiges Menü, welches sich im Inneren der Linsenform befindet. Im Gegensatz zu dem Radialmenü der MultiLens von Kister et al. [KRD16] befindet sich das RadialLensMenu nicht etwa außerhalb, sondern im Inneren der Linsenform, da das Menü auch aus größeren Entfernungen gut erkennbar sein sollte. Dadurch wird jedoch die Sicht auf das Linseninnere kurzzeitig verdeckt. Das Linsenmenü wird für die jeweils aktive Linse des Mobilgerätes dargestellt. Im Anschluss an die Linsenerstellung kann das Menü beispielsweise zur Auswahl der Linsenfunktion dargestellt werden. Das RadialLensMenu stellt in diesem Fall, wie in Abb. 19 zu sehen, im Anschluss an die Linsenerstellung einen Menüpunkt für jede verfügbare Linsenfunktion dar. Die Linsenfunktionen sind durch unterschiedliche Farben kodiert. Nutzer können einen Menüpunkt des RadialLensMenu durch zwei unterschiedliche Interaktionsformen selektieren:

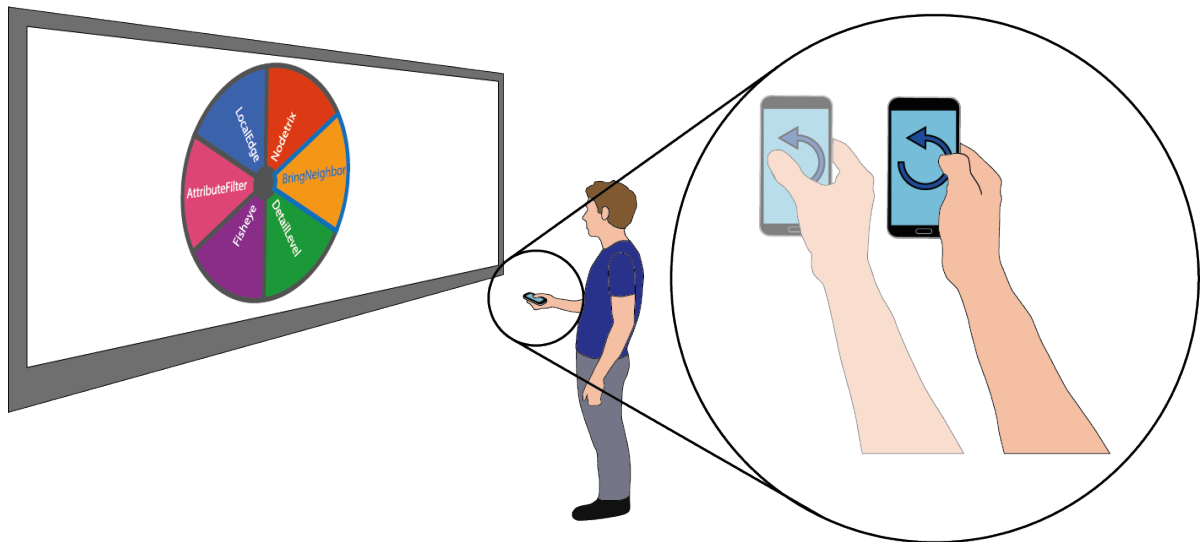


Abbildung 20: CircularDrag2Navigate: Navigation des RadialLensMenu durch eine Draggeste auf dem Touch-Interaktionsbereich. Abhängig von der Position der Berührung wird der entsprechende Menüpunkt des RadialLensMenu auf der Displaywand ausgewählt.

- **CircularPointing2Navigate:**

Die erste Möglichkeit einen Menüpunkt auszuwählen besteht darin, den Cursor des Mobilgerätes in einer kreisförmigen Bewegung um das Radialmenü zu bewegen. Die Position des Cursors ist dabei durch die Kreisform des Radialmenüs begrenzt. Das bedeutet, dass sich der Cursor immer im Inneren des Menüs befindet, auch wenn die Projektion des Mobilgerätes den Cursor außerhalb des Menüs positionieren würde. Der so ausgewählte Menüpunkt wird zusätzlich visuell durch eine farbige Umrandung hervorgehoben. Durch eine Tapgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich wird der Menüpunkt gewählt (siehe Abb. 19).

- **CircularDrag2Navigate:**

Eine alternative Möglichkeit der Menüauswahl ist durch eine kreisförmige Draggeste auf dem Touch-Interaktionsbereich gegeben. Zieht der Nutzer einen Finger in einer kreisförmigen Bewegung über den Touch-Interaktionsbereich, so wird entsprechend der Cursor innerhalb des Radialmenüs bewegt. Die Cursorposition im Inneren des Radialmenüs wird relativ auf die Fingerposition des Touch-Interaktionsbereiches abgebildet. Analog zu CircularPointing2Navigate wird der entsprechende Menüpunkt hervorgehoben. Mit Beenden der Draggeste wird der hervorgehobene Menüpunkt ausgewählt (siehe Abb. 20)

Durch eine dieser Interaktionstechniken ist eine Linsenfunktion aus dem Radialmenü zu wählen. Analog dazu kann das RadialLensMenu eingesetzt werden, um andere Linsenattribute auszuwählen. In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, wie dieses Linsenmenü zur Auswahl von Linsenattributen verwendet werden kann.

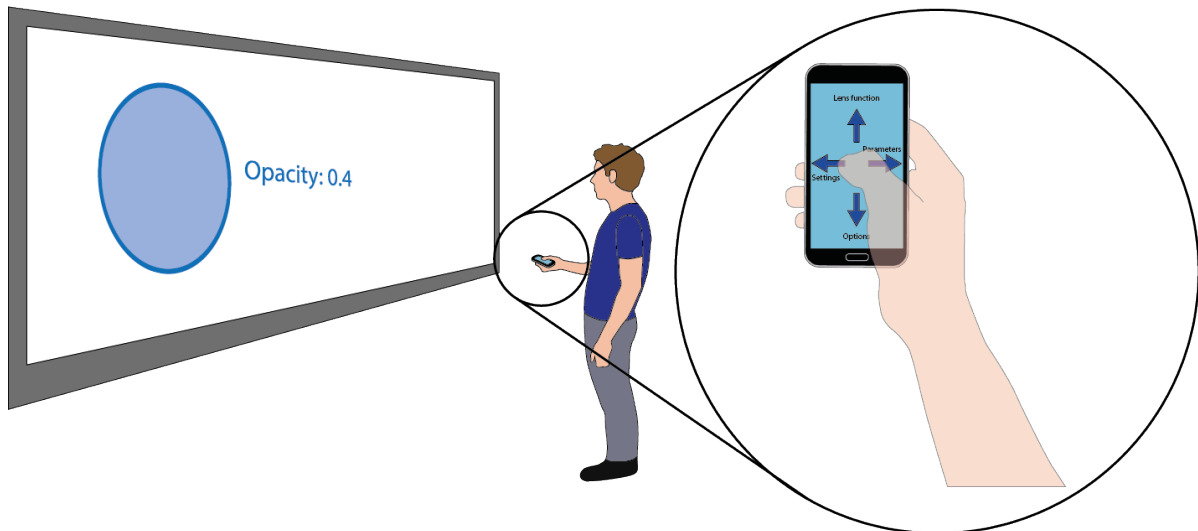


Abbildung 21: CrossMenu4Parametrization: Flickgesten in eine der vier Richtungen oben, unten, links oder rechts öffnen das entsprechende RadialLensMenu. Linsenattribute werden durch vertikale Draggesten parametrisiert.

Linsenparametrisierung durch CrossMenu4Parametrization

Nach der Selektion einer aktiven Linse für das Mobilgerät erfolgt die Linsenparametrisierung über ein virtuelles Kreuzmenü, das sogenannte **CrossMenu4Parametrization**. Durch eine Flickgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich in eine von vier Richtungen wird ein entsprechendes RadialLensMenu im Inneren der Magischen Linse dargestellt. Eine Flickgeste nach oben öffnet das *Linsenfunktionsmenü*, eine Flickgeste nach links das *Linseneigenschaftenmenü*, eine Flickgeste nach rechts das *Linsenparametermenü* und eine Flickgeste nach unten das *Linsenoptionenmenü*. Zur Erinnerung der Nutzer an die Flickrichtungen der einzelnen Linsenmenüs werden diese, wie in Abb. 21 zu sehen, im Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes dargestellt. Das Linsenfunktionsmenü dient der Auswahl der Linsenfunktion. Mit dem Linseneigenschaftenmenü können die geometrischen Eigenschaften Größe, Form und Orientierung der Magischen Linse ausgewählt werden. Analog dazu können verschiedene Linsenfunktionsparameter in Abhängigkeit von der gewählten Linsenfunktion im Linsenparametermenü gewählt werden. Das Linsenoptionenmenü bietet Optionen, um die aktive Magische Linse für andere Nutzer zu sperren und die Linsenfunktion zu deaktivieren.

Nachdem ein Linsenattribut aus einem der Linsenmenüs selektiert wurde, kann das ausgewählte Linsenattribut durch VerticalDrag2Parametrize (siehe Abschnitt 3.6.2) eingestellt werden. Im Fall von numerischen Linsenattributen, wie eines Linsenfunktionsparameters, der Größe, aber auch der Orientierung einer Linse, führt eine vertikale Draggeste nach oben bzw. unten zur kontinuierlichen Auswahl eines numerischen Wertes. Der konkrete Wert wird numerisch und durch einen Slider auf der Displaywand dargestellt. Kategorische Eigenschaften, wie beispielsweise die Linsenfunktion, Linsenform und Linsenoption, werden auf die selbe Art und Weise eingestellt. Jedoch weisen zusätz-

liche Vibrationen des Mobilgerätes auf den Wechsel der Attribute hin. Die Optionen des Linsenoptionsmenüs stellen einen Spezialfall dar. Es handelt sich hierbei um boolesche Werte, welche direkt mit der Auswahl im Linsenoptionsmenü aktiviert bzw. deaktiviert werden. Mit einer Aufwärts- bzw. Abwärts-Draggeste kann der gewählte Wert nachfolgend wieder aktiviert bzw. deaktiviert werden. Somit ist eine (Ent-)Sperrung der Linse und (De-)Aktivierung der Linsenfunktion durch vertikale Draggesten möglich. Ähnlich verhält sich das Einstellen der Linsenfunktion. Durch die Auswahl eines Menüpunktes im Linsenfunktionsmenü kann eine spezifische Linsenfunktion direkt ausgewählt werden. Nachfolgend ist dennoch der Wechsel zwischen den verfügbaren Linsenfunktionen durch eine vertikale Draggeste möglich. Das gewählte Linsenattribut wird während und einige Sekunden nach Einstellung neben der Linsenform dargestellt. Die Anordnung der Linsenattribute ist dabei abhängig von ihrer Positionierung im Kreuzmenü. So wird die Linsenfunktion oberhalb des Linsenmenüs angezeigt. Geometrische Eigenschaften erscheinen links von der Linsenform. Linsenfunktionsparameter und deren konkrete Werte werden rechts neben der Linse dargestellt. Die Linsenoptionen sind durch Icons unterhalb der Linsen zu sehen.

Ferner können die Menüpunkte des gewählten Untermenüs durch horizontale Draggesten gewechselt werden. Somit kann ein Parameter nach dem anderen durch eine horizontale Draggeste gewählt und jeweils durch eine vertikale Draggeste eingestellt werden.

Linsenparametrisierung durch `ReducedMenu4Parametrization`

Durch die Abbildung der Flickgesten auf die Auswahl im Kreuzmenü, können diese Touchgesten nicht für andere Aktionen verwendet werden. Des Weiteren vergessen Nutzer möglicherweise die Flickrichtungen der einzelnen Linsenmenüs, wodurch sie auf die Anzeige des Mobilgerätes zurückgreifen müssten. Dies würde zu einem erhöhten Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen Mobilgerät und Displaywand führen. Flickgesten sind sehr einfach durchzuführen und insbesondere zum Wechsel zwischen kategorischen Werten sinnvoll.

Das **`ReducedMenu4Parametrization`** löst dieses Problem und gibt die Flickgesten frei, welche nun in anderen Kontexten zum Einsatz kommen können. Nach der Selektion einer aktiven Linse für das Mobilgerät wird dieses Radialmenü durch das Ausführen eines Double Taps auf dem Touch-Interaktionsbereich aufgerufen. Das `ReducedMenu4Parametrization` wird ebenfalls im Inneren der Magischen Linse dargestellt und besteht aus einem Hauptmenü und vier Untermenüs zur Steuerung Magischer Linsen. Das Hauptmenü ähnelt strukturell dem virtuellen `CrossMenu4Parametrization` und ist in vier Quadranten aufgeteilt, welche dem Zugriff einzelner Untermenüs dienen und entsprechend der Flickrichtungen des `CrossMenu4Parametrization` angeordnet sind. Wie in Abb. 22 zu sehen ist, kann über den oberen Menüpunkt auf das Linsenfunktionsmenü, über den linken Menüpunkt das Linseneigenschaftenmenü, über den rechten Menüpunkt das Linsenparametermenü und über den unteren Menüpunkt das Linsenoptionsmenü aufgerufen werden. Das Hauptmenü und die Untermenüs werden analog zum `RadialLensMenu` entweder mit `CircularPointing2Navigate` oder `CircularDrag2Navigate` navigiert. Ausgewählte Linsenattribute können sowohl durch `VerticalDrag2Parametrize` als auch durch

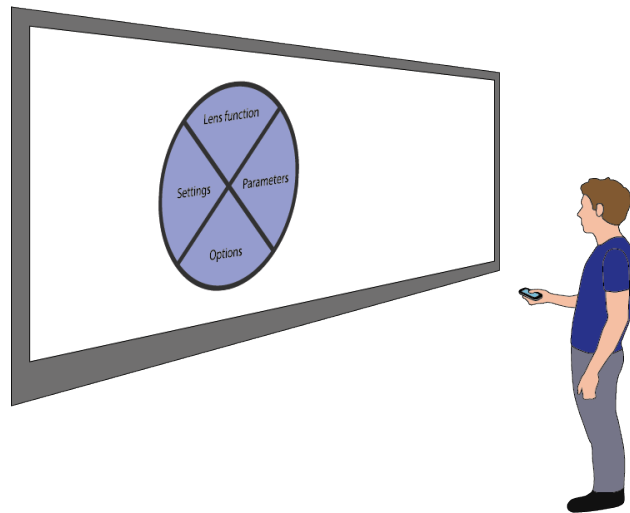


Abbildung 22: ReducedMenu4Parametrization: Das Hauptmenü des erlaubt Zugriff auf die unterschiedlichen Linsenattribute.

VerticalFlick2Parametrize konfiguriert werden (siehe Abschnitt 3.6.2). Die Unterteilung der Linsensteuerung in Hauptmenü und Untermenüs bietet eine logische Gruppierung der Linsenaktionen. Durch die zusätzliche Interaktion des Double Tap zum Aufrufen des Hauptmenüs wird jedoch die Aktionsausführung verlangsamt.

Linsenparametrisierung durch RichMenu4Parametrization

Um die Ausführungszeiten zur Auswahl von Linsenattributen zu verringern, bietet das **RichMenu4Parametrization** eine alternative Menünavigation mit lediglich einem umfangreichen Radialmenü an. Dieses Radialmenü befindet sich ebenfalls im Inneren der Linsenform. Nach Selektion einer aktiven Linse für das Mobilgerät wird das Menü über einen Double Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich aufgerufen. Wie in Abb. 23 dargestellt, kann mit diesem Radialmenü direkt auf sämtliche Einstellungsmöglichkeiten zugegriffen werden. Das RichMenu4Parametrization wird ebenfalls wie das RadialLens-Menü mit CircularPointing2Navigate oder CircularDrag2Navigate bedient. Die Anzahl der Menüpunkte ist abhängig von den gewählten Linsenfunktionen. Linsenoptionen und -eigenschaften sind feste Komponenten des Radialmenüs. Linsenfunktionsparameter werden nun über das Untermenü der jeweiligen Linsenfunktion gewählt. Gewählte Linsenattribute werden ebenso durch VerticalDrag2Parametrize oder VerticalFlick2Parametrize konfiguriert (siehe Abschnitt 3.6.2). Das Linsenfunktionsmenü ist das einzig verbleibende Untermenü, da sehr viele Linsenfunktionen die Übersichtlichkeit des Linsenmenüs beeinträchtigen würden. Des Weiteren würde die Genauigkeit der Menüselektion leiden. Das Untermenü erlaubt zudem eine schnellere Auswahl der Linsenfunktion als vertikale Flick- bzw. Draggesten.

