

Be-greifbare Magische Linsen auf & über Tabletops

Martin Spindler

Institut für Simulation und Grafik

Fakultät für Informatik

Otto-von-Guericke Universität, Magdeburg

spindler@ovgu.de

Abstract—Aktuelle technische Entwicklungen am Smartphone- und Tablet-Markt zeigen, dass die Verschmelzung von Eingabe und Ausgabe im selben Gerät zu einer direkteren und als natürlicher empfundenen Interaktion führt. Während sich ein Großteil bisheriger Forschung der Entwicklung von Touch-Techniken auf derartigen berührungsempfindlichen Displays widmet, löse ich mich im Rahmen meines Dissertationsvorhabens von den Beschränkungen einer interaktiven Oberfläche und erweitere den Interaktionsraum auf den physischen dreidimensionalen (3D) Raum oberhalb eines Tabletops. Mit lagebewussten, in der Hand gehaltenen Papierdisplays stelle ich einen vielversprechenden Ansatz vor, der diesen Raum nutzt. Durch die zusätzliche Verwendung der Position und Orientierung dieser Papierdisplays (Linsen) mit unterschiedlicher Form und Größe können Nutzer eine sehr direkte, greifbare Interaktion mit verschiedenen Informations-räumen erleben. Der gleichzeitige Einsatz multipler Linsen unterstützt kollaboratives Arbeiten explizit. Dieser Artikel stellt neben grundlegenden Interaktionskonzepten auf und mit den Linsen auch konkrete Anwendungsfälle vor, diskutiert die Vor- und Nachteile aktiver und passiver Displays und erläutert den technischen Aufbau des Systems.

Tangible Interaction, PaperLens, mobile Displays, Multitouch, Stifteingabe, Gesten, 3D-Interaktion, Kollaboration

I. EINLEITUNG

Mit der Markteroberung von leistungsfähigen Tablets und Smartphones hat sich binnen weniger Jahre ein neues Interface-Paradigma (Post-PC) durchgesetzt, das die Art und Weise stark verändert hat, wie wir mit Computern interagieren. Ein augenscheinliches Merkmal solcher Post-PC-Geräte ist das Fehlen von zusätzlicher Eingabe-Hardware, wie beispielsweise Tastatur und Maus. Stattdessen präsentieren sich diese Geräte nahezu vollständig als Displays, die wir oft als ständige Begleitung mit uns führen - sei es für die tägliche Arbeit oder für die Freizeit. Die Interaktion bleibt hierbei jedoch meist *auf* die Oberfläche der Displays beschränkt, d.h. visuelle Elemente werden durch direktes Zeigen ausgewählt oder manipuliert, beispielsweise mit den Fingern oder einem Stift. Im Gegensatz dazu spielt die Interaktion *mit* den Geräten, etwa durch die Ausnutzung der räumlichen Lage und Orientierung der Geräte, eher eine untergeordnete Rolle. Aktuelle Trends zeigen darüber hinaus, dass die Kombination von mobilen Displays untereinander oder sogar mit größeren stationären Displays (wie HD-Fernseher oder Tabletops) aufregende neue Möglichkeiten bietet - nicht nur im Sinne eines vergrößerten Darstellungsraums, sondern vor allem auch als erweiterter Interaktionsraum. Das Ziel meines Dissertationsvorhabens ist, solche zusätzlichen Freiheitsgrade besser nutzbar zu machen, so dass Nutzer direkter und natürlicher mit komplexen Informationsräumen interagieren können. Aufgrund der Neu-

heit des Ansatzes, war es zunächst nötig, ein technisches Framework aufzubauen, das eine praktische Umsetzung und Evaluierung der konzipierten Interaktionstechniken ermöglicht.

Mit dem PaperLens System [10] habe ich im Rahmen meines Promotionsvorhabens solch ein System entwickelt. Es macht das Konzept der lagebewussten greifbaren Displays (Tangible Magic Lens) für eine Tabletop-Umgebung verfügbar. Mehrere Nutzer können gleichzeitig mit diesem System interagieren - einfach nur indem sie ein Display greifen und es dann durch den dreidimensionalen (3D) Raum auf und über dem Tisch bewegen. Im Folgenden soll dieses System näher vorgestellt werden. Dazu werden zunächst verwandte Arbeiten umrissen und die wesentlichen Eigenschaften zweier grundverschiedener Typen von lagebewussten Displays erörtert. Anschließend werden einige der von mir entwickelten Interaktionskonzepte skizziert. Danach wird der technische Aufbau des Systems beschrieben und verschiedene Anwendungsszenarien diskutiert. Gesammelte Erfahrungen, aktuelle Entwicklungen und ein Fazit runden den Beitrag ab.

II. VERWANDTE ARBEITEN

In diesem Abschnitt wird ein grober Überblick über vorangegangene Arbeiten zu lagebewussten mobilen Displays gegeben. Das Ziel ist hierbei, bisherige Interaktionstechniken zu beleuchten und grundlegende technische Ansätze für passive (projizierte) Displays zu skizzieren.

A. Lagebewusste Displays

Die Vereinigung der digitalen Welt mit der physischen (analogen) Welt ist die Vision des Ubiquitous Computing, wie sie von Weiser bereits 1991 vorgeschlagen wurde [32]. Dieses Konzept wurde von Ishii und Ullmer mit den „Tangible User Interfaces“ (TUI) konsequent fortgeführt [25], indem die Interaktion mit digitalen Informationen auch durch die physische Manipulation von Alltagsgegenständen ermöglicht wurde. Inspiriert durch die Idee der „See-Through Interfaces“ [20], wo kontext-abhängige (lokale) Sichten und Werkzeuge zwischen Nutzer und Anwendung auf einem Desktop-Monitor platziert werden, können diese Alltagsgegenstände auch lagebewusste physische Displays (z.B. Mobiltelefone) sein. Diese fungieren als greifbare Magische Linsen in eine virtuelle Welt. Einer der ersten Vertreter solcher mobilen Displays war der Chameleon-Prototyp von Fitzmaurice [21], der einen lagebewussten Palmtop Computer für das Explorieren von virtuellen Informationsräumen vorstellte, die an beliebige Objekte in einer Büroumgebung geknüpft waren.

