

Martin Spindler, Raimund Dachzelt

# Die Magische Dimension: Be-Greifbare Interaktion auf und über Tabletops

## The Magic Dimension: Tangible Interaction On and Above Tabletops

Tangible Interaction\_PaperLens\_mobile Displays\_Multitouch\_Stifteingabe\_Gesten\_3D-Interaktion\_Kollaboration

**Zusammenfassung.** 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 Touchtechniken auf derartigen berührungsempfindlichen Displays widmet, lösen wir uns von den Beschränkungen einer interaktiven Oberfläche und erweitern den Interaktionsraum auf den physischen dreidimensionalen (3D) Raum oberhalb eines Tabletops. Mit lagebewussten, in der Hand gehaltenen Papierdisplays stellen wir einen vielversprechenden Ansatz vor, der diesen Raum nutzt. Durch die zusätzliche Verwendung der Position und Orientierung dieser Papierdisplays (be-greifbare Linsen) mit unterschiedlicher Form und Größe können Nutzer eine sehr direkte, greifbare Interaktion mit verschiedenen Informationsräumen erleben. Der gleichzeitige Einsatz mehrerer Linsen unterstützt kollaboratives Arbeiten explizit. Der 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.

**Abstract.** Recent technical developments in the smartphone and tablet market show that the fusion of input and output within a single device leads to a more direct and natural interaction. While the majority of research focuses on techniques based on touch-sensitive 2D surfaces, we aim at extending the design space to the physical 3D volume above a tabletop. For this purpose, we present spatially aware handheld paper displays as a promising approach that utilizes this space. By using the physical position and orientation of such paper displays (tangible lenses), users can experience a very direct and tangible way of interacting with various types of complex virtual information spaces. The simultaneous use of multiple tangible lenses in different shapes and sizes explicitly supports collaborative work. In this work, we present basic concepts for interacting on and with tangible lenses, discuss concrete application scenarios, compare active and passive displays, and outline the principle setup of our technical system.

### 1. 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 un-

serer Arbeit ist, solche zusätzlichen Freiheitsgrade besser nutzbar zu machen.

Mit dem PaperLens System (Spindler, Stellmach und Dachzelt 2009) haben wir ein System entwickelt, welches das Konzept des lagebewussten greifbaren Displays (Tangible Magic Lens) für eine Tabletop-Umgebung verfügbar macht. 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 eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile aktiver und passiver Displays vorgenom-

men. Nachfolgend werden grundsätzliche Interaktionskonzepte skizziert, der technische Aufbau des Systems beschrieben und verschiedene Anwendungsszenarien diskutiert. Gesammelte Erfahrungen, aktuelle Entwicklungen und ein Fazit beschließen den Beitrag.

## 2. Verwandte Arbeiten

Die hier präsentierten Ergebnisse bauen auf früheren Arbeiten von uns auf, siehe Spindler et al. (2009 und 2010). Das zugrundeliegende Konzept der lagebewussten Displays (Tangible Magic Lenses) in einer Tabletop-Umgebung geht auf Ullmer und Ishii (1997) zurück. Dieses setzt wiederum an der Idee des See-through-Interfaces an, welches von Bier et al. (1993) vorgestellt wurde. Hier wurden kontextabhängige (lokale) Sichten und Werkzeuge zwischen Nutzer und Anwendung auf einem Desktop-Monitor platziert. Passive, d.h. projizierte Displays wurden unter anderem in PaperWindows

von Holman et al. (2005) präsentiert. Dabei wurden traditionelle GUI Elemente auf in der Hand gehaltene Papiere projiziert. Ein System für faltbare projizierte bewegliche Displays wurde von Lee, Hudson und Tse (2008) vorgestellt. Ein erwähnenswerter früher Prototyp für aktive Displays ist Chameleon von Fitzmaurice (1993), welcher die Exploration von 3D-Informationsräumen mittels eines lagebewussten Palmtop Computers ermöglicht. Die Peephole Displays von Yee (2003) kombinieren die Navigation eines zweidimensionalen virtuellen Arbeitsraums mit digitaler Stifteingabe.

In der Literatur sind unterschiedliche Ansätze für das Tracking von lagebewussten Displays zu finden. Visuelle Marker wurden von Bandyopadhyay, Raskar und Fuchs (2001) verwendet. Ein Hough-Transform-basierter Ansatz für das markerlose optische Tracking einer Bedienplatte wurde von Zhang et al. (2001) vorgestellt. Markerbasiertes Infrarot (IR)-Tracking wurde unter anderem von Hol-

man et al. (2005) und von uns (Spindler et al. 2010) eingesetzt.