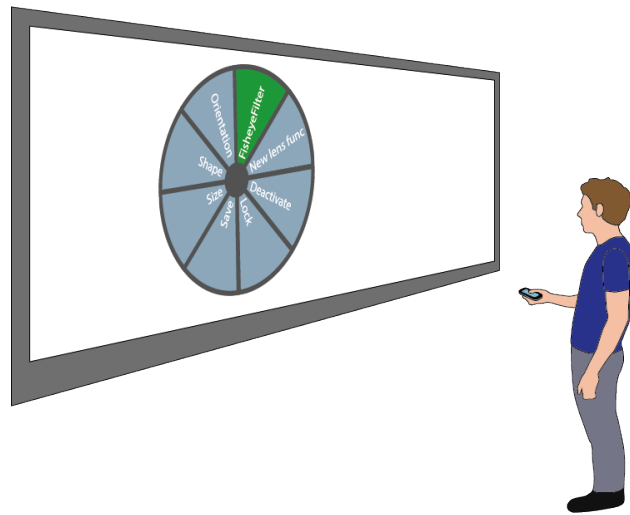


Abbildung 23: RichMenu4Parametrization: Sämtlich Linsenattribute bis auf die Linsen-funktionsparameter sind direkt über das Radialmenü aufrufbar. Die Lin-senfunktionsparameter befinden sich in einem Untermenü der entspre- chenden Linsenfunktion. Die Anzahl der Menüelemente ist abhängig von der Anzahl der verwendeten Linsenfunktionen.

Direkte Parametrisierung durch Neigen und Schwenken des Mobilgerätes

Wird zur Auswahl eines Linsenattributes aus dem ReducedMenu4Parametrization oder dem RichMenu4Parametrization die CircularPointing2Navigate-Technik verwendet, so müssen Nutzer stets das Mobilgerät auf die Displaywand richten. Dieser Umstand kann ausgenutzt werden, um eine direkte Parametrisierung der Linse zu ermöglichen. Wenn über einem gewählten Menüpunkt anstatt einer Tap- eine Holdgeste auf dem Touch- Interaktionsbereich durchgeführt wird, startet die Parametrisierung direkt. Solange die Holdgeste nicht unterbrochen wird, können Nutzer das Mobilgerät analog zu Tilt2Para- metrize oder Swing2Parametrize (siehe Abschnitt 3.6.1) bewegen, um so das gewählte Linsenattribut durch Neigen bzw. Schwenken zu konfigurieren (siehe Abb. 24). Die Pa- rametrisierung ist mit Beendigung der Holdgeste abgeschlossen. Nachfolgend kann das so gewählte Linsenattribut unverändert durch VerticalDrag2Parametrize oder Vertical- Flick2Parametrize feiner justiert werden.

Hinzufügen von Linsenfunktionen

Durch die Zuweisung mehrerer Linsenfunktionen zu einer Linse kann die Exploration von Informationsvisualisierungen verfeinert werden. Motiviert von der MultiLens von Kister et al. [KRD16] wird die Vereinigung mehrerer Linsenfunktionen innerhalb einer Magi- schen Linse präsentiert. Bei Verwendung des RichMenu4Parametrization kann eine neue Linsenfunktion über einen dedizierten Menüpunkt des Radialmenüs hinzugefügt werden. Jede Linsenfunktion wird am Rand der Linsenform durch einen entsprechenden farb- lichen Kreis gekennzeichnet. Im Hauptmenü des RichMenu4Parametrization erscheint

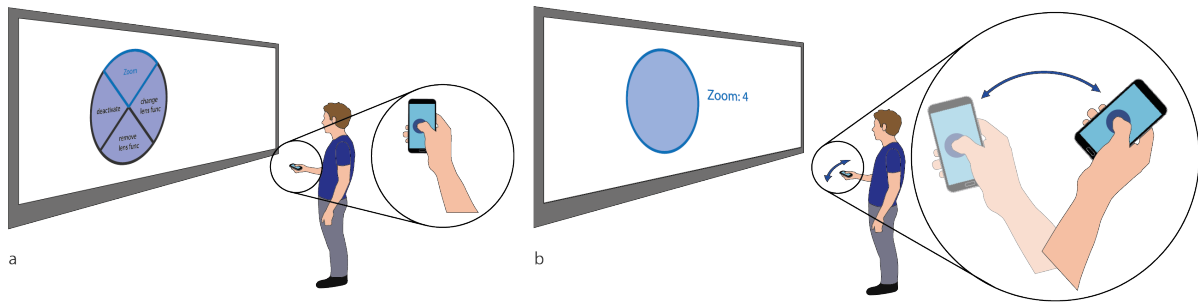


Abbildung 24: Direkte Parametrisierung durch Schwenken: (a) Hold während der Menüpunkt eines Parameters hervorgehoben ist. (b) Das Radialmenü verschwindet und der Parameter wird dargestellt. Schwenken des Mobilgerätes nach bzw. rechts führt zur Parametrisierung des Linsenattributes.

daraufhin ein zusätzlicher Menüpunkt für die neue Linsenfunktion.

3.6.4 Linsenparametrisierung durch Ringmenüs

Durch die Darstellung des Radialmenüs innerhalb der Linsenform wird der Linsenfokus kurzzeitig überdeckt, um beispielsweise einen Linsenfunktionsparameter auszuwählen, welcher nachfolgend parametrisiert werden soll. Um diese Überdeckung des Linsenfokus zu unterbinden soll im Folgenden das **RingMenu4Parametrization** vorgestellt werden, welches sich ähnlich wie bei der MultiLens von Kister et al. [KRD16] am Rand der Linsenform befindet. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus Linear- und Radialmenü. Das Menü ist, wie in Abb. 25 dargestellt, in zwei Hälften unterteilt, welche am linken und rechten Rand der Linsenform dargestellt werden. Die linke Hälfte des Ringmenüs dient der Einstellung von Linsenoptionen sowie geometrischer Eigenschaften der Linse. Die verfügbaren Linsenfunktionen hingegen werden in der rechten Menühälfte dargestellt. Linsenfunktionsparameter befinden sich in Untermenüs der jeweiligen Linsenfunktion. Nach Linsenerstellung wird das Ringmenü dargestellt, um sofort die Auswahl verschiedener Linsenfunktionen zu ermöglichen. Analog zum ReducedMenu4Parametrization bzw. RichMenu4Parametrization wird das Linsenmenü durch einen DoubleTap auf dem Touch-Interaktionsbereich geöffnet bzw. geschlossen. Die Position innerhalb des Menüs wird jedoch gespeichert, sodass Nutzer nach dem erneuten Aufrufen des Ringmenüs dort fortfahren können, wo sie aufgehört haben. Dieses zweiteilige Radialmenü kann ebenfalls durch CircularDrag2Navigate (siehe Abschnitt 3.6.3) navigiert werden. Jedoch führt in diesem Fall die Auswahl eines Menüpunktes durch CircularDrag2Navigate nicht zur Aktivierung dieses Menüpunktes. Erst ein Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich aktiviert den gewählten Menüpunkt. Durch diese Art der Interaktion können Nutzer schnell den gewünschten Menüpunkt auswählen. Insbesondere für erfahrene Nutzer ermöglicht diese Interaktionsform beispielsweise die intuitive Auswahl einer Linsenfunktion, da die Nutzer wissen, wo sich diese Funktion innerhalb des Menüs befindet. Alternativ kann zwischen den beiden Menühälften durch horizontale Flickgesten nach links bzw. rechts gewechselt werden. Die einzelnen Menüpunkte der gewählten

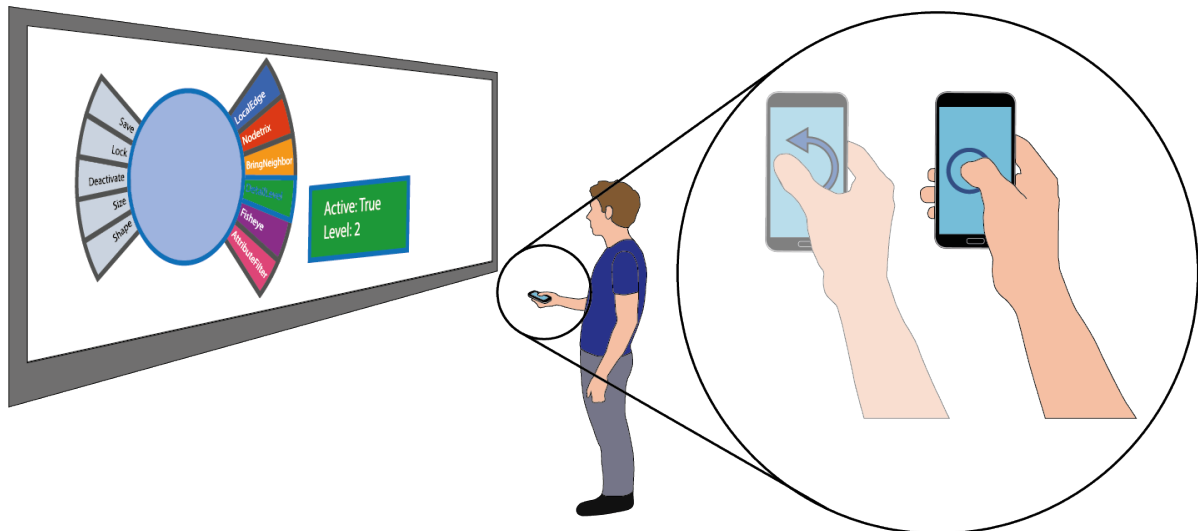


Abbildung 25: RingMenu4Parametrization: Die Parametrisierung von Linsenfunktionen geschieht über ein Untermenü. Menüpunkte werden per CircularDrag2-Navigate ausgewählt. Die Auswahl wird mit einem Tap bestätigt und das Untermenü wird geöffnet.

Menühälfte werden durch vertikale Flickgesten nach oben bzw. unten gewechselt. Ein Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich aktiviert den gewählten Menüpunkt. Um beispielsweise ein Linsenfunktion zu aktivieren und deren Parameter einzustellen müssen Nutzer zunächst den entsprechenden Menüpunkt in der rechten Menühälfte auswählen. Ein darauf folgender Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich öffnet das Untermenü der gewählten Linsenfunktion. Das Untermenü wird neben der Linsenfunktion im Ringmenü dargestellt und enthält die verschiedenen Parameter der Linsenfunktion. Jede Linsenfunktion besitzt mindestens einen Parameter zur Aktivierung der Linsenfunktion. Dieser und weitere Linsenfunktionsparameter können analog zu VerticalFlick2Parametrize bzw. VerticalDrag2Parametrize (siehe Abschnitt 3.6.2) durch horizontale Flick- bzw. Draggesten diskret bzw. kontinuierlich eingestellt werden. Vertikale Flickgesten nach oben bzw. unten führen zum Wechsel des aktiven Parameters. Das Untermenü kann durch einen Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich geschlossen werden.

3.7 Laden gespeicherter Magischer Linsen

Auf dem Mobilgerät gespeicherte Magische Linsen sind unter anderem in kollaborativen Szenarien nützlich. Nutzer können so beispielsweise Linsen, welche sie bei vorheriger Exploration des Datensatzes gespeichert haben, in Gruppenszenarien aufrufen und diskutieren. Mit **Flick2Load** können gespeicherte Linsen vom Mobilgerät auf die Displaywand übertragen werden.

Die Ansicht der gespeicherten Linsen kann sowohl im WidgetScreenLayout als auch im MinimalScreenLayout (siehe Abschnitt 3.3) über die entsprechende Schaltfläche aufgerufen werden. Diese Ansicht besteht aus einer bildschirmfüllenden Darstellung für

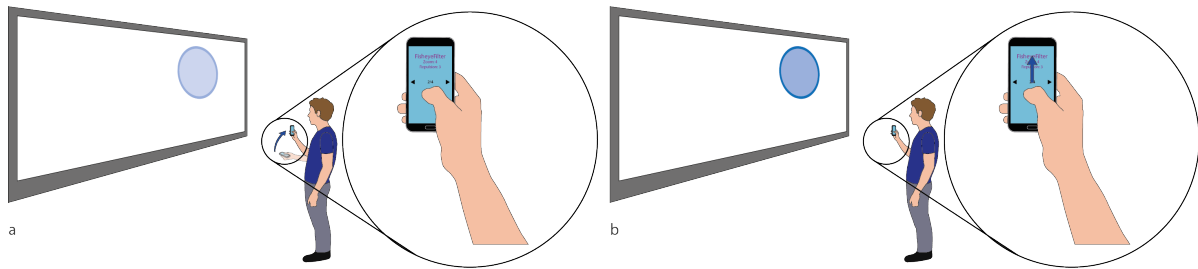


Abbildung 26: HoldUp2Show: (a) Die Ansicht der gespeicherten Linsen wird dargestellt, wenn Nutzer das Mobilgerät senkrecht vor sich halten. Mit vertikalen Flickgesten wird durch die Liste der gespeicherten Linsen geblättert. (b) Eine Flickgeste nach oben überträgt die aktuelle Linse auf die Displaywand.

jede gespeicherte Linse samt deren Linsenattribute (siehe Abb. 26). In der Darstellung werden die Linsenfunktionen und Linsenfunktionsparameter der Linse dargestellt. Mit horizontalen Flickgesten nach links bzw. rechts können Nutzer durch die Liste der gespeicherten Linsen blättern. Eine Flickgeste nach unten löscht die aktuelle Linse vom Mobilgerät (**Flick2Delete**). Durch eine Flickgeste nach oben können Nutzer gespeicherte Linsen vom Mobilgerät auf die Displaywand übertragen (**Flick2Load**). Daraufhin erscheint die Linse mit samt der gespeicherten Linsenattribute an ihrer ursprünglichen Position.

HoldUp2Show: Analog zum Teilen von Informationen im *CodeSpace* von Bragdon et al. [Bra11] können Nutzer ihr Mobilgerät parallel zur Displaywand vor sich halten, um gespeicherte Linsen auf der Displaywand darzustellen. Hält ein Nutzer das Mobilgerät derart vor sich, wird die Ansicht der gespeicherten Linsen auf dem Mobilgerät dargestellt. Horizontale Flickgesten dienen unverändert dem Blättern durch die gespeicherten Linsen. Die aktuelle Linse wird dabei leicht durchlässig auf der Displaywand dargestellt. Eine Flickgeste nach oben überträgt die Linse auf die Displaywand. Auch die Flickgeste nach unten dient unverändert dem Löschen der Linse vom Mobilgerät. Auf diese Weise erhalten Nutzer eine Vorschau der gespeicherten Linsen vor der Übertragung.

3.8 Überblick durch globale Linsen

Im folgenden Abschnitt soll analog zur *ColorLens* von Elmqvist et al. [EDF11] die Unterscheidung zwischen *lokaler* und *globaler Linse* vorgenommen werden. Das Verschaffen eines Überblicks über den Informationsraum ist laut dem *Mantra der visuellen Informationssuche* von Shneiderman [Shn96] der erste Schritt in der Exploration von Informationsvisualisierung. Als Nächstes zoomen Nutzer in den Informationsraum oder filtern ungewollte Daten aus der Informationsvisualisierung. Hierfür eignen sich lokale Linsen, welche auf lokale Interessenbereiche angewandt werden. Zur Identifizierung dieser lokalen Interessenbereiche kann eine globale Linse angewandt werden, welche dem Überblick sowie der Filterung des Datensatzes dienen soll. Eine globale Linse hingegen wird auf

die gesamte Informationsvisualisierung angewandt. Dadurch sind sämtliche geometrische Eigenschaften der Linse vorgegeben und unveränderbar. Die globale Linse besitzt die Größe der gesamten Darstellung des Datensatzes. Ihre Form ist rechteckig und sie kann weder rotiert noch verschoben werden. Jedoch eignen sich nicht alle Linsenfunktionen zur Anwendung auf eine Globale Linse. Die *Bring Neighbors Lens* oder die *Local Edge Lens* von Tominski et al. [TAHS06] eignen sich beispielsweise nicht zur Anwendung auf die gesamte Informationsvisualisierung. Jedoch können mit einer Attributsfilterfunktion interessante Bereiche der Informationsvisualisierung aufgedeckt werden.