Im Gegensatz zum Ansatz von Fitzmaurice macht das metaDESK – Projekt von Ullmer and Ishii [31] nur von einem Referenz-Objekt Gebrauch: einem Tabletop, der kontextuelle

Informationen (z.B. die Karte des MIT-Campus) zeigt. Hier können Nutzer frei durch polygonale 3D-Modelle navigieren (z.B. verschiedene Gebäude auf dem Campus), indem sie ein an einem Greifarm befestigtes LCD-Display durch den Raum über dem Tabletop bewegen. In anderen Arbeiten stellten sowohl Hirota & Saeki [23] als auch Konieczny et al. [28] technische Ansätze für das Slicing von 3D Volumendaten mittels lagebewusster, handgehaltener Displays vor. Sie verwendeten dabei den (horizontalen) Fußboden als Bezugsfläche, nicht jedoch einen Tabletop.

Die Peephole Displays von Yee [33] kombinieren die Navigation eines virtuellen 2D-Arbeitsraums mit digitaler Stifteingabe. Der 2D-Arbeitsraum ist hierbei zylinderförmig um den Nutzer herum angeordnet und kann durch das Bewegen eines PDAs, der als Guckloch in diesen Arbeitsraum dient, exploriert werden. Dabei wird der Abstand zwischen Nutzer und PDA explizit für die Interaktion verwendet, beispielsweise für Zoom-Aufgaben im Kontext von typischen Desktopanwendungen, wie einer Terminverwaltung, einem Webbrowser und geografischen Karten.

B. Tracking von lagebewussten Displays

In der Literatur sind unterschiedliche Ansätze für das Tracking von lagebewussten Displays zu finden. Visuelle Marker wurden von Bandyopadhyay, Raskar und Fuchs [19] verwendet. Ein Hough-Transform-basierter Ansatz für das markerlose optische Tracking einer Bedienplatte wurde von Zhang et al. [34] vorgestellt. Markerbasiertes Infrarot (IR) Tracking wurde unter anderem von Holman et al. [24] eingesetzt.

C. Passive Displaylösungen

Passive (projizierte) Displays wurden unter anderem in PaperWindows von Holman et al. [24] präsentiert, die traditionelle GUI Elemente auf in der Hand gehaltene Papiere projizieren. Ein System für faltbare bewegliche Displays wurde von Lee, Hudson und Tse 2008 [30] vorgestellt. Beide Systeme nutzen einen ähnlichen technischen Ansatz, den auch ich in abgewandelter Form für mein System verwende, d.h. ein Deckenprojektor projiziert dynamische Bildinhalte auf im Raum getrackte handgehaltene Projektionsmedien. Im Gegensatz dazu ist das SecondLight – System von Izadi et al. [26] technisch anspruchsvoller. Es basiert auf elektronisch umschaltbaren Diffusern, die nahtlos den Grad ihrer Transparenz verändern können (je nach angelegter Spannung). Damit ist es in einer Tabletop-Umgebung möglich, von unterhalb der Tischplatte Bildinhalte sowohl auf die Tischplatte als auch auf Tangible Magic Lenses darüber zu projizieren. Aufgrund technischer Einschränkungen kann dabei der Tisch jedoch nicht viel größer als 40 cm in der Diagonale sein.

D. Fazit für das Dissertationsvorhaben

Der zentrale Beitrag meines Dissertationsvorhabens ist die Übertragung und konsequente Weiterentwicklung der Interaktionskonzepte für lagebewusste Displays auf eine Tabletop-Umgebung. Hierbei ist das Ziel, den physischen 3D-Raum über einer (interaktiven) Tischplatte für die Interaktion direkt nutzbar zu machen. Ein wesentlicher Beitrag meiner Forschung ist daher die Entwicklung eines vereinheitlichenden konzeptionellen sowie auch technischen Frameworks, welches die vielfältigen Interaktionsfreiheitsgrade, die sich dadurch

ergeben, zusammenfasst. Dazu zählen neben der Lage der mobilen Displays, auch Stift- und Touch-Eingabe sowie die Kopflage der Nutzer. Solch ein systematisches Framework gab es bisher in dieser Form noch nicht. Es ermöglicht es erst, komplexere Anwendungen zu entwickeln und zu evaluieren und dabei das Zusammenspiel der verschiedenen Interaktionsmodalitäten zu untersuchen.

III. PASSIVE UND AKTIVE DISPLAYS

Zunächst einmal möchte ich zwischen zwei grundlegenden Arten von lagebewussten Displays unterscheiden: *passive* und *aktive Displays*. Im Folgenden werden ihre wichtigsten Eigenschaften gegenübergestellt. Diese sind prägend sowohl für die technische Realisierung als auch für die Interaktionskonzepte.

A. Passive Displays

Passive Displays sind aus Papier, Pappe, Acrylglas, Porzellan, Holz oder anderen Materialien gefertigt. Dies schließt auch Alltagsgegenstände, wie Kaffeetassen, Spielkarten oder den Küchentisch ein. Die Displayfunktionalität wird hierbei durch die Projektion der relevanten Information auf die Oberfläche der passiven Displays mittels Beamer sichergestellt. Ein wesentlicher Vorteil von passiven Displays ist ihre Flexibilität hinsichtlich der Formfaktoren. Sie können sehr dünn und leicht sein (z.B. durch Verwendung von Pappe), weisen keine störenden Displayrahmen auf, sind billig und sind typischerweise einfach herzustellen. Außerdem können sie Bildinhalte auf der Vorder- und Rückseite darstellen, erlauben beliebige Formen (z.B. Scheiben) und können ihre Form und Größe verändern, wie beispielsweise von Khalilbeigi et al. mit einem ausrollbaren Papier-Display [27] demonstriert. Darüber hinaus können passive Displays leicht in die dritte Dimension erweitert werden (z.B. als Zylinder oder Würfel [16]).

Als Kehrseite weisen passive Displays durch die Abhängigkeit vom konkreten Projektionsvolumen eine begrenzte Mobilität auf. Dies liegt daran, dass sie nur in technisch komplexen Umgebungen funktionieren, die meist stationär sind. Solche Umgebungen sind sowohl für die präzise Lagebestimmung der passiven Displays als auch für die Projektion notwendig. Passive Displays leiden oft auch an einer geringen Bildauflösung und einer wahrnehmbaren Verschiebung von Bild- und Objektraum. Darüber hinaus können Verdeckungen (Schatten) ein Problem darstellen.