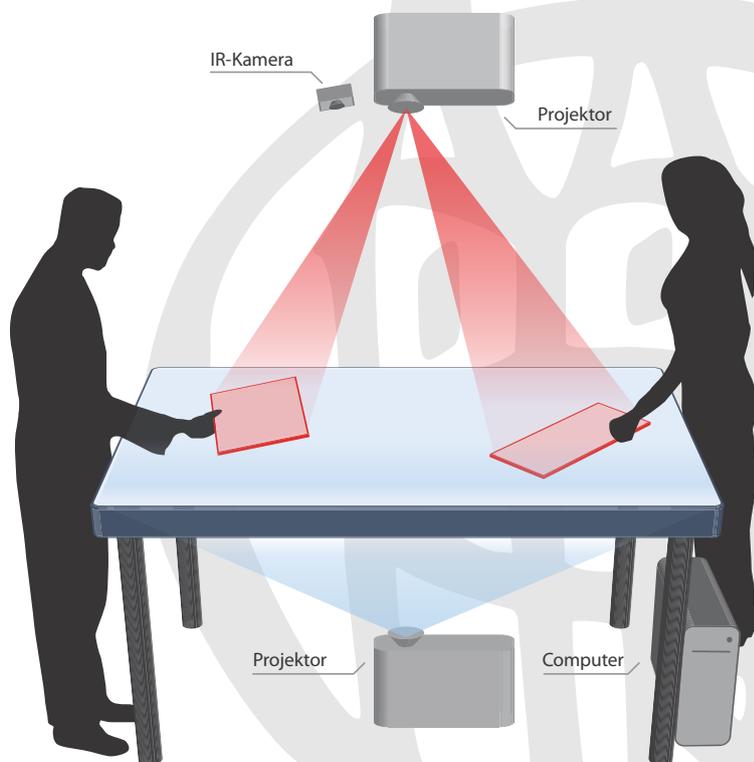
## 3. Passive und aktive Displays

Wir unterscheiden zwischen zwei grundlegenden Arten von lagebewussten Displays: *passive* und *aktive Displays*. Im Folgenden werden wir ihre wichtigsten Eigenschaften gegenüberstellen.

### 3.1 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 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. (2011) demonstriert. Darüber hinaus können passive Displays leicht in die dritte Dimension erweitert werden (z.B. als Zylinder oder Würfel).

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.



**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.

### 3.2 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.

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.

## 4. Interaktionskonzepte

Im Folgenden stellen wir den konzeptionellen Aufbau des Tangible Magic Lens Systems vor und skizzieren grundlegende Interaktionstechniken, die die räumliche Lage und Orientierung von mobilen Displays ausnutzen.

### 4.1 Prinzipieller Aufbau

Der prinzipielle Aufbau eines 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 ein Volumen 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.

### 4.2 Interaktionsvokabular

Die Kombination aus einem stationären horizontalen Display (Tabletop) und mehreren in der Hand gehaltenen lagebewussten Displays bietet einige 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 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, wollen wir daher 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 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 Möglich-

keiten sind vielfältig und gehen über die reine Translation der Linsen hinaus. Eine Klassifikation verschiedener Interaktionsmuster für mobile Displays in (Spindler et al. 2010) 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.

#### 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 unterscheiden wir zwischen *horizontaler* (entlang der X- und Y-Achse) und *vertikaler Translation* (entlang der Z-Achse), siehe Bild 2a.

#### Einfrieren

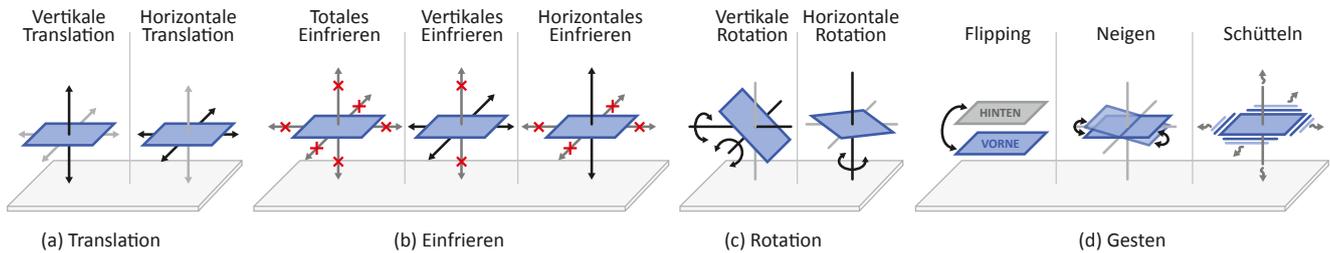
Gelegentlich möchten Nutzer ein mobiles Display bewegen, ohne die Absicht zu verfolgen, mit dem System zu interagieren. Dies kann beispielsweise notwendig sein, wenn ein Nutzer eine bestimmte Ansicht auf den Tisch legen möchte, um sie dann zu annotieren. Zu diesem Zweck müssen alle bzw. ausgewählte Raumachsen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