Um die globale Linse verwenden zu können, muss diese zunächst als aktiv für das Mobilgerät selektiert sein. Diese Selektion geschieht durch Tap2Select auf einem freien Bereich der Informationsvisualisierung, also während sich der Cursor nicht über einer lokalen Linse befindet. Die globale Linse kann nachfolgend, analog zu den lokalen Linsen, durch FLick&Drag4Parametrization (siehe Abschnitt 3.6.2), Widgets4Parametrization (siehe Abschnitt 3.6.1) oder RadialLensMenus4Parametrization (siehe Abschnitt 3.6.3) konfiguriert, gesperrt und wieder de-aktiviert werden. Bei Verwendung von Flick&Drag4Parametrization erscheinen die Linsenattribute mit ihren Werten am oberen Rand der Displaywand. Widgets4Parametrization ermöglicht die Selektion der globalen Linse alternativ über die entsprechende Schaltfläche auf dem WidgetScreenLayout (siehe Abschnitt 3.4.1). Nach Selektion der globalen Linse erscheinen die entsprechenden Linsenattribute im Kontextmenü des WidgetScreenLayouts. Bei der Verwendung von RadialLensMenus4Parametrization werden die entsprechenden Radialmenüs der globalen Linse in der Mitte der Displaywand dargestellt. Die Größe des Radialmenüs ist abhängig von der Position des Mobilgerätes bzw. Nutzers zur Displaywand. Das Ring-Menu4Parametrization kann jedoch nicht zur Parametrisierung der globalen Linse verwendet werden, da sich dieses Menü außerhalb der Linsenform und somit außerhalb des Anzeigebereiches der Displaywand befinden würde. Die geometrischen Linseneigenschaften sind bei allen Interaktionstechniken deaktiviert.

3.9 Spezielle Interaktionen

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten bereits verschiedene Interaktionskonzepte zur grundlegenden Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen präsentiert wurden, sollen im Folgenden eine Menge spezieller Interaktionstechniken vorgestellt werden. Die Interaktionskonzepte dieses Abschnittes sind atomar und können als Alternativen oder redundante Interaktionen in Interaktionsabläufen eingesetzt werden.

Flip2Lock: Nachdem eine Linse als aktiv für das Mobilgerät selektiert wurde, kann diese durch das Umdrehen des Mobilgerätes gesperrt werden. Im Fall einer aktiven, gesperrten Linse führt das Umdrehen des Mobilgerätes zur Entsperrung der Linse. Eine Gesperrte Linse kann von keinem anderen Nutzer manipuliert werden. Lediglich der Nutzer, welcher die Linse gesperrt hat, kann diese auch wieder entsperren. Die Sperrung wird visuell durch ein Schloss-Icon unterhalb der Linse verdeutlicht. Durch die Sperrung der Linse können Nutzer in kollaborativen Szenarien sicherstellen, dass die Linse nicht von ihnen oder anderen Nutzern manipuliert werden kann. Dies ist beispielsweise wün-

schenswert, wenn der Interessenfokus der Linse länger betrachtet oder diskutiert werden soll.

Shake2Activate: Das Deaktivieren der Linsenfunktion ermöglicht einen Vergleich mit der ursprünglichen Repräsentation des Datensatzes und der manipulierten Ansicht durch die Magische Linse. Durch Schütteln des Mobilgerätes kann die Linsenfunktion der aktiven Linse deaktiviert bzw. aktiviert werden. Diese Interaktion ermöglicht einen schnellen Wechsel der Repräsentationen ohne auf Steuerelemente oder Menüs zugreifen zu müssen.

Throw2Create: Durch das Ausführen von Wurfgesten in Richtung der Displaywand können neue Magische Linsen erstellt werden. Diese Form der Interaktion ist durch die Wurfgeste von Dachselt und Buchholz [DB09] sowie die *Chucking*-Technik von Hassan et al. [HRIG09] (siehe Abschnitt 2.2.2) zum Austausch von Objekten zwischen Mobilgeräten und vertikalen Displays motiviert. Die Position der Linse ist abhängig von der Orientierung der Wurfgeste. Neu erstellte Linsen besitzen keine Linsenfunktionen, es sei denn im Voraus wurde explizit eine Linsenfunktion gewählt. Über das `WidgetScreenLayout` (siehe Abschnitt 3.4.1) kann vor der Linsenerstellung eine Linsenfunktion gewählt werden. Im Vergleich mit `Hold2Create` und `Flick2Create` ist eine genaue Platzierung der Linsen durch eine Wurfgeste schwieriger. Des Weiteren sind die Komplexität der Interaktion sowie die Anstrengungen für Nutzer verglichen mit simplen Hold- bzw. Flickgesten höher. Dennoch ermöglichen Wurfgesten die schnelle Erstellung mehrerer Magischer Linsen auf der Displaywand.

Hold&Drag2Create: Oftmals möchten Nutzer direkt bei der Linsenerstellung eine Linsenfunktion wählen. Das nachfolgende Interaktionskonzept ermöglicht die Erstellung einer neuen Linse, die Positionierung und Skalierung der Linse und die Auswahl einer Linsenfunktion mit einer kontinuierlichen Geste. Analog zu `Hold2Create` (siehe Abschnitt 3.5) wird eine neue Linse durch eine Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich erstellt, welche bis zur Beendigung der Holdgeste auf der Displaywand positioniert und durch Variation der Distanz zur Displaywand skaliert werden kann. Im Gegensatz zu `Hold2Create` kann die Interaktion jedoch durch eine vertikale oder horizontale Draggeste beendet werden. Wird eine Draggeste in eine von vier Richtungen (oben, unten, links, rechts) vor Beenden der Holdgeste ausgeführt, wird die neu erstellte Linse direkt mit einer vordefinierten Linsenfunktion verknüpft und an der Cursorposition „abgelegt“. Jede der vier Dragrichtungen entspricht einer Linsenfunktion. Beim Einsatz von `RadialLensMenus` zur Linsenparametrisierung sollte die Dragrichtung einer Linsenfunktion mit der Position der Linsenfunktion im Linsenfunktionsmenü übereinstimmen, um eine Verwirrung der Nutzer zu vermeiden. Linsenfunktionen, welche über `Hold&Drag2Create` ausgewählt werden können, sind im Linsenfunktionsmenü zusätzlich durch ein Stern- und Pfeil-Icon gekennzeichnet. Das Pfeil-Icon stellt die Richtung der Draggeste dar. Durch diese Erweiterung von `Hold2Create` stellt `Hold&Drag2Create` Shortcuts für Fortgeschrittene bzw. Experten anwender zur Verfügung.

Stack2Combine: Wie bei der `MultiLens` von Kister et al. [KRD16] ist es möglich meh-

rere Linsen zu einer Linse zusammenzuführen. Wird eine Linse durch Hold2Move (siehe Abschnitt 3.5) über eine zweite Linse auf der Displaywand bewegt, wird das Innere der Linse farblich hervorgehoben. Dies signalisiert dem Nutzer, dass beide Linsen zu einer einzelnen Linse zusammengefügt werden können. Durch das Ablegen der Linse über einer Anderen, wird deren Linsenfunktionen der zweiten Linse hinzugefügt. Die bewegte Linse verschwindet. Das Ergebnis ist eine zusammengefügte Linse, welche die Linsenfunktionen beider Linsen enthält. Diese Linse wird zur aktiven Linse des Mobilgerätes. Nach Hinzufügen von Linsenfunktionen zu einer Linse wird im RichMenu4Parametrization (siehe Abschnitt 3.6.3) ein Menüpunkt für jede Linsenfunktion dargestellt. Die Navigation der einzelnen Linsenfunktionsmenüs geschieht unverändert durch CircularPointing2Navigate oder CircularDrag2Navigate.

CircularDrag2Rotate: Die Orientierung einer Magischen Linse stellt einen Spezialfall der Linsenattribute dar. Anstatt die Orientierung einer Linse durch VerticalDrag2Parametrize oder VerticalFlick2Parametrize (siehe Abschnitt 3.6.2) zu verändern, bietet sich eine kreisförmige Interaktion zur Parametrisierung an. Analog zu CircularDrag2Navigate (siehe Abschnitt 3.6.3) kann eine kreisförmige Draggeste auf dem Touch-Interaktionsbereich eingesetzt werden, um die Linsenform der aktiven Magischen Linse auf der Displaywand zu rotieren. Durch diese Interaktion ist eine intuitive Einstellung dieses speziellen Linsenattributes möglich.

CircularPointing2Rotate: Analog zu CircularPointing2Navigate (siehe Abschnitt 3.6.3) ist es ebenfalls möglich die Orientierung einer Magischen Linse einzustellen, indem der Cursor in einer kreisförmigen Bewegung um die Linsenform bewegt wird. Die Interaktion beginnt mit Auswahl des Linsenattributes „Orientierung“ entweder durch ein RadialLensMenü oder über die grafische Benutzerschnittstelle des WidgetScreenLayouts. Im Anschluss kann die Linsenform durch eine kreisförmige Bewegung des Mobilgerätes rotiert werden. Ist die gewünschte Orientierung der Linsenform erreicht, wird die Interaktion mit einem Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich beendet. Der Cursor ist während der Rotation ausgeblendet und wird mit Beenden der Interaktion wieder eingeblendet. Im Gegensatz zu VerticalDrag2Parametrize, VerticalFlick2Parametrize oder CircularDrag2Rotate kann der Cursor nach Auswahl des Linsenattributes nicht verwendet werden. Dies führt möglicherweise zu Inkonsistenzen im Interaktionsablauf.

Drag2Scale: Als Alternative zur Skalierung einer Magischen Linse durch vertikale Drag- oder Flickgesten auf dem Touch-Interaktionsbereich (siehe Abschnitt 3.6.2) bzw. durch die Änderung der Distanz des Mobilgerätes zur Displaywand (siehe Abschnitt 3.5), soll im Folgenden Drag2Scale vorgestellt werden. Mit Drag2Scale können entweder horizontale bzw. vertikale Draggesten auf dem Touch-Interaktionsbereich verwendet werden, um die Höhe bzw. Breite der derzeitig selektierten Linse kontinuierlich zu skalieren. Alternativ können horizontale oder vertikale Flickgesten eingesetzt werden, um die Skalierung in diskreten Schritten durchzuführen (**Flick2Scale**). Da diese Interaktionen eindeutig auf die Parametrisierung eines einzigen Linsenattributes abgebildet werden, können diese Touchgesten nicht anderweitig eingesetzt werden. Aus diesem Grund ist es essentiell,

dass der Interaktionskontext (Displaywandkontext bzw. Mobilgerätekontext) genau definiert ist.

Hold&Tilt2Scale: Im Folgenden soll eine Erweiterung von Hold2Move (siehe Abschnitt 3.5) vorgestellt werden, welche eine zusätzliche Skalierung Magischer Linsen durch die Rotation des Mobilgerätes ermöglicht. Durch Hold2Move können existierende Magische Linsen auf der Displaywand verschoben werden, indem der Cursor des Mobilgerätes auf diese gerichtet wird und einen Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich durchgeführt wird. Während diese Holdgeste durchgeführt wird, kann die Größe der Magischen Linse zusätzlich durch eine Neigung des Mobilgerätes eingestellt werden. Eine vertikale Rotation des Mobilgerätes um die z-Achse führt zur Skalierung der selektierten Linse. Somit können Nutzer die Größe einer Magischen Linse durch Neigung des Mobilgerätes nach links bzw. rechts bestimmen. Die Skalierung der Linse beginnt erst, wenn die Neigung des Mobilgerätes einen bestimmten Schwellenwert erreicht hat, um ungewollte Skalierung durch geringe Rotationen des Mobilgerätes zu vermeiden. Ist der Schwellenwert überschritten, wird die Magische Linse kontinuierlich skaliert, bis das Mobilgerät zurück in die Ausgangsposition rotiert wird.

3.10 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde eine große Bandbreite an Interaktionskonzepten zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen präsentiert. Die Konzepte reichen von fokussierter bis zu lockerer Steuerung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät und können separat voneinander eingesetzt werden. Die Einzelkonzepte wurden jedoch mit Blick auf einen ganzheitlichen Interaktionsablauf entworfen. Für die Linsenparametrisierung wurden verschieden Menüvarianten untersucht, welche auf unterschiedliche Weise zu navigieren sind. Diese Konzepte stellen jeweils den Kern einer Interaktion dar:

- Widgets4Parametrization
- Flick&Drag4Parametrization
- RadialLensMenus4Parametrization
 - CrossMenu4Parametrization
 - ReducedMenu4Parametrization
 - RichMenu4Parametrization
- RingMenu4Parametrization

So kann das Konzept RingMenu4Parametrization beispielsweise entweder mit einer Linsenerstellung durch Throw2Create, Flick2Create, Hold2Create oder Hold&Drag2Create implementiert werden. Zudem können redundante Interaktionen, welche der Erfüllung ein- und derselben Aufgabe dienen, implementiert werden, um Nutzern verschiedenen Möglichkeiten zur Linsensteuerung an die Hand zu geben. Im Fall von Widgets4Parametrization befindet sich das Kontextmenü auf dem Mobilgerät der Nutzer und passt

sich an die gewählte Linse bzw. Linsenfunktion an. Die restlichen Menükonzepte werden auf der Displaywand dargestellt, um die Blickwechsel der Nutzer zwischen Mobilgerät und Displaywand zu reduzieren. Alle Konzepte verwenden das Mobilgerät als Zeigegerät, um beispielsweise die Position für die Erstellung neuer Linsen zu bestimmen oder somit die Linsentranslation zu kontrollieren. Einige Konzepte verwenden die Orientierung des Mobilgerätes ausschließlich zu diesem Zweck, während andere die Orientierung beispielsweise zur Parametrisierung von Linsenattributen oder zur Menünavigation verwenden. Vor der Konzeptvorstellung wurde in Abschnitt 3.3 ein Entwurfsraum präsentiert, welcher der Klassifizierung und Bewertung der Interaktionskonzepte dienen soll. In Tabelle 1 ist die Relevanz der im Entwurfsraum vorgestellten Eingabe- und Ausgabeattribute der einzelnen Mobilgeräteinteraktionen aufgelistet. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass keine der Interaktionen Gebrauch von auditivem Feedback macht, da die Konzepte für den Einsatz in kollaborativen Szenarien (siehe Anwendungsfälle in Abschnitt 3.1) gedacht sind, in welchen auditives Feedback von anderen Nutzern als störend empfunden werden könnte. Nutzer werden standardmäßig durch visuelles Feedback über die Auswirkungen ihrer Aktionen informiert. Auf einem zweiten Kanal werden Nutzer in einigen Fällen zusätzlich durch haptisches Feedback informiert. Durch die Vibration des Mobilgerätes wird demnach der Wechsel kategorischer Werte unterstrichen oder Interaktionen voneinander abgegrenzt. So wird beispielsweise sowohl für die Erstellung, Translation und Duplizierung einer Magischen Linse eine Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes verwendet. Jedoch wird die Interaktion nur durch eine Vibration des Mobilgerätes unterstrichen, wenn eine neue Linse entsteht, also bei der Linsenerstellung und -duplizierung. Die ID des Mobilgerätes ist für jede der Interaktionen relevant. Durch die ID wird festgelegt, welches Mobilgerät und somit welcher Nutzer eine Magische Linse derzeit operiert. Magische Linsen können nicht von mehreren Nutzern gleichzeitig bedient werden, da davon auszugehen ist, dass eine Parametrisierung unterschiedlicher Linsenfunktionsparameter durch unterschiedliche Nutzer zur selben Zeit zu Verwirrungen über die Auswirkung dieser Parametrisierung führt. Des Weiteren ist fraglich ob eine gleichzeitige Linsenparametrisierung zu einem erhöhten Verständnis während der visuellen Informationssuche führt. Die Parametrisierung ein und derselben Linse durch mehrere Nutzer ist dennoch durch Selektion und Deselektion der Linsen möglich. Somit können sich Nutzer in kollaborativen Szenarien absprechen und die Kontrolle über Linsen abgeben. Da das Mobilgerät größtenteils lediglich als Zeigegerät verwendet wird, ist die Cursorposition nicht für alle Interaktionen relevant. Die Cursorposition, welche sich durch Projektion aus der Position und Orientierung des Mobilgerätes im Raum vor der Displaywand berechnet, wird hauptsächlich bei der Linsenerstellung, -selektion und -translation für die Interaktion verwendet. Einige der präsentierten Konzepte stellen Kombinationen aus Linsenerstellung oder -translation dar, bei welchen die Cursorposition ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Hierzu gehören die Konzepte der Linsenduplizierung sowie Linsenfunktionskombination (z.B. Double-Tap&Hold2Duplicate und Stack2Combine). Da der Cursor durch die Orientierung des Mobilgerätes bestimmt wird, ist auch immer die Mobilgeräteorientierung relevant, wenn der Cursor für die Interaktion verwendet wird. In einigen Fällen, bei denen spezielle physische Gesten zum Einsatz kommen, spielt jedoch nur die Mobilgeräteorientierung