B. Aktive Displays

Die Verwendung von aktiven Displays, z.B. Smartphones und Tablets, löst viele dieser Nachteile. Sie weisen eine hohe Displayqualität auf (z.B. das Retina-Display des iPads) und benötigen kein kompliziertes Projektionssetup. Dies bedeutet wiederum, dass das Tracking der Geräte nur für die Interaktion benötigt wird und somit weniger akkurat sein kann, da nicht millimetergenau auf das Display projiziert werden muss. Dies kann ein entscheidender Vorteil sein, da es den Einsatz von Tracking-Technologie erlaubt, die weniger aufdringlich ist (z.B. Verzicht auf Marker). Ein anderer nicht zu unterschätzender Vorteil von aktiven Displays ist die Unterstützung von präzisen Touch-Eingaben direkt auf den Geräten. Darüber hinaus weisen aktive Displays oft zusätzliche Sensorik auf, wie Beschleunigungssensoren oder einen Kompass, die sich für die Interaktion nutzbar machen lassen.

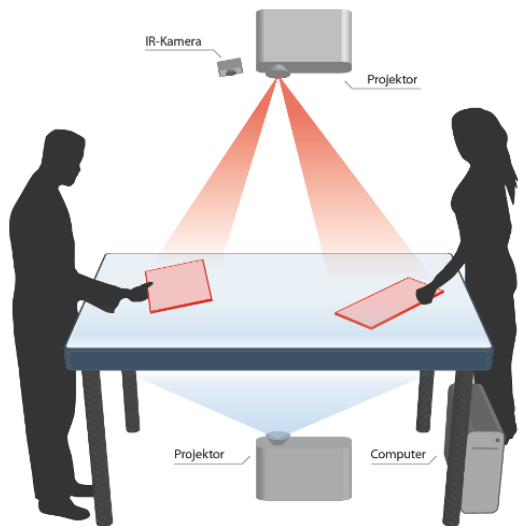


Bild 1: Prinzipieller Aufbau des Tangible Magic Lens - Systems. Der Tabletop bildet das Zentrum des Systems und bietet globale Sichten in verschiedene virtuelle Informationsräume. Ein oder mehrere mobile Displays zeigen lokale (persönliche) Sichten in diese virtuellen Informationsräume, die eine physische Ausdehnung einnehmen können, z.B. über und unter dem Tisch.

Trotz all dieser Vorteile sind aktive Displays häufig unflexibel in Bezug auf die Formfaktoren. Sie sind dicker und schwerer, besitzen störende Displayrahmen, sind weniger variabel in der Form und besitzen meist nur ein Display auf der Vorderseite. Obwohl sich dies mit dem technischen Fortschritt in Zukunft ändern könnte, ist eine nahtlose Integration von Alltagsgegenständen (wie Küchentellern oder Papierdokumenten) in die digitale Welt kaum möglich, wenn nur aktive Displays berücksichtigt werden.

C. Fazit für das Dissertationsvorhaben

Trotz einiger Vorteile von aktiven Displays, habe ich mich beim Design des technischen Systems für eine passive Displaylösung entschieden. Verglichen mit einem aktiven Displayansatz (z.B. iPad) waren hierfür zwar anfangs schwierigere technische Hürden zu meistern, dafür bietet die Verwendung von projektiven Displays eine erheblich größere Freiheit im Design der Formfaktoren – ein entscheidender Vorteil für einen Forschungsprototypen.

IV. INTERAKTIONSKONZEPTE

In diesem Abschnitt wird der konzeptionelle Aufbau des Tangible Magic Lens Systems vorgestellt und einige von mir entwickelten Interaktionstechniken grob skizziert, die die räumliche Lage und Orientierung von handgehaltenen Displays in einer Tabletop-Umgebung ausnutzen.

A. Prinzipieller Aufbau

Der prinzipielle Aufbau des Tangible Magic Lens Systems ist in Bild 1 dargestellt. Ein interaktiver Tisch bildet das Zentrum dieses Systems, das von einem oder mehreren Nutzern gleichzeitig verwendet werden kann. Das große Tischdisplay zeigt dabei globale Sichten in verschiedene virtuelle Informationsräume. Diese virtuellen Informationsräume können räumlich auf das physische Volumen über und unter

dem Tisch ausgedehnt sein, innerhalb dessen der Tabletop als Sichtfenster platziert ist. Damit können sich Teile des Informationsraums oberhalb oder auch unterhalb der Tischoberfläche befinden. Ein oder mehrere mobile Displays können von jedem Nutzer in die Hand genommen bzw. auf dem Tisch abgelegt werden. Sie bieten lokale (persönliche) Sichten auf den jeweiligen virtuellen Informationsraum. Diese Sichten können sehr einfach durch das Bewegen, Halten und Rotieren der mobilen Displays im Raum manipuliert werden. Auf diese Weise werden Interaktionstechniken möglich, die die Exploration und Manipulation von großen, komplexen Informationsräumen natürlicher und intuitiver gestalten.

B. Interaktionsvokabular

Die Kombination aus einem stationären horizontalen Display (Tabletop) und mehreren in der Hand gehaltenen lagebewussten Displays bietet etliche Vorteile. Im Sinne einer Multi-Display-Umgebung ermöglicht sie die gleichzeitige Verwendung von globalen und lokalen (persönlichen) Ansichten, was kollaboratives Arbeiten explizit unterstützt. Darüber hinaus können durch die Bereitstellung von sehr direkten, be-greifbaren Interaktionstechniken (*engl.: Tangible Interaction*) verschiedene Informationsräume natürlicher erlebt werden, so dass Nutzer ihre Aufmerksamkeit stärker auf die Lösung ihrer Aufgaben lenken können. Neben der herkömmlichen Interaktion *auf* den mobilen Displays, z.B. über Touch- und Stift-Eingaben, werde ich daher im Folgenden hauptsächlich Techniken adressieren, die direkt *mit* den mobilen Displays arbeiten, d.h. ihre physische Lage im 3D-Raum auf und über dem Tisch ausnutzen. Dabei stehen sechs zusätzliche Freiheitsgrade (6DOF) zur Verfügung. Dies sind die Position und Orientierung der Displays im Bezug zu den drei Koordinatenachsen des Interaktionsraums, wobei der Interaktionsraum entweder *absolut* im Raum verankert sein kann (z.B. im Mittelpunkt der Tischplatte) oder *relativ* zu einer beliebigen Position und Orientierung im physischen Raum steht. Letzteres kann frei durch die Nutzer definiert werden, beispielsweise durch das Drücken und Halten einer Schaltfläche auf dem Display, wenn es sich an der gewünschten Position im Raum befindet. Die sich hieraus ergebenden Möglichkeiten sind vielfältig und gehen über die reine Translation der Linsen hinaus. Eine im Rahmen des Promotionsvorhabens entwickelte Klassifikation verschiedener Interaktionsmuster für mobile Displays [6] umfasst u.a. die in Bild 2 dargestellten Kategorien *Translation*, *Einfrieren*, *Rotation* und *Gesten*. Diese Interaktionsmuster sind größtenteils unabhängig voneinander und können somit leicht unterschiedlichen Interaktions-Teilaufgaben zugewiesen werden, was im Abschnitt Anwendungsszenarien noch ausführlicher betrachtet wird.