#### Rotation

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

#### Gesten

Neben der direkten Nutzung der Lageinformation können auch komplexere Bewegungsmuster (Gesten) als Eingabe für das System verwendet werden, siehe Bild 2d. Für verschiedene Anwendungen nutzen wir Flipping-Gesten (Umdrehen des Displays von der Vorder- auf die Rückseite und umgekehrt), Schüttelgesten



**Bild 2:** Auszug aus dem 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 (Spindler et al. 2010).

und Neigegesten (leichtes kurzes Neigen des Displays nach links/rechts bzw. oben/unten).

## 5. Technischer Aufbau

Bei der technischen Umsetzung eines solchen Tangible Magic Lens Systems haben wir uns hauptsächlich auf den passiven Display-Ansatz konzentriert. Unser 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 wir uns für eine verteilte Rechnerarchitektur entschieden haben. Für die Rechnerkommunikation haben wir offene Protokolle verwendet, z.B. VRPN für das Streaming von Gerätezuständen und XML-RPC für das Aufrufen von entfernten Funktionen.

### Tracking von Papierdisplays

Eine exakte Bestimmung der Position und Orientierung der Papierdisplays in Echtzeit ist unerlässlich für das Gesamtsystem. Wir haben uns für ein optisches Verfahren mit 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 Nutzern kaum wahrgenommen werden. Durch die Verwendung von unterschiedlichen Marker-Kombinationen können die Papierlinsen leicht auseinandergehalten werden. Eine kommerziell verfügbare Trackinglösung (Tracking Tools von Natural Point) liefert dann 6DOF-Informationen mit ca. 100Hz in ausreichender Präzision (Fehlerrate ca. 1 mm).

### 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, verwenden wir OpenGL, mit dessen Hilfe wir den physischen Raum über dem Tabletop nachbilden. 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 Frame-Buffer-Object (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.

### Gestenerkennung

Für die Unterstützung von Gesten (Flipping-, Schüttel-, und Neigegesten) haben wir einen rudimentären Gestenerkennung 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 Herbewegungen mit kleiner Ausdehnung.

### 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 erlauben die Stiftinteraktion auf allen Oberflächen. Hierfür haben wir 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 haben wir einige Papierdisplays mit speziellen drucksensitiven Buttons (Arduino) ausgestattet, die mit dem System drahtlos verbunden sind (Xbee).

## 6. Anwendungsszenarien

Die beschriebenen Interaktionskonzepte können für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten eingesetzt werden, z.B.

in der Wissenschaft und Bildung. Im Folgenden werden wir anhand dreier auch prototypisch realisierter Anwendungsszenarien beispielhaft beschreiben, wie dies in die Praxis umgesetzt werden könnte.

## 6.1 Exploration von wissenschaftlichen, volumetrischen Daten

Ein naheliegendes Anwendungsgebiet für Tangible Magic Lenses ist die Exploration und Annotation von großen dreidimensionalen Datensätzen, siehe auch (Konieczny et al. 2005). 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 nutzerdefinierte Schnittebenen in Echtzeit berechnet und dargestellt werden, siehe auch (Spindler, Stellmach und Dachsel 2009). Dies ermöglicht auf sehr direkte Weise eine schnelle und flexible Erkundung des ganzen Datensatzes oder spezieller Strukturen darin (siehe Bild 3).

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 (s. Abschnitt 3) bietet dabei die

notwendig 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.