Identifier	Eingabe						Ausgabe		
	Cursor- position	Mobilgerä- position	Mobilgerä- orientierung	Displaywand- kontext	Mobilgerä- kontext	Visuell	Haptisch	Auditiv	
Hold2Create	✓	✓	✓	✓	✓	✓ ^a	✓	✓	
Flick2Create	✓	✓	✓	✓	✓	✓ ^a	✓	✓	
Tap2Select	✓	✓		✓	✓		✓		
Hold2Move	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
MoveOut2Remove	✓	✓		✓	✓		✓	✓	
Flick2Remove	✓			✓			✓	✓	
DoubleTap2Duplicate	✓	✓		✓	✓		✓	✓	
DoubleTap&Hold2Duplicate	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
ClassicParametrization	✓			✓		✓ ^a	✓		
Tilt2Parametrize	✓			✓	✓	✓ ^a	✓	✓	
Swing2Parametrize	✓		✓		✓	✓ ^a	✓	✓	
VerticalDrag2Parametrize	✓			✓			✓	✓	
VerticalFlick2Parametrize	✓			✓			✓		
CircularPointing2Navigate	✓	✓		✓	✓		✓		
CircularDrag2Parametrize	✓			✓			✓		
Flick2Load	✓					✓	✓		
Flick2Delete	✓					✓	✓		
HoldUp2Show	✓			✓		✓	✓		
Flip2Lock	✓			✓	✓		✓		
Shake2Activate	✓			✓			✓		
Throw2Create	✓	✓		✓		✓ ^a	✓		
Hold&Drag2Create	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Stack2Combine	✓	✓		✓	✓		✓		
CircularDrag2Rotate	✓			✓			✓		
CircularPointing2Rotate	✓	✓		✓	✓		✓		
Drag2Scale	✓			✓		✓ ^a	✓		
Flick2Scale	✓			✓		✓ ^a	✓		
Hold&Tilt2Scale	✓	✓		✓	✓		✓		

Tabelle 1: Relevanz der Eingabe- und Ausgabeattribute der Interaktionskonzepte

^abei Verwendung von Widgets4Parametrization

eine Rolle. Hierzu gehört beispielsweise die Orientierung des Mobilgerätes in einer sehr spezifischen Art und Weise um die Ansicht der gespeicherten Listen bei HoldUp2Show darzustellen. Die Position des Mobilgerätes im Raum vor der Displaywand wird lediglich zur gleichförmigen Skalierung der Linsenform während der Linsentranslation bzw. -erstellung verwendet. Swing2Parametrize stellt dabei eine Ausnahme dar. In diesem Fall können Nutzer durch die Veränderung der Position des Mobilgerätes auf der x-Achse verschiedene Linsenattribute parametrisieren. Der Mobilgerätekontext, also die Einstellung des Mobilgerätes, ist größtenteils nur für Widgets4Parametrization relevant, da die Linsenparametrisierung in diesem Fall über Steuerelemente auf dem Mobilgerät stattfindet. Auch beim Laden bzw. Entfernen gespeicherter Linsen spielt der Kontext des Mobilgerätes eine wichtige Rolle für die Interaktion. Eine genauere Betrachtung des jeweiligen Interaktionskontextes bzgl. der Displaywand und den Einstellungen auf dem Mobilgerät folgt in der Auswertung in Kapitel 5. Des Weiteren soll an dieser Stelle näher auf die verwendeten Touch-Interaktionen und physischen Interaktionen eingegangen werden.

4 Implementierung

Nachdem in Kapitel 3 verschiedene Konzepte zur Interaktion mit Magischen Linsen auf einer großen, hochauflösenden Displaywand vorgestellt wurden, soll im Folgenden die prototypische Implementierung ausgewählter Konzepte veranschaulicht werden. Des Weiteren wird auf die für die Realisierung verwendeten Technologien eingegangen. Für diese Arbeit wurden die folgenden Konzepte in einem Prototypen realisiert:

- *RingMenu4Parametrization* bildet das Herzstück des Prototypen, um verschiedene Magische Linsen zu parametrisieren (siehe Abschnitt 3.6.4).
- Es wurde das *MinimalScreenLayout* implementiert, um möglichst viel Platz für Touchgesten auf dem Mobilgerät zur Verfügung zu stellen (siehe Abschnitt 3.4.2).
- Mit *Hold2Create* können im Prototypen neue Linsen erstellt werden (siehe Abschnitt 3.5.1).
- *Tap2Select* erlaubt eine intuitive (De-)Selektion von Linsen (siehe Abschnitt 3.5.2).
- Magische Linsen können durch *Hold2Move* bewegt und skaliert werden (siehe Abschnitt 3.5.3).
- Mit *MoveOut2Remove* können existierende Linsen wieder gelöscht werden (siehe Abschnitt 3.5.4).
- *DoubleTap&Hold2Duplicate* ermöglicht die Duplizierung von Linsen, welche direkt positioniert werden können (siehe Abschnitt 3.5.5).
- Sowohl *Drag2Scale* als auch *Flick2Scale* dienen der schnellen Skalierung einer Linse ohne Menünavigation oder Positionsänderung der Nutzer (siehe Abschnitt 3.9).

Durch die Implementierung dieser Konzepte entsteht ein lockerer Interaktionsablauf und bereits aus WIMP-Umgebungen bekannte Metapher, wie beispielsweise Drag&Drop, führen zu einer intuitiven Interaktion.

4.1 Verwendete Technologien

Im Folgenden soll auf die Technologien eingegangen werden, welche zur Realisierung des Prototypen verwendet wurden. Zur Darstellung der jeweiligen Informationsvisualisierung steht eine 5m x 2m große Displaywand, bestehend aus zwölf 55"1080p-Displays, zur Verfügung. Die Displaywand wird durch einen Ubuntu-PC mit einem Xeon-Dual-Prozessor betrieben. Für die Steuerung der Magischen Linsen wurde sowohl ein LG Nexus 5 als auch ein Samsung Galaxy S5, jeweils mit einem 5"Display, eingesetzt. An beiden Mobilgeräten wurden reflektierende Marker befestigt, welche der Erfassung der Position und Orientierung dienen. Die Erfassung geschieht durch ein OptiTrack-Trackingsystem ¹,

¹OptiTrack - Motion Capture Systems: <http://optitrack.com/>

bestehend aus zwölf Infrarot-Kameras. Das OptiTrack-System läuft auf einem separaten Tracking-PC mit Windows Betriebssystem, welcher die 3D-Position und Orientierung des Mobilgerätes über das OSC-Protokoll (pyOSC ²) weiterleitet. Die Benutzerschnittstelle sowohl auf der Displaywand als auch auf dem Mobilgerät wird mit libavg ³ und unter Verwendung der Programmiersprache Python in der Version 2.7 ⁴ dargestellt. Die Ansicht des Mobilgerätes wird durch einen kontinuierlichen Videostrom erzeugt, welcher vom Ubuntu-PC der Displaywand übertragen wird. (Multi-)Toucheingabe auf dem Mobilgerät ist ebenso möglich wie physische Interaktion durch Variation der Position oder Orientierung im Raum vor der Displaywand. Der Prototyp baut auf einem bereits bestehendem System zur Interaktion mit Informationsvisualisierungen durch Mobilgeräte auf. Dieses System verwendet das *Model-View-Controller* Entwurfsmuster und besteht aus den folgenden für diese Arbeit interessanten Komponenten:

- **Devices** stellen die Mobilgeräte dar. Jedes Device verfügt über eine ID und weitere Informationen, welche beispielsweise die Position und Orientierung des Gerätes im Raum spezifizieren. Die grafische Benutzerschnittstelle wird über einen **DeviceView** dargestellt und reagiert auf Toucheingaben. Alle Devices werden über einen dedizierten **DeviceManager** gesteuert, welcher den Controller des Model-View-Controller Entwurfsmuster darstellt.
- **Lenses** sind die Magischen Linsen, welche auf der Displaywand dargestellt werden können. Die Linsenmodelle besitzen eine Position im zweidimensionalen Koordinatensystem der Displaywand und eine Form sowie eine Menge von **Filtern**. Die Filter spezifizieren die Linsenfunktion und die Darstellung der Linse durch den **LensView**. Auch die Lenses werden über eine zentrale Komponente, die **LensControl**, gesteuert.

Für die Implementierung der Interaktionskonzepte wurde die folgenden bereits existierenden Linsenfunktionen bzw. Filter verwendet:

- **AttributeFilter**: Mit dem AttributeFilter Beschränkungen für die Attribute der Knoten in einem Graphen definiert werden.
- **BringNeighborsFilter**: der BringNeighborsFilter zieht benachbarte Knoten eines Fokusknoten in den Linsenfokus. Dabei ist der Grad der Nachbarschaft über einen Parameter einstellbar. (siehe Abschnitt 2.1.2)
- **DetailLevelFilter**: Mit dem DetailLevelFilter ist es möglich über einen Parameter den Detailgrad der Ansicht des Interessenfokus einzustellen. So können beispielsweise verschiedene Attribute eines Knotens in einem Graphen ein- oder ausgeblendet werden.

²Python Bibliothek für OpenSoundControl: <https://github.com/ptone/pyosc>

³libavg Entwicklungsplattform: <https://www.libavg.de/>

⁴Python Programmiersprache: <https://www.python.org/>

- **FishEyeFilter:** Der FishEyeFilter stellt eine klassische Vergrößerungslinse mit Verzerrung dar, welche über einen Vergrößerungs- und Abstoßungsparameter verfügt (siehe Abschnitt 2.1.3).
- **LocalEdgeFilter:** Der LocalEdgeFilter entfernt ungewollte Kanten aus dem Interessenfokus einer Graphvisualisierung. Die Transparenz der ungewollten Kanten ist über einen Parameter einstellbar (siehe Abschnitt 2.1.2).
- **NodetrixFilter:** Mit dem NodetrixFilter lässt sich eine Adjazenzmatrix der Knoten einer Graphvisualisierung darstellen.
- **RemoveEntityFilter:** Durch den RemoveEntityFilter werden alle Knoten innerhalb des Interessenfokus aus der Graphvisualisierung entfernt.

4.2 Prototypische Realisierung

Für die Implementierung der genannten Interaktionskonzepte wurde das bestehende Softwaregerüst um eine Menge von Komponenten erweitert. Zum einen wurde ein neuer Gerätetyp, der **LensOperatorDevice**, hinzugefügt. Dieses Gerätemodell dient der Steuerung Magischer Linsen und wird wie die restlichen Geräte über den DeviceManager kontrolliert. Der LensOperatorDevice erhält beim Start der Anwendung Zugriff auf die LensControl, um der Displaywand neue Linsen hinzufügen zu können. Im Gerätemodell wird zudem die aktuelle Linse gespeichert, welche durch dieses Gerät bedient wird. Von dem Gerät gespeicherte Linsen werden in einer Python-Liste im LensOperatorDevice abgelegt. Über den neuen **LensOperatorDeviceView** wird die grafische Benutzerschnittstelle auf dem Mobilgerät dargestellt. Diese Benutzerschnittstelle besteht lediglich aus zwei Komponenten. Der Großteil des Displays wird von der ersten Komponente, der sogenannten **TouchInteractionArea**, eingenommen. Wie in Abschnitt 3.4.2 beschrieben dient dieser Touch-Interaktionsbereich der Erkennung von Touchgesten. Über die libavg Entwicklungsplattform werden diese Gesten auf dem Mobilgerät erkannt. Der Touch-Interaktionsbereich leitet erkannte Gesten über Callback-Funktionen an den LensOperatorDevice, welcher diese daraufhin verarbeitet. Für die folgenden Ereignisse werden Callback-Funktionen aufgerufen: **tap**, **double_tap**, **hold**, **hold_end**, **double_tap_hold**, **drag**, **drag_end**, **flick_up**, **flick_down**, **flick_left** und **flick_right**. An dieser Stelle ist anzumerken, dass für die Touchgesten Hold und Drag die beiden zusätzlichen Ereignisse **hold_end** und **drag_end** essentiell sind, um den Zeitpunkt bzw. die Position bei Beendigung der Geste zu signalisieren. Tap- und Holdgesten sowie Flick- und Draggesten werden anhand der Ausführungszeit unterschieden. Ein Drag bzw. Hold wird erst nach 0,5 Sekunden erkannt. Gerichtete und ungerichtete Touchgesten werden anhand der zurückgelegten Distanz auf dem Touch-Interaktionsbereich unterschieden. So wird eine Flick- von einer Tapgeste nur erkannt, wenn die zurückgelegte Distanz auf dem Touch-Interaktionsbereich einen Schwellenwert überschreitet. Dieser Schwellenwert beträgt standardmäßig 50 Pixel. Die zweite Komponente der Benutzerschnittstelle des Mobilgerätes ist ein Button oberhalb des Touch-



Abbildung 27: Bewegung des Cursor durch Orientierung des Mobilgerätes im Raum.

Interaktionsbereiches, welcher den Zugriff auf die gespeicherten Linsen des Mobilgerätes erlaubt.

Das bestehende Linsenmodell wurde um drei Attribute erweitert. Zum einen wird die ID des Gerätemodells gespeichert, durch welches die Linse derzeit operiert wird. Dieser Wert ist **None**, wenn die Linse von keinem Gerät operiert wird. Des Weiteren dient eine boolesche Variabel zur (Ent-)Sperrung der Linse. Zuletzt wird ein sogenanntes **WallMenu** im Linsenmodell gespeichert. Das WallMenu ist ein Menü welches auf der Displaywand dargestellt wird. Es enthält verschiedene Menüeinträge, von denen jeder einen Rückgabewert besitzt. Analog zu den Devices und Lenses besitzen alle WallMenus einen **WallMenuView** und werden über eine **WallMenuControl** gesteuert.

Abschließend wurde dem bestehenden System eine sogenannte **Pointer**-Verwaltung hinzugefügt, welche ebenfalls über das Model-View-Controller Entwurfsmodell organisiert wird. Jedem Gerätemodell wird so zu Beginn der Anwendung ein Cursormodell hinzugefügt, welches durch den **PointerView** als ein halbdurchlässiger, grauer Punkt auf der Displaywand zu sehen ist. Es findet keine farbliche Unterscheidung der verschiedenen Cursor auf der Displaywand statt, da die Farbe bereits zur Kodierung der Linsenfunktionen verwendet wird. Abhängig von der Position und Orientierung des Gerätemodells im Raum wird der Cursor perspektivisch auf die Displaywand projiziert (siehe Abb. 27).

Implementierung von RingMenu4Parametrization

Nach Start der Anwendung und Start des **RUIClients** auf dem Mobilgerät wird die gewählte Informationsvisualisierung auf der Displaywand dargestellt. Durch Bewegung und Orientierung des Mobilgerätes kann der mit dem Gerätemodell verbundene Cursor durch perspektivische Projektion auf der Displaywand bewegt werden. Wünscht ein Nutzer eine gewählte Stelle der Informationsvisualisierung mithilfe einer Magischen Linse näher zu betrachten, führt dieser eine Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes aus. Der Cursor muss sich hierfür über einer freien Stelle auf der Displaywand befinden. Dies löst den Aufruf der registrierten Callback-Funktionen aus, wodurch



(a) Linsenerstellung durch Hold2Create



(b) Hinzufügen einer Fischaugenlinse

Abbildung 28: Erstellung Magischer Linsen durch Hold2Create und Parametrisierung durch RingMenu4Parametrization

dem Gerätemodell das Auftreten des entsprechenden Ereignisses bekannt gegeben wird. Das Gerätemodell reagiert darauf, indem es die LensControl mit der Erstellung einer neuen Linse ohne Linsenfunktion (Filter) an der Cursorposition auf der Displaywand beauftragt. Wie in Abb. 28(a) zu sehen, erscheint die neu erstellte Linse. Gleichzeitig wird über die WallMenuControl ein neues Linsenmenü für das Linsenmodell erstellt. Solange die Holdgeste nicht unterbrochen wird, kann der Nutzer die Position und Größe der Linse durch Veränderung der Position und Orientierung des Mobilgerätes variieren. Mit Beendigung der Holdgeste wird die Linse an der Cursorposition abgelegt (siehe Abschnitt 3.5.1). Das Linsenmenü ist geöffnet und kann sofort bedient werden. Dies ermöglicht die Auswahl einer Linsenfunktion direkt nach Linsenerstellung.