1) Translation

Die Position bzw. ihre Veränderung über die Zeit ist sehr gut für die Interaktion nutzbar. Entsprechend der drei Raumachsen stehen drei Freiheitsgrade zur Verfügung. Für unser System unterscheidet sich zwischen *horizontaler* (entlang der X- und Y-Achse) und *vertikaler Translation* (entlang der Z-Achse), siehe Bild 2(a).

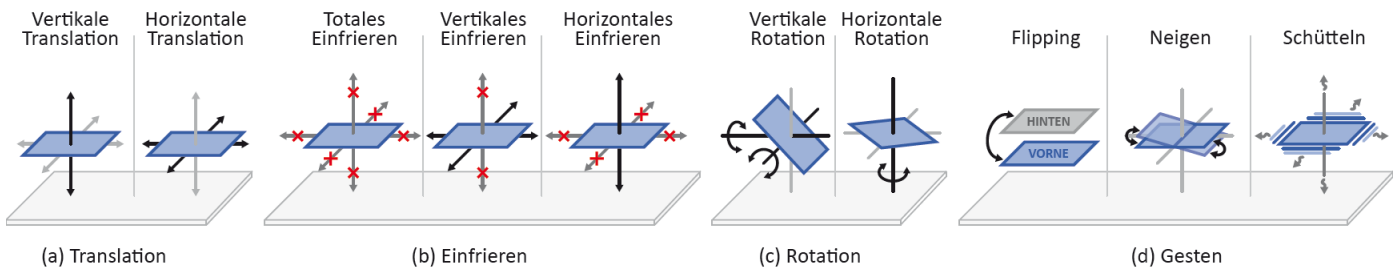


Bild 2: Auszug aus dem im Rahmen der Promotion entwickelten Interaktionsvokabular für Tangible Magic Lenses. Die Bilder zeigen die Interaktion *mit* den Displays (räumliche Lage und Orientierung sowie Gesten als Eingabe). Die Interaktion *auf* den Displays, wie z.B. durch Stift- und Touch-Eingabe, vervollständigt diese Kategorisierung, siehe auch [6].

2) Einfrieren

Gelegentlich möchten Nutzer ein mobiles Display bewegen, ohne die Absicht zu verfolgen, mit dem System zu interagieren. Dies kann beispielsweise notwendig sein, wenn ein Nutzer eine bestimmte Ansicht auf den Tisch legen möchte, um sie dann mit einem Stift zu annotieren [11]. Zu diesem Zweck müssen alle bzw. ausgewählte Raumachsen für die Interaktion ausgeschaltet bzw. eingefroren werden, siehe Bild 2(b). Ich unterscheide drei Fälle: *totales Einfrieren*, *vertikales Einfrieren* (Z-Achse blockiert) und *horizontales Einfrieren* (X- und Y-Achse blockiert).

3) Rotation

Die lokale Orientierung bzw. ihre Veränderung über die Zeit ist ein anderer wichtiger Interaktionsfreiheitsgrad. Ich unterscheide zwischen *horizontaler* (um die Z-Achse) und *vertikaler Rotation* (um die X- oder Y-Achse), siehe Bild 2(c).

4) Gesten

Neben der direkten Nutzung der Lageinformation können auch komplexere Bewegungsmuster (Gesten) als Eingabe für das System verwendet werden, siehe Bild 2(d). Für verschiedene Anwendungen nutze ich Flipping-Gesten (Umdrehen des Displays von der Vorder- auf die Rückseite und umgekehrt), Schüttelgesten und Neigegesten (leichtes kurzes Neigen des Displays nach links/rechts bzw. oben/unten).

V. TECHNISCHER AUFBAU

Bei der technischen Umsetzung des Tangible Magic Lens Systems habe ich mich hauptsächlich auf den passiven Display-Ansatz konzentriert. Das System ist wie folgt aufgebaut (siehe Bild 1): Ein rückprojizierter digitaler Tisch bildet den Mittelpunkt des Systems. Darüber befinden sich mehrere, an die Zimmerdecke montierte, Infrarot (IR) - Kameras und ein auf den Tisch ausgerichteter Deckenprojektor. Als mobile Displays werden passive Displays verwendet. Das sind zumeist aus Pappe und Papier gefertigte Projektionsmedien, die von den Nutzern in die Hand genommen und frei im Raum auf und über dem Tisch bewegt werden können. Zu den technischen Problemen, die hierbei gelöst werden müssen, gehören das Tracking der Displays, das Projizieren von dynamischen Bildinhalten, das Erkennen von Bewegungsgesten, die Unterstützung von Touch- und Stifteingaben und Anwendungsfunktionalität. Viele dieser Aufgaben können unabhängig voneinander gelöst werden, so dass ich mich für eine verteilte Rechnerarchitektur entschieden

haben. Für die Rechnerkommunikation habe ich offene Protokolle verwendet, z.B. VRPN für das Streaming von Gerätezuständen und XML-RPC für das Aufrufen von entfernten Funktionen.

A. Tracking von Papierdisplays

Eine exakte Bestimmung der Position und Orientierung der Papierdisplays in Echtzeit ist unerlässlich für das Gesamtsystem. Ich habe mich für ein optisches Verfahren mit momentan zehn IR-Kameras (Optitrack FLEX:V100R2) entschieden. Hierfür wurden jeweils sechs IR-reflektierende Marker (ca. 4 mm groß) auf die Kanten der Papierdisplays geklebt, die von den Benutzern kaum wahrgenommen werden. Durch die Verwendung von unterschiedlichen Marker-Kombinationen können die Papierlinsen leicht vom System auseinander gehalten werden. Eine kommerziell verfügbare Trackinglösung (Tracking Tools von Natural Point) liefert dann 6DOF-Informationen mit ca. 100 Hz in ausreichender Präzision (Fehlerrate ca. 1 mm).