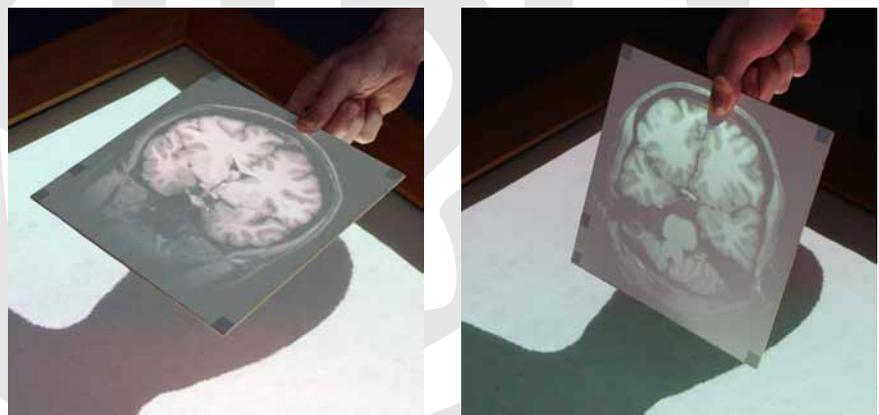
## 6.2 Exploration von Gigapixel-Bildern und 2D-Informationsräumen

Zweidimensionale Informationsräume sind allgegenwärtig, und es gibt sie in verschiedensten Ausprägungen. Typische Beispiele sind neben hochauflösenden 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.

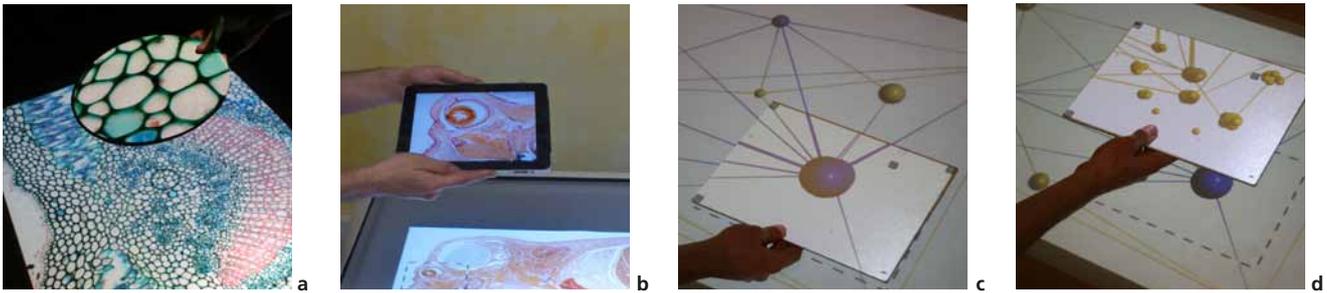
In einer Tabletop-Umgebung bietet es sich von selbst an, das hochauflösende Bild oder die georeferenzierte Karte direkt auf

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 4a/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 (Furnas und Bederson 1995) beschrieben, das direkt auf das Interaktionsvolumen abgebildet wird. Auf dieselbe Weise kann auch semantisches Zoomen umgesetzt werden, z.B. für das Explorieren von geclusterten Node-Link-Diagrammen (siehe Bild 4c/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 haben wir (Spindler, Martsch und Dachsel 2012) gezeigt, dass hierbei mehr als zehn Ebenen 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).



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



**Bild 4:** 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.

### 6.3 Exploration von Raum-Zeit-Würfeln bei Informationsvisualisierungen

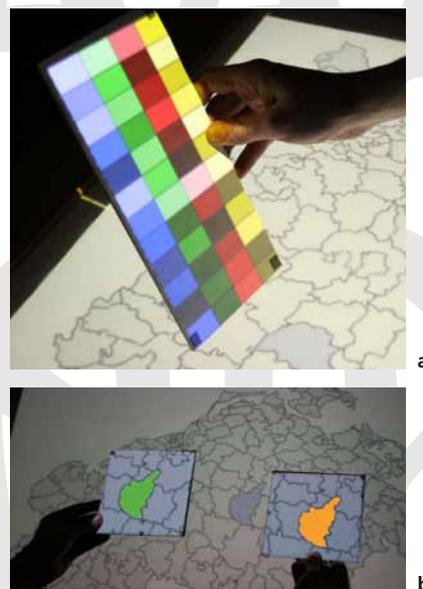
Das Konzept des Raum-Zeit-Würfels integriert räumliche und zeitliche Aspekte in einer vereinheitlichten 3D Darstellung, siehe auch Kraak (2003). Die Analogie zwischen Raum-Zeit-Würfeln und dem dreidimensionalen Interaktionsraum der Tangible Magic Lenses legt es nahe, den räumlichen Aspekt (z.B. eine geographische Karte) auf dem Tabletop darzustellen, während die Zeitdimension auf die Höhe darüber (Z-Achse) abgebildet wird.