Das dargestellte Linsenmenü ist das in Abschnitt 3.6.4 beschriebene RingMenu4-Parametrization. Die linke Hälfte des Ringmenüs dient der Auswahl von Linsenoptionen und -eigenschaften. Die rechte Menühälfte stellt die zur Verfügung stehenden Linsenfunktionen (Filter) dar, welche jeweils durch eine Farbe kodiert sind. Durch CircularDrag2-Navigate (siehe Abschnitt 3.6.3) kann schnell ein Menüpunkt aus einer der beiden Linsenhälften selektiert werden. Der so gewählte Menüpunkt wird durch eine blaue Umrandung hervorgehoben. Die Beschriftung des Menüpunktes wird ebenfalls durch die selbe Farbe hervorgehoben. Der Touch-Interaktionsbereich ruft beim Auftreten einer solchen Draggeste die entsprechenden Callback-Funktionen auf, woraufhin die Bestimmung des aktiven Menüpunktes beginnt. Diese Bestimmung erfolgt über die Berechnung des Winkels zwischen dem Mittelpunkt des Touch-Interaktionsbereiches und dem Berührungspunkt der Touchgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich. Der Winkel wird durch die zyklometrische Funktion atan2 und die kartesischen Koordinaten des Differenzvektors des soeben benannten Mittel- und Berührungspunktes berechnet. Befindet sich dieser Winkel zwischen dem Anfangs- und Endwinkel des Keils einer der Menüpunkte, wird dieser entsprechend hervorgehoben. Nach Beendigung der Draggeste bleibt der zuletzt gewählte Menüpunkt hervorgehoben. Durch vertikale Flickgesten können Nutzer zudem diskret durch die einzelnen Punkte der Menühälfte wechseln. Horizontale Flickgesten nach links bzw.

rechts führen zum Wechsel der beiden Displayhälften. Nach Auswahl des entsprechenden Menüpunktes wird das Untermenü über einen Tap auf dem Touch-Interaktionsbereich geöffnet. Hierzu werden die entsprechenden Callback-Funktionen aufgerufen. Der `LensOperatorDevice` überprüft daraufhin, ob das Linsenmenü geöffnet ist, ob ein Menüpunkt hervorgehoben ist und ob dieser ein Untermenü besitzt. Nur wenn diese Bedingungen erfüllt sind, wird das entsprechende Untermenü geöffnet. Nach Linsenerstellung möchten Nutzer oftmals direkt eine Linsenfunktion (Filter) wählen. So öffnen sie auf diese Weise das Untermenü einer der Linsenfunktionen (siehe Abb. 28(b)). Vertikale Flickgesten dienen in diesem Kontext (Displaywandkontext siehe Abschnitt 3.3) zum Wechsel des aktiven Linsenfunktionsparameters. Der erste Linsenfunktionsparameter ist in jedem Fall der boolesche Wert zu (De-)Aktivierung) der Linsenfunktion. Durch horizontale Flick- und Draggesten kann die Linse entsprechend aktiviert bzw. deaktiviert sowie andere Linsenfunktionsparameter eingestellt werden. Die Ausführung eines Double Taps führt in jedem Displaywandkontext, in welchem eine Linse selektiert ist, zum Öffnen bzw. Schließen des Linsenmenüs. Ist eine Linse selektiert und das Linsenmenü geschlossen, führen horizontale oder vertikale Drag- bzw. Flickgesten zur kontinuierlichen bzw. diskreten Skalierung der Linse (siehe Abschnitt 3.9).

Für die Linsentranslation wird die selbe Interaktion verwendet, wie für die Linsenerstellung. Ausschlaggebend für die Unterscheidung zwischen Linsenerstellung und Linsentranslation ist der Displaywandkontext, welcher sich in diesem Fall auf die Position des Cursors auf der Displaywand bezieht. Befindet sich der Cursor über einer Linse wird statt der Linsenerstellung die Linsentranslation initiiert. Wie in Abschnitt 3.5.3 beschrieben, wird die Linsenposition sowie -skalierung durch die Position und Orientierung des Mobilgerätes im Raum bis zur Beendigung der Holdgeste bestimmt. Hierfür kann der Cursor auch auf nicht selektierte Linsen gerichtet werden, um diese neu zu positionieren. Mit Beginn der Holdgeste wird diese selektiert, solange diese nicht bereits von einem anderen Nutzer operiert wird oder deren Verwendung gesperrt ist. Sollte eine andere Linse bereits durch den `LensOperatorDevice` selektiert sein, wird diese entsprechend deselektiert. Die Linsentranslation wird zudem verwendet, um die Linse wieder aus der Visualisierung zu entfernen. Der Displaywandkontext ändert sich in diesem Fall geringfügig. Wird eine durch eine Holdgeste „aufgehobene“ Linse außerhalb des Anzeigebereiches der Displaywand „abgelegt“, wird diese entfernt.

Auch die einfache Selektion einer Linse (ohne Translation und Skalierung) ist durch eine Touchgeste implementiert, welche bereits in einem anderen Displaywandkontext zum Einsatz kommt. Ein Tap auf dem Touch-Interaktionbereich führt demnach bei nicht geöffnetem Linsenmenü und Positionierung des Cursors über einer Linse zur Selektion dieser. Befindet sich der Cursor nicht über einer Linse wird diese deselektiert und somit beispielsweise für andere Nutzer freigegeben. Ist das Linsenmenü einer selektierten Linse wiederum geöffnet führt ein Tap zur Aktivierung des hervorgehobenen Menüpunktes.

Abschließend kann der Touch-Interaktionsbereich einen Double Tap & Hold erkennen. Diese Geste ähnelt einem normalen Double Tap, wobei der zweite Tap ein Hold auf dem Touch-Interaktionsbereich ist. Wird ein solcher Double Tap & Hold über einer Linse ausgeführt wird die Linse mit all ihren Linsenattributen dupliziert (siehe Abb. 29(a)). Es entsteht eine neue Linse über der ursprünglichen Linse, welche direkt durch Bewe-



(a) Linsenduplizierung durch DoubleTap&Hold2Duplicate



(b) Hinzufügen mehrerer Linsenfunktionen zu einer Linse

Abbildung 29: Linsenduplizierung und Parametrisierung mehrerer Linsenfunktionen innerhalb einer Linse

gung und Orientierung des Mobilgerätes positioniert und skaliert werden kann (siehe Abschnitt 3.5.5). Durch diese Interaktion ist es Nutzern schnell möglich die selbe Linsenfunktion auf einen anderen lokalen Bereich anzuwenden, um diese beispielsweise zu vergleichen.

4.3 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel vorgestellten Erweiterungen des bestehenden Systems ermöglichen einen ganzheitlichen Interaktionsablauf von der Erstellung, Translation und Skalierung bis zur Parametrisierung Magischer Linsen bei der visuellen Informationssuche. Der in Abschnitt 3.3 vorgestellte Displaywandkontext spielt bei der Unterscheidung der Aktionen durch identische Interaktionen eine entscheidende Rolle. In den Callback-Funktionen der einzelnen Gesten auf dem Touch-Interaktionsbereich, wird überprüft in welchem Displaywandkontext sich der Nutzer befindet, also ob sich der Cursor über einer Linse befindet, ob das Linsenmenü geöffnet ist, ob ein Menüpunkt hervorgehoben ist, etc. Abhängig vom derzeitigen Displaywandkontext führt der LensOperatorDevice die entsprechende Aktion aus. Somit ist beispielsweise eine Vierfachbelegung der Holdgeste, wie in diesem Prototypen vorgestellt ist, kein Problem. Anzumerken sei hierbei jedoch, dass die durch die Holdgeste ausgelösten Aktionen sich sehr ähnlich sind. Durch eine einfache Holdgeste und entferntes Zeigen mit dem Mobilgerät können Linsen sowohl erstellt, bewegt, skaliert entfernt werden. Diese Mehrfachbelegung einer Geste in Abhängigkeit vom derzeitigen Displaywandkontext ermöglicht die Verwendung eines reduzierten Interaktionsvokabulars, wodurch Nutzer sich keine komplexen Gestenkombinationen merken müssen. Auch der einfache Tap, sowie die horizontalen und vertikalen Flickgesten wurden mehrfach belegt. Im nächsten Kapitel wird näher auf diesen Punkt bei der Mobilgeräteinteraktion eingegangen. Als Alternative zu CircularDrag2Navigate wurde zudem CircularPointing2Navigate implementiert. Jedoch ist beim Testen des Prototypen aufgefallen, dass das Vorhandensein zweier Interaktionsmöglichkeiten zur Menüna-

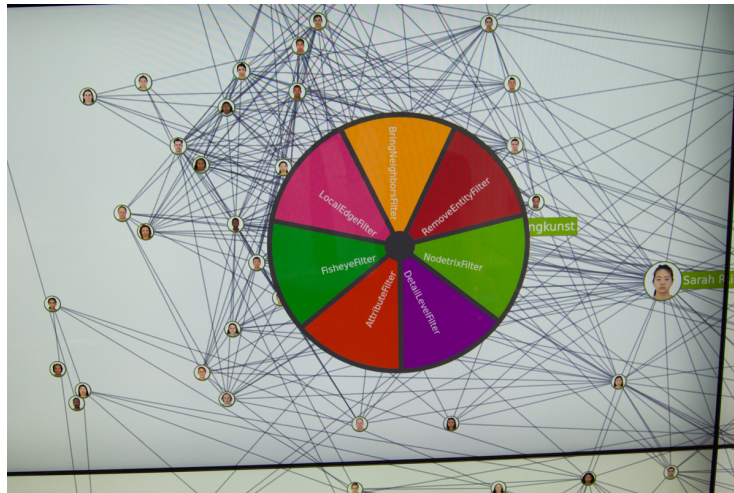


Abbildung 30: Implementierter Prototyp des RichMenu4Parametrization

vigation eine Verwirrung des Nutzers entsteht, darüber welcher Menüpunkt hervorgehoben wurde. Für den Prototypen wurde sich für CircularDrag2Navigate entschieden, da dies eine ruhigere Menünavigation ermöglichte. Zudem wurde eine Variante des Rich-Menu4Parametrization implementiert (siehe Abb. 30). Im Laufe der Konzeptiteration wurde sich jedoch für die Ringemenü-Variante entschieden, welche den Interessenfokus nicht überdeckt. Im nachfolgenden Kapitel soll näher auf die Vor- und Nachteile beider Varianten eingegangen werden.

5 Auswertung

In dieser Arbeit wurde sich auf den Entwurf von Interaktionskonzepten konzentriert, welche die Steuerung Magischer Linsen auf einem großen, vertikalen Display durch ein Mobilgerät ermöglichen. Hierfür wurde zuerst ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand im Bereich Magischer Linsen und der Geräte-Interaktion gegeben. Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Formen der physischen Interaktion sowie Touch-Interaktion auf dem Mobilgerät in Betracht gezogen. An dieser Stelle sollen die in Kapitel 3 vorgestellten und speziell die in Kapitel 4 implementierten Konzepte hinsichtlich ihrer Eignung zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen kritisch untersucht werden. Diese Untersuchung schließt eine genaue Betrachtung der Gestenkomplexität der eingesetzten Interaktionstechniken und deren Auswirkungen auf die Effizienz und Ergonomie der Interaktion ein. Des Weiteren werden Vor- und Nachteile der Konzepte präsentiert und dargelegt unter welchen Bedingungen deren Einsatz am sinnvollsten erscheint.

5.1 Auswertung der Bedienkonzepte

In diesem Abschnitt sollen die entwickelten Interaktionskonzepte nacheinander kritisch ausgewertet werden. Hierzu wird zunächst auf die in Abschnitt 3.5 vorgestellten Konzepte zur grundlegenden Steuerung Magischer Linsen eingegangen. Im Anschluss daran sollen die verschiedenen Konzepte zur Linsenparametrisierung einschließlich der vorgestellten Menüentwürfe betrachtet werden (siehe Abschnitt 3.6). Abschließend findet eine Auswertung der speziellen Interaktionskonzepte des Abschnitt 3.9 statt, welche als redundante Eingabemöglichkeiten in Interaktionsabläufen zum Einsatz kommen können. Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, sollen dabei die jeweiligen Interaktionskontexte und verwendeten Interaktionstechniken näher beleuchtet werden.

5.1.1 Auswertung der Konzepte zur grundlegenden Steuerung Magischer Linsen

Die in Abschnitt 3.5 vorgestellten Interaktionskonzepte beschäftigen sich mit der Erstellung, Entfernung, Selektion, Translation, Duplikation und zum Teil mit der Skalierung Magischer Linsen. In Tabelle 2 sind die verwendeten Interaktionskontexte und -techniken der einzelnen Konzepte aufgelistet. Dieser Tabelle ist zu entnehmen, dass die Position des Cursors eine ausschlaggebende Rolle für die Interaktionen spielt. Lediglich bei Flick2Remove ist die Position des Cursors irrelevant. Wenn identische Interaktionstechniken, wie bei Hold2Create und Hold2Move, verwendet werden, bestimmt die Position des Cursors auf der Displaywand über die auszuführende Aktion. Bei Verwendung von Widgets4Parametrization ist vor der Erstellung einer neuen Linse die gewünschte Linsenfunktion über die Benutzerschnittstelle des Mobilgerätes einstellbar. Dies führt jedoch dazu, dass Nutzer ihren Blick von der Displaywand auf das Mobilgerät richten müssen. Hold2Move und Tap2Select ermöglichen eine WIMP ähnliche Interaktion mit den Magischen Linsen auf der Displaywand. Wie auf einem Desktop können Objekte durch einen einfachen Klick selektiert und mittels Drag&Drop verschoben werden. Diese Formen der

	Kontext		Interaktion	
	Displaywand-kontext	Mobilgeräte-kontext	Physische Interaktion	Touch-Interaktion
Hold2Create	Cursor nicht über einer Linse	Linsenfunktion ausgewählt ^a	Entferntes Zeigen (& Translation in Richtung der z-Achse)	Hold
Flick2Create	Cursor nicht über einer Linse	Linsenfunktion ausgewählt ^a	Entferntes Zeigen (& Translation in Richtung der z-Achse)	Flick nach oben
Tap2Select	Cursor über einer Linse: Selektion; Cursor nicht über einer Linse: Deselektion		Entferntes Zeigen	Tap
Hold2Move	Cursor über einer Linse		Entferntes Zeigen (& Translation in Richtung der z-Achse)	Hold
MoveOut2-Remove	Beginn: Cursor über einer Linse; Ende: Cursor außerhalb der Displaywand		Entferntes Zeigen	Hold
Flick2Remove	Linse selektiert			Flick nach unten
DoubleTap-2Duplicate	Cursor über einer Linse		Entferntes Zeigen	Double Tap
DoubleTap&-Hold2Duplicate	Cursor über einer Linse		Entferntes Zeigen (& Translation in Richtung der z-Achse)	Double Tap & Hold

Tabelle 2: Interaktionskontext und -technik der Konzepte zur grundlegenden Steuerung Magischer Linsen

^abei Verwendung von Widgets4Parametrization

Interaktionen erlauben Nutzern mit PC-Erfahrung eine intuitive Interaktion und direkte Manipulation [Shn83] der Magischen Linsen. Flick2Create und Flick2Remove nutzen entgegengesetzte Interaktionstechniken. Die Flickrichtungen entsprechen zudem der Aktionsrichtung. Wenn das Mobilgerät auf die Displaywand gerichtet wird, um die Cursorposition für die Linsenerstellung zu bestimmen, entspricht ein Flick nach oben einer Bewegung des Daumens in Richtung der Displaywand. Dies unterstreicht die Übertragung einer Linse auf die Displaywand. Analog dazu gleicht eine Flickbewegung nach unten dem „Ziehen“ der Linse von der Displaywand. Hold2Create und MoveOut2Remove verwenden unterdessen sogar die selbe Touchgeste zur Linsenerstellung und -entfernung. Möchten Nutzer eine Linse entfernen, bewegen sie diese durch MoveOut2Remove kurzerhand aus der Ansicht. MoveOut2Remove stellt auf diese Weise eine sehr intuitive Interaktion zur Verfügung. Bei Hold2Create, MoveOut2Remove und DoubleTap&Hold2Duplicate handelt es sich um Erweiterungen von Hold2Move. Durch all diese Interaktionen wird die Position der Linse bis zur Beendigung der Holdgeste durch die Orientierung des Mobilgerätes bestimmt. Insbesondere bei der Linsenerstellung und -duplizierung ist eine genaue Positionierung der Linse gewünscht. Die natürliche Abbildung der Distanz zur Displaywand auf die Größe der Linsenform gleicht dem Verhalten von Menschen bei der Betrachtung von Objekten. Menschen treten näher an Objekte heran, die sie genauer betrachten möchten. Um sich einen Überblick zu verschaffen, treten die Nutzer ein paar Schritte zurück. Entsprechend verändert sich die Größe der Linse um einen kleineren bzw. größeren Bereich zu untersuchen, wenn Nutzer die Linse mit Hold2Move oder ihren Erweiterungen positionieren. Dies geschieht jedoch nur wenn eine Holdgeste auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes ausgeführt wird. Somit können Nutzer auch näher an die Displaywand herantreten, um Details einer großen Linse zu betrachten ohne dabei die Größe der Linse zu beeinflussen. Diese Form der Linsenskalierung wurde explizit in die Linsenerstellung durch Hold2Create implementiert, da Nutzer in den meisten Fällen bei der Linsenerstellung die Größe der Linse bestimmen möchten (vgl. Vergrößerungslinse von Sadana und Strasko [SS14], *PushLens* von Schmidt et al. [SNDC10], *MultiLens* von Kister et al. [KRD16], *PhysicsLens* von Butscher et al. [BHR14]). Durch die Verwendung eines Double Taps zur Duplizierung einer Linse wird eine simple Interaktion verwendet, welche gleichzeitig durch das doppelte Ausführen einer Tapgeste die Aktion der Duplizierung unterstreicht.