B. Projektion von Bildinhalten

Die Papierlinsen sind als passive Displays (Projektionsmedien) umgesetzt, d.h. dynamische Bildinhalte werden über den Deckenprojektor auf sie projiziert, so dass auch ihre Rückseite als Display genutzt werden kann. Die Verwendung preiswerter Projektionsmaterialien wie Papier und Pappe fördert eine kostengünstige Herstellung der Displays in beliebigen Größen und Formen (z.B. rechteckig oder kreisförmig). Die Auflösung schwankt je nach Abstand zum Projektor zwischen 35 bis 50 Pixel/cm. Um eine perspektivisch korrekte Projektion auf den Papierlinsen zu gewährleisten, verwende ich OpenGL, mit dessen Hilfe ich den physischen Raum über dem Tabletop nachbilde. Die OpenGL-Kamera sitzt dabei an der virtuellen Position des Deckenprojektors, und die Papierlinsen werden als texturierte Polygone repräsentiert, die der jeweiligen Form, Position und Orientierung der physischen Papierlinse nachempfunden werden. Jeder dieser Texturen ist ein FrameBufferObject (FBO) zugewiesen, in das beliebige Bildinhalte in Echtzeit gerendert werden können. Auf diese Weise wird der generische Projektionscode von dem eigentlichen Applikationscode getrennt. Dies macht es beispielsweise einfacher, die passiven Displays später durch handgehaltene aktive Displays (z.B. Tablets) zu ersetzen.

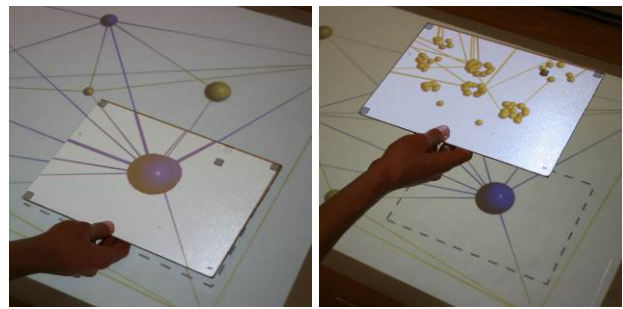
C. Gestenerkennung

Für die Unterstützung von Gesten (wie Flipping-, Schüttel-, und Neigegesten) habe ich einen rudimentären Gestenerkennner



(a) Passive Zoomlinse

(b) Aktive Zoomlinse (iPad)



(c/d) Node-Link-Diagramm (Semantischer Zoom)

Bild 3: Zoomlinsen. Durch simples Heben und Senken des passiven (a) oder aktiven Displays (b) kann in hochauflösende Bilder (a/b) oder in Node-Link-Diagramme (c/d) hinein- und hinaus-gezoomt werden. Die schwarze (kreisrunde bzw. viereckige) Konturlinie auf der Tischoberfläche markiert dabei das aktuell ausgewählte Detail und erleichtert so die Orientierung.

implementiert, der die Lageinformationen der einzelnen Papierdisplays nutzt. Der Gestenerkennung sucht kontinuierlich

nach charakteristischen Bewegungsmustern und löst gegebenenfalls ein Ereignis aus. Für Schüttelgesten sind das beispielsweise schnelle unregelmäßige Hin- und Her-Bewegungen mit kleiner Ausdehnung.

D. Stift- und Touch-Eingaben

Unser System unterstützt Touch- und Stifteingaben, sowohl auf dem Tabletop als auch auf den Papierdisplays. Digitale Stifte und die Anoto-Technologie [16] erlauben die Stiftinteraktion auf allen Oberflächen. Hierfür habe ich Anoto-Papier auf die einzelnen Papierdisplays geklebt, das ein eindeutiges Punktmuster enthält, welches durch spezielle digitale Stifte mit einer eingebauten Kamera gescannt wird. Die so ermittelte 2D-Position kann via Bluetooth in Echtzeit an das System übertragen und dann an das entsprechende Papierdisplay weitergeleitet werden. Für einfache Touch-Eingaben habe ich einige Papierdisplays mit speziellen drucksensitiven Buttons ausgestattet, die mit dem System drahtlos verbunden sind (Arduino-Xbee [17]).

VI. ANWENDUNGSSZENARIEN

Die beschriebenen Interaktionskonzepte können für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten eingesetzt werden, z.B. in der Wissenschaft und Bildung. Im Folgenden werde ich drei Anwendungsszenarien vorstellen, die ich im Rahmen meines Dissertationsvorhabens prototypisch umgesetzt habe.

A. Exploration von 2D-Informationsräumen

Zweidimensionale Informationsräume sind allgegenwärtig, und es gibt sie in verschiedensten Ausprägungen. Typische Beispiele sind neben hochauflösten Fotografien auch Geografische Informationssysteme (GIS). Das sind georeferenzierte Karten, die mit zusätzlichen Informationsebenen wie Satellitenbildern, Höhenkarten, Straßenansichten (z.B. Google Streetview) oder sogar 3D-Modellen von Häusern angereichert sind.

In einer Tabletop-Umgebung bietet es sich an, das hochauflöste Bild oder die georeferenzierte Karte direkt auf dem Tisch zu zeigen. Allerdings bleibt es auch hier unmöglich, beispielsweise ein Gigapixel-Bild in allen Details darzustellen. Mithilfe von mobilen Displays, die als digitales

Vergrößerungsglas dienen, können Nutzer sehr einfach in beliebige Bereiche des Gigapixel-Bildes hineinzoomen (siehe Bild 3a/b). Dies geschieht, indem sie das digitale Vergrößerungsglas zuerst an die entsprechende Stelle des Bildes bewegen (*horizontale Translation*) und dann das mobile Display heben und senken (*vertikale Translation*). Konzeptionell wird dieser Vorgang durch ein Space-Scale Diagramm [22] beschrieben, das direkt auf das physische Interaktionsvolumen abgebildet wird. Auf dieselbe Weise kann auch semantisches Zoomen umgesetzt werden, z.B. für das Explorieren von geclusterten Node-Link-Diagrammen (siehe Bild 3c/d).

Die Höhe über dem Tisch kann nicht nur für das Zoomen verwendet werden, sondern beispielsweise auch für das Auswählen von verschiedenen virtuellen Informationsschichten des Geografischen Informationssystems, die über dem Tisch physisch übereinander gestapelt sind. Diese nehmen eine Schichtdicke von beispielsweise 10 cm an. In einer aktuellen Studie [3] habe ich gezeigt, dass hierbei mehr als zehn Ebenen übereinander nicht sinnvoll sind und dass vertikale Translation (minimale Schichtdicke: 1 cm) von Nutzern deutlich präziser (mit einem Faktor von vier) ausgeführt werden kann als horizontale Translation (minimale Schichtdicke: 4 cm).