5.1.2 Auswertung der Parametrisierungskonzepte

Das vorgestellte Konzept der Widgets4Parametrization stellt eine sehr klassische Form der Linsenparametrisierung dar. Auf dem Mobilgerät stehen klassische Steuerelemente zur Verfügung, um die diversen Linsenattribute einstellen zu können. Das Mobilgerät repräsentiert in diesem Fall eine Art Werkzeugkasten, mit welchem die derzeit selektierte Linse angepasst wird. Durch die Verfügbarkeit aller Linsenattribute auf dem Mobilgerät ist keine weitere Benutzerschnittstelle auf der Displaywand nötig. Somit bleibt die Ansicht der Informationsvisualisierung frei von störenden Elementen, wie Menüs oder Slidern. Durch diese Form der Linsenparametrisierung entsteht jedoch eine hohe Anzahl an Blickwechseln zwischen Displaywand und Mobilgerät. Nutzer müssen wieder-

holt auf das Mobilgerät blicken, um Linsenattribute einstellen zu können (ClassicParametrization). Wie Tabelle 3 zu entnehmen ist, sind auch Blickwechsel nötig wenn nicht ClassicParametrization sondern Tilt2Parametrize oder Swing2Parametrize zur Linsenparametrisierung eingesetzt wird, da das gewünschte Linsenattribut zunächst über einen Hold auf dem entsprechenden Button des Mobilgerätes ausgewählt werden muss. Die Parametrisierung durch Neigen bzw. Schwenken stellt jedoch eine intuitive Form der Interaktion dar. Sie ist dennoch nicht so locker wie einfache Drag- oder Flickgesten (VerticalDrag2Parametrize bzw. VerticalFlick2Parametrize) zur Parametrisierung. Zudem ermöglicht Widgets4Parametrization die Verbindung lediglich einer Linsenfunktion mit einer gewählten Linse.

Flick&Drag4Parametrization ermöglicht eine weniger fokussierte Interaktion mit Magischen Linsen. Durch die Darstellung des gewählten Linsenattributes oberhalb der Linsenform sind keine Blickwechsel zwischen Mobilgerät und Displaywand nötig. Auch diese Form der Linsenparametrisierung ermöglicht lediglich die Verbindung einer Linsenfunktion mit der selektierten Linse. Das Durchschalten der Linsenattribute ist durch einfache horizontale Flickgesten möglich, kann jedoch dazu führen, dass mehrere Flickgesten nacheinander ausgeführt werden müssen bis das gewünschte Attribut erscheint.

Die unterschiedlichen Varianten der RadialLensMenus hingegen ermöglichen einen direkten Zugriff auf das gewünschte Linsenattribut durch CircularPointing2Navigate oder CircularDrag2Navigate. Hierzu müssen die Dragbewegungen auf dem Daumen nicht tatsächlich kreisförmig sein. Auch eine Draggeste in Richtung des gewünschten Menüelementes ermöglicht eine Auswahl. Insbesondere erfahrenere Nutzer können somit schnell auf gewisse Linsenattribute zugreifen, wenn sie sich deren Position im Radialmenü merken. Auch das RingMenu4Parametrization bietet diesen Vorteil. Ein Nachteil der Radialmenüs ist jedoch die kurzzeitige Überdeckung des Linsenfokus. Das RingMenu4Parametrization besitzt diesen Nachteil nicht, jedoch wird entsprechend Platz außerhalb der Linsenform in Anspruch genommen, was insbesondere in kollaborativen Szenarien zu Problemen führen kann. Durch das Ringmenü könnten beispielsweise die Linsenformen anderer Nutzer überdeckt werden. Sowohl das CrossMenu4Parametrization als auch das ReducedMenu4Parametrization erlauben im Gegensatz zum RichMenu4Parametrization sowie RingMenu4Parametrization lediglich die Verbindung einer Linsenfunktion mit der selektierten Linse. Im Fall des RichMenu4Parametrization leidet jedoch die Darstellung des Menüs und Möglichkeit der Navigation mit steigender Anzahl der Linsenfunktionen. Auch die Darstellung der Untermenüs der Radialmenüs kann unter Umständen zur Verwirrung der Nutzer führen. Die Untermenüs werden an der selben Position und in der selben Größe dargestellt. Dies führt möglicherweise dazu, dass Nutzer nicht wissen innerhalb welcher Hierarchieebene sie sich befinden. Im RingMenu4Parametrization hingegen existiert lediglich ein Hauptmenü mit distinkten Untermenüs neben dem entsprechenden Menüelement. Dies führt jedoch zu dem vorher angesprochenen Platzproblem im Raum um die Linsenform. Die Auswahl des zu parametrisierenden Linsenattributes bedarf bei Verwendung des CrossMenu4Parametrization der wenigsten Interaktionsschritte. Mit einem Flick in einer der vier Richtungen wird das entsprechende Linsenmenü geöffnet. Nachfolgende wird das gewünschte Attribut entweder durch CircularPointing2Navigate oder CircularDrag2Navigate ausgewählt. Die selbe Aufgabe ist sowohl im ReducedMenu-

	Kontext		Interaktion	
	Displaywand-kontext	Mobilgeräte-kontext	Physische Interaktion	Touch-Interaktion
ClassicParametrization	Linse selektiert	Linsenattribut ausgewählt ^a		Tap oder Drag
Tilt2Parametrize	Linse selektiert; Linsenattribut ausgewählt ^b	Linsenattribut ausgewählt ^a	Vertikale Rotation um die z-Achse	Hold
Swing2Parametrize	Linse selektiert; Linsenattribut ausgewählt ^b	Linsenattribut ausgewählt ^a	Horizontale Translation entlang der x-Achse	Hold
VerticalDrag2-Parametrize	Linse selektiert; Linsenattribut ausgewählt	Linsenattribut ausgewählt ^a		Vertikaler Drag
VerticalFlick2-Parametrize	Linse selektiert; Linsenattribut ausgewählt	Linsenattribut ausgewählt ^a		Vertikaler Flick
Circular-Pointing-2Navigate	Linse selektiert; Menü geöffnet		Entferntes Zeigen	Tap
CircularDrag-2Navigate	Linse selektiert; Menü geöffnet			Drag
Flick2Load		gespeicherte Linse ausgewählt		Flick nach oben
Flick2Delete		gespeicherte Linse ausgewählt		Flick nach unten
HoldUp2Show			Vertikale Rotation um die x-Achse; Mobilgerät in senkrechter Orientierung, parallel zur Displaywand	

Tabelle 3: Interaktionskontext und -technik der Konzepte zur Parametrisierung Magischer Linsen

^abei Verwendung von Widgets4Parametrization

^bbei Verwendung von ReducedMenu4Parametrization oder RichMenu4Parametrization

4Parametrization als auch im RichMenu4Parametrization mit 3 Interaktionsschritten durchführbar. Um ein Linsenattribut mit dem RingMenu4Parametrization auszuwählen sind bis zu 5 Interaktionsschritte nötig. Zuerst wird das Linsenmenü mit einem Double Tap geöffnet. Befindet sich der Nutzer in einem der Untermenüs, da eine vorherige Parametrisierung eines anderen Linsenattributes stattgefunden hat, so ist ein zusätzlicher Tap nötig, um in das Hauptmenü zu gelangen. Nachfolgend wird der entsprechende Menüpunkt durch CircularPointing2Navigate oder CircularDrag2Navigate ausgewählt und die Auswahl mit einem Tap bestätigt. Ist der erste Parameter nicht der gewünschte, müssen weitere vertikale horizontale Flicks zur Auswahl durchgeführt werden. Jedoch wird die Position innerhalb des RingMenu4Parametrization beim erneuten Aufrufen des Ringmenüs gespeichert. Dies ermöglicht eine schnelle Nachjustierung von Parametern, führt jedoch auch dazu, dass mehr Interaktionsschritte nötig sind um beispielsweise einen Parameter einer anderen Linsenfunktion zu verändern. Das RingMenu4Parametrization könnte theoretisch immer am Rand der Linse dargestellt werden, da es den Linsenfokus nicht überdeckt. Es nimmt jedoch sehr viel Platz auf der Displaywand ein, um auch aus größeren Entfernungen bedienbar zu bleiben. Daher ist es wichtig, dass das Menü zu jeder Zeit wieder geschlossen werden kann. Analog zum Flick&Drag4Parametrization sind sämtliche Radialmenüs und das RingMenu4Parametrization zu bedienen ohne das Mobilgerät betrachten zu müssen. Das Mobilgerät fungiert in diesem Fall lediglich als eine Zeigegeät, um die Position des Cursors zu bestimmen oder die mittels CircularPointing2Navigate einen Menüpunkt auszuwählen. Durch den Fokus auf die Displaywand erhalten Nutzer durchgehend visuelles Feedback über die Auswirkungen ihrer Aktionen.

Die Ansicht der gespeicherten Linsen kann über einen separaten Button auf dem Mobilgerät oder mittels HoldUp2Show aufgerufen werden. HoldUp2Show sorgt dafür, dass Nutzer das Mobilgerät in einer senkrechten Orientierung, parallel zur Displaywand vor sich halten müssen. Auf diese Weise können sie die Liste der gespeicherten Linsen einsehen und haben dahinter einen Blick auf die Displaywand, auf welcher eine Vorschau der aktuellen Linse dargestellt wird. HoldUp2Show ist unabhängig vom jeweiligen Interaktionskontext und kann zu jeder Zeit ausgeführt werden. Rufen Nutzer die Liste der gespeicherten Linse über den entsprechenden Button auf dem Mobilgerät auf, so haben sie die Möglichkeit die gespeicherten Linsen einzusehen ohne andere Nutzer durch die Vorschau zu stören. Die beiden Interaktionsmöglichkeiten bieten demzufolge sowohl eine private als auch eine öffentliche Betrachtung der Linsen. Flick2Load und Flick2Delete stellen gegensätzliche Interaktionen dar und verhalten sich wie Flick2Create bzw. Flick2Remove (siehe Abschnitt 5.1.1). Das Laden von gespeicherten Linsen kann nicht über eines der vorgestellten Linsenmenüs geschehen, da das Linsenmenü der Parametrisierung einer selektierten Linse auf der Displaywand dient. Ein Menüpunkt zum Laden anderer Linsen im Linsenmenü der aktiven Linse ist nicht intuitiv und würde womöglich zur Verwirrung der Nutzer führen. Aus diesem Grund geschieht das Laden gespeicherter Linsen über einen Button auf dem Mobilgerät oder mittels HoldUp2Show. Ein zusätzlicher Button zum Laden gespeicherter Linsen auf dem Bildschirm des Mobilgerätes verstärkt zusätzlich das Konzept, dass sich die Linsen auf dem privaten Mobilgerät des Nutzers befinden.

5.1.3 Auswertung der speziellen Interaktionskonzepte

Die speziellen Interaktionskonzepte dienen als Ergänzung der bereits vorgestellten Konzepte und sind an erfahrene Nutzer gerichtet, um diesen Shortcuts für gewisse Aktionen in die Hand zu geben. In Tabelle 4 sind die jeweiligen Interaktionskontexte und -techniken der einzelnen Konzepte aufgelistet. Throw2Create stellt eine komplexe Interaktion für die einfache Aufgabe des Linsenerstellens dar. Zudem ist die Bestimmung der Position durch eine Wurfgeste schwierig. Insbesondere bei Verwendung der RadialLens-Menu bietet Hold&Drag2Create Expertenanwendern eine schnelle Möglichkeit während der Erstellung die Linse mit einer Linsenfunktion zu verbinden. Jedoch stehen nur vier Richtungen und somit vier mögliche Linsenfunktionen zur Verfügung. Linsenfunktionen, die keinen solchen Shortcut besitzen, können dementsprechend nicht aktiviert werden. Die meist verwendeten Linsenfunktionen können jedoch so sehr schnell zugänglich gemacht werden. Da sich Nutzer die Richtungen der Linsenfunktionen merken müssen, ist diese Interaktion ausschließlich an Expertenanwender gerichtet. Stack2Combine ermöglicht analog zur MultiLens von Kister et al. [KRD16] eine intuitive Möglichkeit der Linsenfunktionskombination. Jedoch ist es somit nicht mehr möglich eine kleine Linse innerhalb einer größeren zu platzieren, um lediglich einen Teilbereich näher zu untersuchen. CircularDrag2Rotate und CircularPointing2Rotate sind auf ein sehr spezielles Linsenattribut zugeschnitten und bieten eine natürlichere Interaktion. Diese Formen der Interaktion führen aber zu einem Bruch mit den restlichen Interaktionen zur Parametrisierung von Linsenattributen und womöglich zur Verwirrung der Nutzer. Weiterhin ist zu klären, wie Nutzern die Möglichkeit dieser Interaktion bei diesem sehr speziellen Attribut klar zu machen ist. Auch für das Attribut der Linsengröße stehen mit Hold&Tilt2Scale, Drag2Scale und Flick2Scale redundante Interaktionen zur Verfügung. Hold&Tilt2Scale ermöglicht eine gleichzeitige Translation sowie Rotation der Magischen Linse durch eine einfache Touchgeste, entferntes Zeigen sowie geringe Bewegung des Mobilgerätes. Es sind keine großen Bewegungen von Nutzern vor der Displaywand nötig, um die Linse zu skalieren. Jedoch ist davon auszugehen, dass die Linse durch eine zusätzliche Neigung des Mobilgerätes unruhig wackeln wird. Drag2Scale und Flick2Scale ermöglichen hingegen eine Linsenskalierung ohne Translation durch simple Touchgesten. Diese Interaktionen sind auf ein spezielles Linsenattribut zugeschnitten. Aus diesem Grund ist ein geeigneter Interaktionskontext nötig.

5.2 Auswertung des Prototypen

Für den finalen Prototypen wurde Hold2Create anstelle von Flick2Create eingesetzt, da diese Interaktion eine gleichzeitige Linsenerstellung, -translation und -skalierung erlaubt. Des Weiteren wurde das RingMenu4Parametrization implementiert, da es sowohl den Interessenfokus der Linse nie überdeckt, mehrerer Linsenfunktionen erlaubt und keinerlei Blickwechsel zwischen Displaywand und Mobilgerät nötig sind. Die Implementierung unterstützt jedoch lediglich eine Linsenform, da die Form des Linsenmenüs nur an kreisförmige Linsen angepasst wurde. Jedoch sind kreisförmige Linsen für viele Anwendungsfälle ausreichend. Mit dem Prototypen wurde sowohl CircularPointing2Navigate als auch

	Kontext		Interaktion	
	Displaywand-kontext	Mobilgeräte-kontext	Physische Interaktion	Touch-Interaktion
Flip2Lock	Linse selektiert		Umdrehen	
Shake2Activate	Linse selektiert		Schüttelgeste	
Throw2Create		Linsenfunktion ausgewählt ^a	Wurfgeste	
Hold&Drag2-Create	Cursor nicht über einer Linse		Entferntes Zeigen (& Translation in Richtung der z-Achse)	Hold & Drag
Stack2Combine	Beginn: Linse selektiert; Ende: Cursor über einer Linse		Entferntes Zeigen	Hold
CircularDrag2-Rotate	Linse selektiert; Attribute Orientierung selektiert	Attribute Orientierung selektiert ^a		Drag
Circular-Pointing2-Rotate	Linse selektiert; Attribute Orientierung selektiert	Attribute Orientierung selektiert ^a	Entferntes Zeigen	
Drag2Scale	Linse selektiert	Linse selektiert ^a		Horizontaler Drag oder vertikaler Drag
Flick2Scale	Linse selektiert	Linse selektiert ^a		Horizontaler Flick oder vertikaler Flick
Hold&Tilt2-Scale	Linse selektiert		Vertikale Rotation um die z-Achse (& Entferntes Zeigen)	Hold

Tabelle 4: Interaktionskontext und -technik der speziellen Interaktionskonzepte

^abei Verwendung von Widgets4Parametrization

CircularDrag2Navigate getestet. Es war festzustellen, dass die Verwendung von CircularDrag2Navigate eine lockerere Interaktion ermöglichte. Des Weiteren ist diese Form der Interaktion nicht auf Zeigegesten mit dem Mobilgerät angewiesen, wodurch Nutzer das Mobilgerät während der Menünavigation locker an der Seite des Körpers halten können. Es ist davon auszugehen, dass die Bereitstellung beider Interaktionsmöglichkeiten der Menünavigation zur Verwirrung der Nutzer führen kann. Eine genaue Unterscheidung der einzelnen Touchgesten auf dem Touch-Interaktionsbereich des Mobilgerätes ist essentiell. Insbesondere die Unterscheidung von Hold- und Draggesten sowie Tap- und Flickgesten war nicht in jedem Fall erfolgreich. Für eine genaue Unterscheidung sind die entsprechenden Holdzeiten und Dragdistanzen so zu optimieren, dass die Anzahl der Fehler bei der Gestenerkennung minimal sind. Die Herausforderung besteht darin, dass die Gesten möglichst exakt erkannt werden, aber dennoch intuitiv durchführbar sind. Für den Prototypen wurde auf jeglichen Mobilgerätekontext verzichtet. Somit ist es für Nutzer nicht nötig, ihren Blick auf das Mobilgerät zu richten. Alle Interaktionen sind abhängig vom Kontext der Displaywand (ist eine Linse selektiert, das Menü geöffnet, etc.).

In Bezug auf die in Abschnitt 3.1 vorgestellten Anwendungsfälle soll im Folgenden beispielhaft die Lösung einer der möglichen Aufgaben durch den finalen Prototypen dargelegt werden. Um zu identifizieren, welche Lager innerhalb einer Distributionslogistik nicht vollständig ausgenutzt sind (A 1.1), erstellen Nutzer eine Linse und skalieren diese durch Hold2Create. Nach der Erstellung der Linse ist der Attributfilter zu aktivieren, das Attribut der Lagerauslastung zu wählen und der Schwellenwert einzustellen. Diese Einstellungen können wie in Abschnitt 3.6.4 beschrieben nacheinander getätigt werden. Um anschließend herauszufinden, warum ein Lager nicht vollständig ausgelastet ist, kann eine Linse über dem entsprechenden Knoten im Graphen erstellt werden und der BringNeighborsFilter aktiviert werden. Durch die zusätzliche Aktivierung des DetailLevelFilter können die Attribute der Nachbarn genauer untersucht werden. Somit sind beispielsweise potentielle Fertigungsschwierigkeiten in Produktionsstätten identifizierbar.

5.3 Fazit

Mit der in dieser Arbeit vorgestellten prototypischen Realisierung des RingMenu4Parametrization ist es Nutzern in kollaborativen Szenarien möglich, Magische Linsen auf einer Displaywand mithilfe eines begrenzten Interaktionsvokabulars zu steuern und parametrisieren. Bekannte Interaktionsmetaphern ermöglichen hierbei eine lockere und intuitive Bedienung. Zudem wurde auf eine Konsistenz der Gesten geachtet. So wird eine Holdgeste beispielsweise immer auch zur Verschiebung von Linsen verwendet. Durch die Mehrfachbelegung einer Geste in Abhängigkeit vom derzeitigen Displaywandkontext wird die Verwendung eines reduzierten Interaktionsvokabulars ermöglicht. Die Begrenzung des Interaktionsvokabulars auf wenige Touchgesten und physische Interaktionen dient der Reduzierung der Interaktionskomplexität. Die Bedienung des Prototypen soll locker und intuitiv funktionieren. Große, komplexe Bewegungen des Mobilgerätes oder komplexe Gesten auf dem Touch-Interaktionsbereich würden diese stören. Zudem müssten Nut-

zer sich die komplexen Gestenkombinationen merken. Inwiefern eine einfache Bedienung mehrere Magischer Linsen durch mehrere Nutzer mit der prototypischen Realisierung der ausgewählten Konzepte möglich ist, sei in einer empirischen Studie zu evaluieren. Zur Bedienung wird lediglich der Daumen und die Position sowie Orientierung des Mobilgerätes verwendet. Das Ziel dieser Arbeit war es, eine große Bandbreite an Interaktionsmöglichkeiten zur Steuerung und Parametrisierung Magischer Linsen zu untersuchen. Es wurden unterschiedliche Ansätze mit komplexen Interaktionen und einer großen Menge an Steuerelementen auf dem Mobilgerät bis zu lockeren Interaktionen mit einer minimalen Anzahl an Steuerelementen auf dem Mobilgerät vorgestellt. Durch die Erarbeitung der Interaktionskonzepte hat sich herausgestellt, dass eine lockere Bedienung Magischer Linsen durch ein Mobilgerät mit einer geringen Anzahl an Blickwechsell zwischen Mobilgerät und Displaywand nicht ohne irgendeine Form von Linsenmenü auf der Displaywand realisierbar ist. Aus diesem Grund wurden in Abschnitt 3.6 mehrere Varianten von Linsenmenüs präsentiert. Größtenteils wurde auf eine spezielle Positionierung des Mobilgerätes im Raum verzichtet, um die Interaktionen möglichst locker und intuitiv zu halten. Das implementierte RingMenu4Parametrization ermöglicht eine Linsenparametrisierung, bei welcher zu jeder Zeit der Linsenfokus im Blick der Nutzer bleibt. Zudem ermöglicht das Ringmenü die Anwendung mehrere Linsenfunktionen innerhalb einer Linse. Die Größe des eingenommenen Platzes im Bereich um das Ringmenü kann jedoch insbesondere in kollaborativen Szenarien zu Problemen führen. Auch die Anzahl der Interaktionsschritte zur Auswahl eines Linsenattributes ist in sämtlichen anderen Menükonzepten geringer. Dennoch ist ein erheblicher Mehrwert durch den permanent sichtbaren Interessensfokus gegeben. Um den Raum vor der Displaywand komplett auszunutzen ist eine Erweiterung der vorgestellten Konzepte im Sinne der Proxemics [GMB⁺11] vorstellbar. Wenn Nutzer beispielsweise an die Displaywand herantreten können sie die Magischen Linsen direkt per Toucheingaben parametrisieren. Dies ist zum Teil durch den Prototypen bereits implementiert. So sind die dargestellten Slider des Ringmenüs zusätzlich durch Draggesten auf der Displaywand einstellbar.

Durch den Einsatz einer globalen Linse (vgl. ColorLens von Elmqvist et al. [EDF11]) kann die visuelle Informationssuche [Shn96] unterstützt werden. Insbesondere eine erste Filterung des gesamten Informationsraumes kann dabei behilflich sein, lokale Interessenspunkte zu identifizieren, auf welchen im nächsten Schritt lokale Linsen angewandt werden. Aus diesem Grund wurden weiterführende Konzepte, wie die globale Linse vorgestellt, welche für die visuelle Informationssuche hilfreich sein könnten.

Literatur

- [AACP14] ALVINA, Jessalyn ; APPERT, Caroline ; CHAPUIS, Olivier ; PIETRIGA, Emmanuel: RouteLens: Easy Route Following for Map Applications. In: *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (AVI '14). – ISBN 978-1-4503-2775-6, 125-128
- [ACP10] APPERT, Caroline ; CHAPUIS, Olivier ; PIETRIGA, Emmanuel: High-precision Magnification Lenses. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (CHI '10). – ISBN 978-1-60558-929-9, 273-282
- [ASKS13] ALT, Florian ; SHIRAZI, Alireza S. ; KUBITZA, Thomas ; SCHMIDT, Albrecht: Interaction Techniques for Creating and Exchanging Content with Public Displays. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (CHI '13). – ISBN 978-1-4503-1899-0, 1709-1718
- [BAB⁺07] BORING, Sebastian ; ALTENDORFER, Manuela ; BROLL, Gregor ; HILLIGES, Otmar ; BUTZ, Andreas: Shoot & Copy: Phonecam-based Information Transfer from Public Displays Onto Mobile Phones. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems and the 1st International Symposium on Computer Human Interaction in Mobile Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2007 (Mobility '07). – ISBN 978-1-59593-819-0, 24-31
- [BBB⁺10] BORING, Sebastian ; BAUR, Dominikus ; BUTZ, Andreas ; GUSTAFSON, Sean ; BAUDISCH, Patrick: Touch Projector: Mobile Interaction Through Video. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (CHI '10). – ISBN 978-1-60558-929-9, 2287-2296
- [BBF12] BAUR, Dominikus ; BORING, Sebastian ; FEINER, Steven: Virtual Projection: Exploring Optical Projection As a Metaphor for Multi-device Interaction. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (CHI '12). – ISBN 978-1-4503-1015-4, 1693-1702
- [BHR14] BUTSCHER, Simon ; HORNBÆK, Kasper ; REITERER, Harald: SpaceFold and PhysicLenses: Simultaneous Multifocus Navigation on Touch Surfaces. In: *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (AVI '14). – ISBN 978-1-4503-2775-6, 209-216

- [BNB07] BALL, Robert ; NORTH, Chris ; BOWMAN, Doug A.: Move to Improve: Promoting Physical Navigation to Increase User Performance with Large Displays. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2007 (CHI '07). – ISBN 978-1-59593-593-9, 191-200
- [BOP⁺14] BORTOLASO, Christophe ; OSKAMP, Matthew ; PHILLIPS, Greg ; GUTWIN, Carl ; GRAHAM, T.C. N.: The Effect of View Techniques on Collaboration and Awareness in Tabletop Map-Based Tasks. In: *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (ITS '14). – ISBN 978-1-4503-2587-5, 79-88
- [Bra11] *Code Space: Combining Touch, Devices, and Skeletal Tracking to Support Developer Meetings*. ACM, November 2011
- [BRL09] BERTINI, Enrico ; RIGAMONTI, Maurizio ; LALANNE, Denis: Extended Excentric Labeling. In: *Computer Graphics Forum* 28 (2009), Nr. 3, 927-934. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01456.x>. – DOI 10.1111/j.1467-8659.2009.01456.x. – ISSN 1467-8659
- [BRS05] BALLAGAS, Rafael ; ROHS, Michael ; SHERIDAN, Jennifer G.: Sweep and Point and Shoot: Phonecam-based Interactions for Large Public Displays. In: *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2005 (CHI EA '05). – ISBN 1-59593-002-7, 1200-1203
- [BSF⁺94] BIER, Eric A. ; STONE, Maureen C. ; FISHKIN, Ken ; BUXTON, William ; BAUDEL, Thomas: A Taxonomy of See-through Tools. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 1994 (CHI '94). – ISBN 0-89791-650-6, 358-364
- [BSP⁺93] BIER, Eric A. ; STONE, Maureen C. ; PIER, Ken ; BUXTON, William ; DEROSE, Tony D.: Toolglass and Magic Lenses: The See-through Interface. In: *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA : ACM, 1993 (SIGGRAPH '93). – ISBN 0-89791-601-8, 73-80
- [CBF14] CHAPUIS, Olivier ; BEZERIANOS, Anastasia ; FRANTZESKAKIS, Stelios: Smarties: An Input System for Wall Display Development. In: *Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (CHI '14). – ISBN 978-1-4503-2473-1, 2763-2772
- [CM01] CARPENDALE, M. S. T. ; MONTAGNESE, Catherine: A Framework for Unifying Presentation Space. In: *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2001 (UIST '01). – ISBN 1-58113-438-X, 61-70

- [CMS05] CARD, Stuart K. ; MACKINLAY, Jock D. ; SHNEIDERMAN, Ben: *Readings in information visualization : using vision to think*. Nachdruck. San Francisco, Calif. [u.a.] : Morgan Kaufmann, 2005 http://slubdd.de/katalog?TN_libero_mab214264102. – ISBN 1558605339
- [DB09] DACHSELT, Raimund ; BUCHHOLZ, Robert: Natural Throw and Tilt Interaction Between Mobile Phones and Distant Displays. In: *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2009 (CHI EA '09). – ISBN 978-1-60558-247-4, 3253-3258
- [DE11] In: DELLER, Matthias ; EBERT, Achim: *ModControl – Mobile Phones as a Versatile Interaction Device for Large Screen Applications*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2011. – ISBN 978-3-642-23771-3, 289-296
- [EDF11] ELMQVIST, N. ; DRAGICEVIC, P. ; FEKETE, J. D.: Color Lens: Adaptive Color Scale Optimization for Visual Exploration. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 17 (2011), June, Nr. 6, S. 795-807. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2010.94>. – DOI 10.1109/TVCG.2010.94. – ISSN 1077-2626
- [GK99] GREENBERG, Saul ; KUZUOKA, Hideaki: Using digital but physical surrogates to mediate awareness, communication and privacy in media spaces. In: *Personal Technologies* 3 (1999), Nr. 4, 182-198. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01540552>. – DOI 10.1007/BF01540552. – ISSN 1617-4917
- [GMB⁺11] GREENBERG, Saul ; MARQUARDT, Nicolai ; BALLENDAT, Till ; DIAZ-MARINO, Rob ; WANG, Miaosen: Proxemic Interactions: The New Ubicomp? In: *interactions* 18 (2011), Januar, Nr. 1, 42-50. <http://dx.doi.org/10.1145/1897239.1897250>. – DOI 10.1145/1897239.1897250. – ISSN 1072-5520
- [GSE⁺14] GLADISCH, S. ; SCHUMANN, H. ; ERNST, M. ; FÜLLEN, G. ; TOMINSKI, C.: Semi-Automatic Editing of Graphs with Customized Layouts. In: *Computer Graphics Forum* 33 (2014), Nr. 3, 381-390. <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.12394>. – DOI 10.1111/cgf.12394. – ISSN 1467-8659
- [GVVR05] In: GROLAUX, Donatien ; VANDERDONCKT, Jean ; VAN ROY, Peter: *Attach Me, Detach Me, Assemble Me Like You Work*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2005. – ISBN 978-3-540-31722-7, 198-212
- [Hal66] HALL, Edward T.: *The hidden dimension*. (1966)
- [HRIG09] In: HASSAN, Nabeel ; RAHMAN, Md. M. ; IRANI, Pourang ; GRAHAM, Peter: *Chucking: A One-Handed Document Sharing Technique*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009. – ISBN 978-3-642-03658-3, 264-278