B. Exploration von wissenschaftlichen, volumetrischen Daten

Ein naheliegendes Anwendungsgebiet für Tangible Magic Lenses ist die Exploration und Annotation von großen, dreidimensionalen Datensätzen. Neben geologischen und biologischen Daten können dies auch medizinische Volumendaten sein, wie sie häufig durch MRT und CT aufgenommen werden.

In einer kollaborativen Umgebung, die aus einem Tabletop und verschiedenen mobilen Displays besteht, bietet der Tisch einen räumlichen Bezug zum volumetrischen Datenraum, der sich auf, über oder sogar unter dem Tisch befinden kann. Der Tabletop dient dabei als globale Sicht und könnte beispielsweise den Umriss des Patienten oder einen bestimmten Schnitt durch das Volumen darstellen. Die mobilen Displays zeigen dagegen lokale, persönliche Sichten. Wenn z.B. eine Ärztin ein Display durch das Interaktionsvolumen bewegt, können beliebige nutzer-definierte Schnittebenen in Echtzeit berechnet und dargestellt werden, siehe auch [10]. Dies ermöglicht auf sehr direkte Weise eine schnelle und

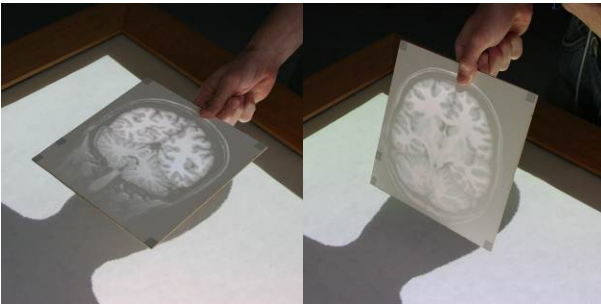


Bild 3: Volumen-Slicer. Durch beliebiges Bewegen, Neigen und Halten des Papierdisplays über dem Tisch können beliebige nutzer-definierte Schnittebenen durch einen Volumendatensatz (hier: MRT-Scan eines menschlichen Kopfes) in Echtzeit ausgewählt, berechnet und dargestellt werden.

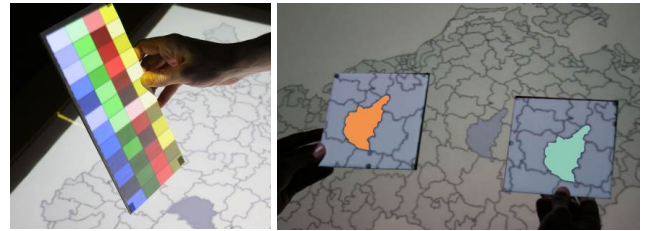


Bild 5: Raum-Zeit-Würfel. Mittels vertikalem Schneiden des Raum-Zeit-Würfels erhält der Nutzer eine Übersicht aller Zeitdaten zu einem Ort (links). Durch gleichzeitiges Heben und Senken zweier mobiler Displays, die auf denselben Ort eingearastet sind, kann der Nutzer beliebige Zeitpunkte vergleichen (rechts).

flexible Erkundung des ganzen Datensatzes oder spezieller Strukturen darin (siehe Bild 4).

Es gibt vielfältige Einsatzszenarien, die von solch einem System profitieren würden. In einer Tumorboard-Besprechung arbeiten beispielsweise Mediziner mit verschiedener Spezialisierung zusammen, um Diagnosen zu stellen oder Therapien zu planen. Durch die Verwendung von persönlichen Displays können diese Mediziner gleichzeitig auf die Daten zugreifen. Dabei können entsprechend ihrer Spezialisierung maßgeschneiderte Sichten mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad eingesetzt werden. Die Verwendung von hochauflösenden aktiven Displays bietet dabei die notwendige Auflösung, um sogar noch die kleinsten Details der Patientendaten sichtbar zu machen. Zusätzlich können auf diese Weise auffällige Strukturen direkt mit den Fingern oder digitalen Stiften annotiert werden. Darüber hinaus bieten aktive Displays die Möglichkeit, beim Verlassen des Interaktionsraums die Daten mitzunehmen, um später (z.B. unterwegs) mit ihnen weiterzuarbeiten. Ein anderer Anwendungsfall sind Arzt-Patienten-Konsultationen. Hier können mobile Displays helfen, eine Diagnose zu präsentieren und die beabsichtigte Therapie zu erklären. Ähnliche Setups können auch zu Lehr- oder Trainingszwecken eingesetzt werden. Studenten können so beispielsweise interaktiv lernen, wie der menschliche Organismus aufgebaut ist.

C. Exploration von Raum-Zeit-Würfeln

Das Konzept des Raum-Zeit-Würfels integriert räumliche und zeitliche Aspekte in einer vereinheitlichten 3D-Darstellung, siehe auch [29]. Die Analogie zwischen Raum-Zeit-Würfel und dem dreidimensionalen Interaktionsraum der Tangible Magic Lenses legt es nahe, den räumlichen Aspekt (z.B. eine geographische Karte) auf dem Tabletop darzustellen, während die Zeitdimension auf die Höhe darüber (Z-Achse) abgebildet wird.

Verschiedene mobile Displays dienen dann als greifbare Fenster in diesen Raum-Zeit-Würfeln. Dessen interaktive Exploration wird dabei durch *horizontale Translation* (Navigation in der räumlichen Dimension, z.B. entlang einer Landkarte) bzw. *vertikale Translation* (Navigation durch die Zeit, z.B. die Monate eines Jahres) erreicht. Wird ein mobiles Display horizontal gehalten, zeigt es die Daten für einen bestimmten Zeitpunkt an einem Ort an (z.B. den Monat März

für den Bördelandkreis). Um eine Übersicht der Daten aller verfügbaren Monate für einen Ort zu erhalten, muss das mobile Display gekippt werden (*vertikale Rotation*), so dass es den Raum-Zeit-Würfel senkrecht schneidet, siehe Bild 5(links).