- [HTE11] HURTER, C. ; TELEA, A. ; ERSOY, O.: MoleView: An Attribute and Structure-Based Semantic Lens for Large Element-Based Plots. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 17 (2011), Dec, Nr. 12, S. 2600–2609. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2011.223>. – DOI 10.1109/TVCG.2011.223. – ISSN 1077–2626
- [JGH⁺08] JACOB, Robert J. ; GIROUARD, Audrey ; HIRSHFIELD, Leanne M. ; HORN, Michael S. ; SHAER, Orit ; SOLOVEY, Erin T. ; ZIGELBAUM, Jamie: Reality-based Interaction: A Framework for post-WIMP Interfaces. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (CHI '08). – ISBN 978–1–60558–011–1, 201–210
- [JH12] JAKOBSEN, Mikkel R. ; HORNBAEK, Kasper: Proxemics for Information Visualization on Wall-Sized Displays. (2012)
- [JH15] JAKOBSEN, Mikkel R. ; HORNBAEK, Kasper: Is Moving Improving?: Some Effects of Locomotion in Wall-Display Interaction. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2015 (CHI '15). – ISBN 978–1–4503–3145–6, 4169–4178
- [JHKH13] JAKOBSEN, M. R. ; HAILE, Y. S. ; KNUDSEN, S. ; HORNBAEK, K.: Information Visualization and Proxemics: Design Opportunities and Empirical Findings. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19 (2013), Dec, Nr. 12, S. 2386–2395. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2013.166>. – DOI 10.1109/TVCG.2013.166. – ISSN 1077–2626
- [JOG⁺15] JOKELA, Tero ; OJALA, Jarno ; GRASSEL, Guido ; PIIPPO, Petri ; OLSSON, Thomas: A Comparison of Methods to Move Visual Objects Between Personal Mobile Devices in Different Contexts of Use. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, NY, USA : ACM, 2015 (MobileHCI '15). – ISBN 978–1–4503–3652–9, 172–181
- [JOMS06] JIANG, Hao ; OFEK, Eyal ; MORAVEJI, Neema ; SHI, Yuanchun: Direct Pointer: Direct Manipulation for Large-display Interaction Using Handheld Cameras. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (CHI '06). – ISBN 1–59593–372–7, 1107–1110
- [KAP11] KÄSER, Dominik P. ; AGRAWALA, Maneesh ; PAULY, Mark: FingerGlass: Efficient Multiscale Interaction on Multitouch Screens. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (CHI '11). – ISBN 978–1–4503–0228–9, 1601–1610

- [KCJ⁺10] KARNICK, P. ; CLINE, D. ; JESCHKE, S. ; RAZDAN, A. ; WONKA, P.: Route Visualization Using Detail Lenses. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 16 (2010), March, Nr. 2, S. 235–247. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2009.65>. – DOI 10.1109/TVCG.2009.65. – ISSN 1077–2626
- [KI13] KEEFE, D. F. ; ISENBERG, T.: Reimagining the Scientific Visualization Interaction Paradigm. In: *Computer* 46 (2013), May, Nr. 5, S. 51–57. <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2013.178>. – DOI 10.1109/MC.2013.178. – ISSN 0018–9162
- [KRD16] KISTER, Ulrike ; REIPSCHLÄGER, Patrick ; DACHSELT, Raimund: MultiLens: Fluent Interaction with Multi-Functional Multi-Touch Lenses for Information Visualization. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*. New York, NY, USA : ACM, 11 2016. – ISBN 978–1–4503–4248–3
- [KRMD15] KISTER, Ulrike ; REIPSCHLÄGER, Patrick ; MATULIC, Fabrice ; DACHSELT, Raimund: BodyLenses – Embodied Magic Lenses and Personal Territories for Wall Displays. In: *Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM, 11 2015. – ISBN 978–1–4503–3899–8, 117–126
- [KTW⁺13] KRÜGER, Robert ; THOM, Dennis ; WÖRNER, Michael ; BOSCH, Harald ; ERTL, Thomas: TrajectoryLenses – A Set-based Filtering and Exploration Technique for Long-term Trajectory Data. In: *Computer Graphics Forum* 32 (2013), Nr. 3pt4, 451–460. <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.12132>. – DOI 10.1111/cgf.12132. – ISSN 1467–8659
- [LJR⁺13] LEIGH, J. ; JOHNSON, A. ; RENAMBOT, L. ; PETERKA, T. ; JEONG, B. ; SANDIN, D. J. ; TALANDIS, J. ; JAGODIC, R. ; NAM, S. ; HUR, H. ; SUN, Y.: Scalable Resolution Display Walls. In: *Proceedings of the IEEE* 101 (2013), Jan, Nr. 1, S. 115–129. <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2012.2191609>. – DOI 10.1109/JPROC.2012.2191609. – ISSN 0018–9219
- [LS13] In: LEHMANN, Anke ; STAADT, Oliver: *Distance-Aware Bimanual Interaction for Large High-Resolution Displays*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013. – ISBN 978–3–642–38241–3, 97–111
- [LZH⁺16] In: LANGNER, Ricardo ; ZADOW, Ulrich von ; HORAK, Tom ; MITSCHICK, Annett ; DACHSELT, Raimund: *Content Sharing Between Spatially-Aware Mobile Phones and Large Vertical Displays Supporting Collaborative Work*. Cham : Springer International Publishing, 2016. – ISBN 978–3–319–45853–3, 75–96

- [MBB⁺12] MARQUARDT, Nicolai ; BALLENDAT, Till ; BORING, Sebastian ; GREENBERG, Saul ; HINCKLEY, Ken: Gradual Engagement: Facilitating Information Exchange Between Digital Devices As a Function of Proximity. In: *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (ITS '12). – ISBN 978-1-4503-1209-7, 31-40
- [MBN⁺02] MYERS, Brad A. ; BHATNAGAR, Rishi ; NICHOLS, Jeffrey ; PECK, Choon H. ; KONG, Dave ; MILLER, Robert ; LONG, A. C.: Interacting at a Distance: Measuring the Performance of Laser Pointers and Other Devices. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2002 (CHI '02). – ISBN 1-58113-453-3, 33-40
- [NCP⁺13] NANCEL, Mathieu ; CHAPUIS, Olivier ; PIETRIGA, Emmanuel ; YANG, Xing-Dong ; IRANI, Pourang P. ; BEAUDOUIN-LAFON, Michel: High-precision Pointing on Large Wall Displays Using Small Handheld Devices. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (CHI '13). – ISBN 978-1-4503-1899-0, 831-840
- [Nor13] NORMAN, Donald A.: *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic books, 2013
- [NSS⁺06] NI, Tao ; SCHMIDT, G. S. ; STAADT, O. G. ; LIVINGSTON, M. A. ; BALL, R. ; MAY, R.: A Survey of Large High-Resolution Display Technologies, Techniques, and Applications. In: *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, 2006. – ISSN 1087-8270, S. 223-236
- [PD10] PREIM, Bernhard ; DACHSELT, Raimund: *Interaktive Systeme Band 1: Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2010 http://slubdd.de/katalog?TN_libero_mab214755995. – ISBN 9783642054020
- [PD15] PREIM, Bernhard ; DACHSELT, Raimund: *Interaktive Systeme Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces*. 2. Auflage 2015. Berlin, Heidelberg : Springer Vieweg, 2015 [http://slubdd.de/katalog?TN_libero_mab22\)500196764](http://slubdd.de/katalog?TN_libero_mab22)500196764). – ISBN 9783642452475
- [PMS13] POHL, Henning ; MURRAY-SMITH, Roderick: Focused and Casual Interactions: Allowing Users to Vary Their Level of Engagement. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (CHI '13). – ISBN 978-1-4503-1899-0, 2223-2232
- [PNB09] PECK, S. M. ; NORTH, C. ; BOWMAN, D.: A multiscale interaction technique for large, high-resolution displays. In: *2009 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, 2009, S. 31-38

- [PPCP12] PINDAT, Cyprien ; PIETRIGA, Emmanuel ; CHAPUIS, Olivier ; PUECH, Claude: JellyLens: Content-aware Adaptive Lenses. In: *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (UIST '12). – ISBN 978-1-4503-1580-7, 261-270
- [RCBBL07] RAMOS, Gonzalo ; COCKBURN, Andy ; BALAKRISHNAN, Ravin ; BEAUDOUIN-LAFON, Michel: Pointing Lenses: Facilitating Stylus Input Through Visual-and Motor-space Magnification. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2007 (CHI '07). – ISBN 978-1-59593-593-9, 757-766
- [Rek98] REKIMOTO, Jun: A Multiple Device Approach for Supporting Whiteboard-based Interactions. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1998 (CHI '98). – ISBN 0-201-30987-4, 344-351
- [RJBR13] RÄDLE, Roman ; JETTER, Hans-Christian ; BUTSCHER, Simon ; REITERER, Harald: The Effect of Egocentric Body Movements on Users' Navigation Performance and Spatial Memory in Zoomable User Interfaces. In: *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (ITS '13). – ISBN 978-1-4503-2271-3, 23-32
- [RKHQ11] RASHID, Umar ; KAUKO, Jarmo ; HÄKKILÄ, Jonna ; QUIGLEY, Aaron: Proximal and Distal Selection of Widgets: Designing Distributed UI for Mobile Interaction with Large Display. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (MobileHCI '11). – ISBN 978-1-4503-0541-9, 495-498
- [RLE05] In: RYALL, Kathy ; LI, Qing ; ESENTER, Alan: *Temporal Magic Lens: Combined Spatial and Temporal Query and Presentation*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2005. – ISBN 978-3-540-31722-7, 809-822
- [SB92] SARKAR, Manojit ; BROWN, Marc H.: Graphical Fisheye Views of Graphs. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 1992 (CHI '92). – ISBN 0-89791-513-5, 83-91
- [SB94] SARKAR, Manojit ; BROWN, Marc H.: Graphical Fisheye Views. In: *Commun. ACM* 37 (1994), Dezember, Nr. 12, 73-83. <http://dx.doi.org/10.1145/198366.198384>. – DOI 10.1145/198366.198384. – ISSN 0001-0782
- [SBR13] In: SEIFERT, Julian ; BAYER, Andreas ; RUKZIO, Enrico: *PointerPhone: Using Mobile Phones for Direct Pointing Interactions with Remote Displays*.

Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013. – ISBN 978–3–642–40477–1, 18–35

- [SBY⁺06] SHUPP, Lauren ; BALL, Robert ; YOST, Beth ; BOOKER, John ; NORTH, Chris: Evaluation of Viewport Size and Curvature of Large, High-resolution Displays. In: *Proceedings of Graphics Interface 2006*. Toronto, Ont., Canada, Canada : Canadian Information Processing Society, 2006 (GI '06). – ISBN 1–56881–308–2, 123–130
- [SCRG10] SCHMIDT, Dominik ; CHEHIMI, Fadi ; RUKZIO, Enrico ; GELLERSEN, Hans: PhoneTouch: A Technique for Direct Phone Interaction on Surfaces. In: *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (UIST '10). – ISBN 978–1–4503–0271–5, 13–16
- [SDS⁺14] SEIFERT, Julian ; DOBBELSTEIN, David ; SCHMIDT, Dominik ; HOLLEIS, Paul ; RUKZIO, Enrico: From the private into the public: privacy-respecting mobile interaction techniques for sharing data on surfaces. In: *Personal and Ubiquitous Computing* 18 (2014), Nr. 4, 1013–1026. <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-013-0667-x>. – DOI 10.1007/s00779–013–0667–x. – ISSN 1617–4917
- [SFR01] STOEV, Stanislav L. ; FEURER, Matthias ; RUCKABERLE, Michael: Exploring the Past: A Toolset for Visualization of Historical Events in Virtual Environments. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2001 (VRST '01). – ISBN 1–58113–427–4, 63–70
- [SH06] SANNEBLAD, Johan ; HOLMQUIST, Lars E.: Ubiquitous Graphics: Combining Hand-held and Wall-size Displays to Interact with Large Images. In: *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (AVI '06). – ISBN 1–59593–353–0, 373–377
- [Shn83] SHNEIDERMAN, B.: Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages. In: *Computer* 16 (1983), Aug, Nr. 8, S. 57–69. <http://dx.doi.org/10.1109/MC.1983.1654471>. – DOI 10.1109/MC.1983.1654471. – ISSN 0018–9162
- [Shn96] SHNEIDERMAN, B.: The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations. In: *Proceedings 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*, 1996. – ISSN 1049–2615, S. 336–343
- [SNDC10] SCHMIDT, Sebastian ; NACENTA, Miguel A. ; DACHSELT, Raimund ; CARPENDALE, Sheelagh: A Set of Multi-touch Graph Interaction Techniques. In: *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (ITS '10). – ISBN 978–1–4503–0399–6, 113–116

- [SS14] SADANA, Ramik ; STASKO, John: Designing and Implementing an Interactive Scatterplot Visualization for a Tablet Computer. In: *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2014 (AVI '14). – ISBN 978–1–4503–2775–6, 265–272
- [SSRG11] SÖRÖS, Gábor ; SEICHTER, Hartmut ; RAUTEK, Peter ; GRÖLLER, Eduard: Augmented Visualization with Natural Feature Tracking. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (MUM '11). – ISBN 978–1–4503–1096–3, 4–12
- [SSRG12] SCHMIDT, Dominik ; SEIFERT, Julian ; RUKZIO, Enrico ; GELLERSEN, Hans: A Cross-device Interaction Style for Mobiles and Surfaces. In: *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (DIS '12). – ISBN 978–1–4503–1210–3, 318–327
- [STKB10] SHOEMAKER, Garth ; TSUKITANI, Takayuki ; KITAMURA, Yoshifumi ; BOOTH, Kellogg S.: Body-centric Interaction Techniques for Very Large Wall Displays. In: *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (NordCHI '10). – ISBN 978–1–60558–934–3, 463–472
- [STSD10] SPINDLER, Martin ; TOMINSKI, Christian ; SCHUMANN, Heidrun ; DACHSELT, Raimund: Tangible Views for Information Visualization. In: *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (ITS '10). – ISBN 978–1–4503–0399–6, 157–166
- [TAHS06] TOMINSKI, C. ; ABELLO, J. ; HAM, F. van ; SCHUMANN, H.: Fisheye Tree Views and Lenses for Graph Visualization. In: *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)*, 2006. – ISSN 1550–6037, S. 17–24
- [TFS08] In: THIEDE, Conrad ; FUCHS, Georg ; SCHUMANN, Heidrun: *Smart Lenses*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2008. – ISBN 978–3–540–85412–8, 178–189
- [TGK⁺16] TOMINSKI, C. ; GLADISCH, S. ; KISTER, U. ; DACHSELT, R. ; SCHUMANN, H.: Interactive Lenses for Visualization: An Extended Survey. In: *Computer Graphics Forum* (2016), n/a–n/a. <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.12871>. – DOI 10.1111/cgf.12871. – ISSN 1467–8659
- [TSAA12] TOMINSKI, C. ; SCHUMANN, H. ; ANDRIENKO, G. ; ANDRIENKO, N.: Stacking-Based Visualization of Trajectory Attribute Data. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18 (2012), Dec, Nr. 12, S. 2565–2574. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2012.265>. – DOI 10.1109/TVCG.2012.265. – ISSN 1077–2626

- [UvK12] UKROP, Jakub ; ČÍKOVÁ, Zuzana ; KAPEC, Peter: Visual Access to Graph Content Using Magic Lenses and Filtering. In: *Proceedings of the 28th Spring Conference on Computer Graphics*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (SCCG '12). – ISBN 978-1-4503-1977-5, 23-30
- [WCG03] WONG, N. ; CARPENDALE, S. ; GREENBERG, S.: Edgelens: an interactive method for managing edge congestion in graphs. In: *IEEE Symposium on Information Visualization 2003 (IEEE Cat. No.03TH8714)*, 2003, S. 51-58
- [WL95] WARE, Colin ; LEWIS, Marlon: The DragMag Image Magnifier. In: *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 1995 (CHI '95). – ISBN 0-89791-755-3, 407-408
- [YKS07] YI, J. S. ; KANG, Y. a. ; STASKO, J.: Toward a Deeper Understanding of the Role of Interaction in Information Visualization. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 13 (2007), Nov, Nr. 6, S. 1224-1231. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2007.70515>. – DOI 10.1109/TVCG.2007.70515. – ISSN 1077-2626