Bei der Exploration von Raum-Zeit-Daten müssen gewöhnlich verschiedene Orte, verschiedene Zeitpunkte oder beides in Kombination miteinander verglichen werden. Das *Einfrieren* eines mobilen Displays hilft hier den Nutzern, ihre Ziele einfacher zu erreichen. Durch *vertikales Einfrieren* kann ein bestimmter Zeitpunkt, z.B. der Monat Februar, festgelegt werden. Dies erlaubt es Nutzern, das mobile Display auf dem Tabletop abzulegen und dort mit der Exploration fortzusetzen, ohne dass sich der Monat ändert. Dies ist nützlich, wenn mehrere mobile Displays gleichzeitig verwendet werden sollen, um Attribute von verschiedenen Orten zu vergleichen oder um ein Detail für später zu sichern, zum Beispiel indem man es einfach irgendwo auf den Tisch platziert. Durch *horizontales Einfrieren* kann eine beliebige Region auf der Landkarte festgelegt werden, beispielsweise, um verschiedene Monate derselben Region zu vergleichen. Hierfür hält der Nutzer jeweils ein mobiles Display in jeder Hand, die er beide auf dieselbe Region einfriert. Durch unterschiedliches Heben und Senken der linken und rechten Hand können so verschiedene Monate ausgewählt und die Daten direkt visuell verglichen werden, siehe Bild 5(rechts).

VII. ERFahrungen UND AUSBLICK

Während sich viele Projekte im Bereich von Tangible User Interfaces auf den Aspekt der verbesserten Eingabe über greifbare Objekte konzentrieren, besteht die Kernidee meines Dissertationsvorhabens darin, die Ausgabe (d.h. die in der Hand gehaltenen Displays) direkt manipulierbar zu gestalten. Durch das manuelle Bewegen eines oder mehrerer Displays durch den Raum sind neue Formen der Interaktion möglich, die ein echtes Be-greifen komplexer Informationsräume erlauben.

In einer aktuellen Weiterentwicklung des Systems mache ich Gebrauch von kopfgebundener Perspektive [14], die eine pseudo-stereoskopische Interaktion mit echt dreidimensionalen Objekten und Umgebungen erlaubt, siehe Bild 6. Durch die Kombination des physischen 3D-Raums mit einem virtuellen 3D-Raum unter Nutzung multipler Displays, die wiederum perspektivisch korrekte Sichten in eine 3D-Szene ermöglichen, wird ein noch reicheres Repertoire an 3D-Interaktionstechniken ermöglicht. Die im Bild 6(rechts) dargestellte direkte

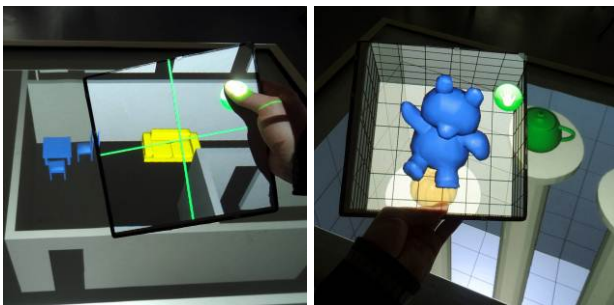


Bild 6: Ein mobiles Display (links) dient als Fenster in eine virtuelle 3D-Welt, die sich auf, über und unter dem Tabletop befindet. Durch Bewegungen des Displays im Raum kann die virtuelle Welt exploriert werden. Ein Selektionsstrahl dient dabei zur Auswahl von entfernten Objekten. Diese können per Knopfdruck in die Hand bzw. auf das mobile Display geholt werden, um es sich dann von verschiedenen Seiten anzusehen (rechts). Die Verwendung von kopfgebundener Perspektive (mittels Kopftracking) erzeugt dabei einen pseudo-stereoskopischen Eindruck.

Erkundung eines mit der Linse assoziierten 3D-Objektes zeigt dieses Potential auf.

Das im Rahmen meines Dissertationsvorhabens entwickelte Tangible Magic Lens System wurde in zahlreichen Demosessions und öffentlichen Präsentationen sehr vielen Besuchern präsentiert, z.B. zur Langen Nacht der Wissenschaft oder auf internationalen HCI-Konferenzen. Hierbei hat sich durchweg bestätigt, wie einfach das System zu erlernen und zu bedienen ist (gerade auch von Kindern). Da man als Nutzer des Systems nur ein Stück Pappe in der Hand hält, auf dem dynamische Bildinhalte je nach Raumposition und Anwendung gezeigt werden, wurde häufig kommentiert, wie natürlich und auf gewisse Weise magisch sich diese Form der be-greifbaren Interaktion anfühlt. Meine Erfahrungen aus Nutzerstudien [10] untermauern diese Aussagen. In diesem Zusammenhang wurde ich auch immer wieder gefragt, ob bzw. wann die von mir entwickelten Techniken für eine breitere Öffentlichkeit zugänglich wären.

Ich denke, dass in absehbarer Zukunft leichtgewichtige organische Displays (OLED) und unkomplizierte räumliche Trackinglösungen (z.B. durch Tiefenkameras) den hier vorgestellten Konzepten und Interaktionstechniken zu tatsächlich nutzbringender Anwendung verhelfen werden. In diesem Sinne arbeite ich gegenwärtig an einem kostengünstigeren Setup [1], das mit leicht verfügbarer und erschwinglicher Hardware auskommt (z.B. iPad und Kinect). Neben der künftigen Nutzung leichter, aktiver Displays (Smartphones, Tablets) wird aber auch die Interaktion mit digital angereicherten Alltagsgegenständen, die durch Picoprojektion zu passiven Displays werden, verstärkte Anwendung finden.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des ViERforES-II - Projekts (Nr. 01IM10002B) gefördert.

EIGENE PUBLIKATIONEN

Publiziert/Angenommen

- [1] Spindler, M.; Dachzelt, R.: Die Magische Dimension: Be-greifbare Interaktion auf und über Tabletops. *i-com: Zeitschrift für Interaktive und Kooperative Medien*. Wird in Ausgabe 2/2012 erscheinen.
- [2] Spindler, M.; Büschel, W.; Dachzelt, R.: Towards Spatially Aware Tangible Displays for the Masses. Workshop on Designing Collaborative Interactive Spaces for e-Creativity, e-Science and e-Learning at AVI '12. ACM Press, 2012.
- [3] Spindler, M.; Martsch, M.; Dachzelt, R.: Going Beyond the Surface: Studying Multi-Layer Interaction above the Tabletop. In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12). ACM Press, 2012.
- [4] Tominski, C.; Schumann, H.; Spindler, M.; Dachzelt, R.: Towards Utilizing Novel Interactive Displays for Information Visualization. Dexis 2011 - Workshop on Data Exploration for Interactive Surfaces at ITS '11 (Dexis 11). ACM Press, 2011.
- [5] Spindler, M.; Hauschild, M.; Dachzelt, R.: Towards Making Graphical User Interfaces Tangible. In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2010 (ITS' 10). ACM Press, 2010, 291-292.
- [6] Spindler, M.; Tominski, C.; Schumann, H.; Dachzelt, R.: Tangible Views for Information Visualization. In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2010 (ITS '10). ACM Press, 2010, 157-166.
- [7] Spindler, M.; Tominski, C.; Hauschild, M.; Schumann, H.; Dachzelt, R.: Novel Uses for Tangible Displays above the Tabletop. In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2010 (ITS '10). ACM Press, 2010, 315-315.
- [8] Spindler, M.; Tominski, C.; Schumann, H.; Dachzelt, R.: Towards Making InfoVis Views Tangible. In Conference USB Proceedings of IEEE Information Visualization Conference 2010 (InfoVis2010). IEEE, 2010.
- [9] Spindler, M.; Dachzelt, R.: Exploring Information Spaces by Using Tangible Magic Lenses in a Tabletop Environment. In Proceedings of the 28th of the International Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems 2010 (CHI EA' 10). ACM Press, 2010, 4771-4776.
- [10] Spindler, M.; Stellmach, S.; Dachzelt, R.: PaperLenses: Advanced Magic Lens Interaction Above the Tabletop. In Proceedings of ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2009 (ITS '09). ACM Press, 2009, 77-84.
- [11] Spindler, M.; Dachzelt, R.: Towards Pen-based Annotation Techniques for Tangible Magic Lenses Above a Tabletop. In Accompanying DVD of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2009 (ITS '09). ACM Press, 2009.
- [12] Spindler, M.; Dachzelt, R.: Advanced Magic Lens Interaction Above the Tabletop. TechDemo at ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2009 (ITS '09). 2009.
- [13] Spindler, M.; Sieber, J.; Dachzelt, R.: Using Spatially Aware Tangible Displays for Exploring Virtual Spaces. In Proceedings of Mensch und Computer 2009 (MuC2009). Oldenbourg Publishing, 2009, 253-262.

Eingereicht

- [14] Spindler, M.; Büschel, W.; Dachzelt, R.: Use Your Head: Tangible Windows for 3D Information Spaces in a Tabletop Environment. Submitted to ACM Interactive Tabletops & Surfaces (ITS) 2012.
- [15] Spindler, M.; Cheung, V.; Witt, H.; Dachzelt, R.: Dynamic Tangible User Interface Palettes. Submitted to ACM Interactive Tabletops & Surfaces (ITS) 2012.

LITERATUR

- [16] Anoto Digital Pen Technology. Anoto Group AB. <http://www.anoto.com>
- [17] Arduino. <http://www.arduino.cc>
- [18] Akaoka, E.; Ginn, T.; Vertegaal, R.: DisplayObjects: Prototyping Functional Physical Interfaces on 3D Styrofoam, Paper or Cardboard Models. In Proc. of TEI, pages 49–56. ACM Press, 2010.

- [19] Bandyopadhyay, D.; Raskar, R.; Fuchs, H.: Dynamic Shader Lamps: Painting on Movable Objects. In Proc. of ISAR'01. IEEE Computer Society, 2001, 207-216.
- [20] Bier, E. A.; Stone, M. C.; Pier, K.; Buxton, W.; DeRose, T. D.: Toolglass and Magic Lenses: The See-through Interface, In Proc. of SIGGRAPH '93, ACM Press, 1993, 73-80.
- [21] Fitzmaurice, G. W.: 1993. Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers. *Communications of ACM* 36, 7. ACM Press, Juli 1993, 39-49.
- [22] Furnas, G. W.; Bederson, B. B.: Space-Scale Diagrams: Understanding Multiscale Interfaces", In Proc. of CHI '95. ACM Press, 1995, 234-241.
- [23] Hirota, K.; Saeki, Y.: Cross-section Projector: Interactive and Intuitive Presentation of 3D Volume Data using a Handheld Screen. *Proc. of 3DUI 2007*, IEEE Computer Society Press (2007), 57-63.
- [24] Holman, D.; Vertegaal, R.; Altosaar, M.; Troje, N.; Johns, D.: Paper Windows: Interaction Techniques for Digital Paper. In Proc. of CHI '05. ACM Press, 2005, 591-599.
- [25] Ishii, H.; Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seam-less Interfaces between People, Bits and Atoms. *Proc. CHI 1997*, ACM Press (1997), 234-241.
- [26] Izadi, S.; Hodges, S.; Taylor, S.; Rosenfeld, D.; Villar, N.; Butler, A.; Westhues, J.: Going Beyond the Display: A Surface Technology with an Electronically Switchable Diffuser. *Proc. of UIST '08*, ACM Press (2008), 269-278.
- [27] Khalilbeigi M.; Lissermann R.; Mühlhäuser, M.; Steimle, J.: Xpaaand: Interaction Techniques for Rollable Displays. In Proc. of CHI '11, ACM Press, 2011, 2729-2732.
- [28] Konieczny, J.; Shimizu, C.; Meyer, G.; Colucci, D.: A Handheld Flexible Display System. In Proc. of VIS '05. IEEE, 2005, 591- 597.
- [29] Kraak, M. J.: The Space-Time Cube Revisited from a Geovisualization Perspective. In Proc. of the 21st Intern. Cartographic Conference. 2003, 1988-1996.
- [30] Lee, J. C.; Hudson, S. E.; Tse, E.: Foldable Interactive Displays. In Proc. of UIST '08. ACM Press, 2008, 287-290.
- [31] Ullmer, B.; Ishii H.: The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces. In Proc. of UIST '97. ACM Press, 1997, 223-232.
- [32] Weiser, M.: The Computer for the 21st Century. *Scientific American*. 265, 3 (1991), 66-75.
- [33] Yee K.: Peephole Displays: Pen Interaction on Spatially Aware Handheld Computers. In Proc. of CHI '03. ACM Press, 2003, 1-8.
- [34] Zhang, Z.; Wu, Y.; Shan, Y.; Shafer S.: Visual Panel: Virtual Mouse, Keyboard and 3D Controller with an Ordinary Piece of Paper. In Proc. of PUI '01. ACM Press, 2001, 1-8.