Verschiedene mobile Displays dienen dann als physische Fenster in diesen Raum-Zeit-Würfeln. Dessen interaktive Exploration wird dabei durch *horizontale Translation* (Navigation in der räumlichen Dimension, z.B. 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 (z.B. den Monat März für den Bördelandkreis) an. 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 5a.

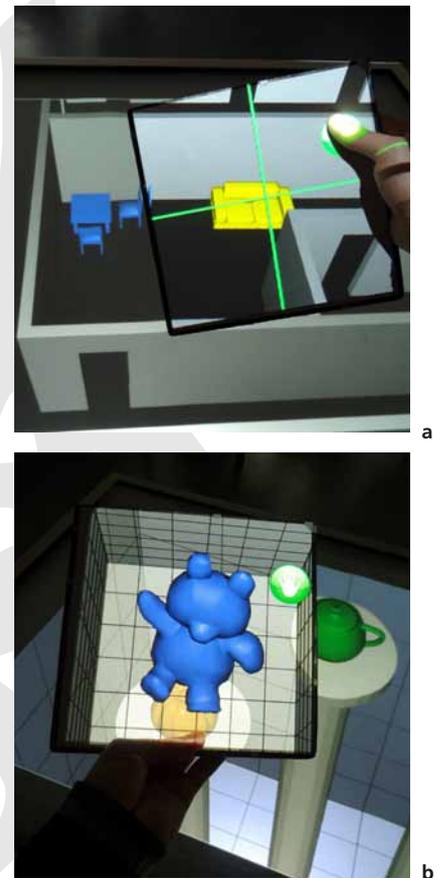
Bei der Exploration von Raum-Zeit-Daten müssen gewöhnlich verschiedene Orte, verschiedene Zeitpunkte oder beides in Kombination miteinander verglichen werden. Das *Einfrieren* eines mobilen Displays hilft hier den Nutzern, ihre Ziele einfacher zu erreichen. Durch *vertikales Einfrieren* kann ein bestimmter 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 5b.



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



**Bild 6:** Ein mobiles Display (a) dient als Fenster in eine virtuelle 3D-Welt, die sich auf, über und unter dem Tabletop befindet. Durch Bewegen 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 (b). Die Verwendung von kopfgebundener Perspektive (mittels Kopftracking) erzeugt dabei einen pseudo-stereoskopischen Eindruck.

## 7. 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 des vorgestellten Systems darin, die Ausgabe, also 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 Begreifen komplexer Informationsräume erlauben.

Das Tangible Magic Lens System wurde in zahlreichen Demo-Sessions und öffentlichen Präsentationen sehr vielen Besuchern präsentiert, z.B. zu Langen Nächten der Wissenschaft oder auf internationalen HCI-Konferenzen. Hierbei hat sich durchweg bestätigt, wie einfach das System zu erlernen und zu bedienen ist – 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. Erfahrungen aus Nutzerstudien, wie beispielsweise in (Spindler, Stellmach und Dachzelt 2009), untermauern diese Aussagen.

In einer aktuellen Weiterentwicklung des Systems machen wir Gebrauch von kopfgebundener Perspektive, 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 6b dargestellte direkte Erkundung eines mit der Linse assoziierten 3D-Objektes zeigt dieses Potential auf.

Wir denken, dass in absehbarer Zukunft leichtgewichtige organische Displays und unkomplizierte räumliche Trackinglösungen (z.B. durch Tiefenkameras) den hier vorgestellten Konzepten und Interaktionstechniken zu tatsächlich nutz-

bringender Anwendung verhelfen werden. 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.

### Literatur

- Bandyopadhyay, D.; Raskar, R.; Fuchs, H.: Dynamic Shader Lamps: Painting on Movable Objects. In Proc. of ISAR'01. IEEE Computer Society, 2001, 207-216.
- 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.
- Fitzmaurice, G. W.: 1993. Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers. Communications of ACM 36, 7. ACM Press, Juli 1993, 39-49.
- Furnas, G. W.; Bederson, B. B.: Space-Scale Diagrams: Understanding Multiscale Interfaces, In Proc. of CHI '95. ACM Press, 1995, 234-241.
- 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.
- Khalilbeigi M.; Lissermann R.; Mühlhäuser, M.; Steimle, J.: Xpaaand: Interaction Techniques for Rollable Displays. In Proc. of CHI '11, ACM Press, 2011, 2729-2732.
- Konieczny, J.; Shimizu, C.; Meyer, G.; Colucci, D.: A Handheld Flexible Display System. In Proc. of VIS '05. IEEE, 2005, 591-597.
- Kraak, M. J.: The Space-Time Cube Revisited from a Geovisualization Perspective. In Proc. of the 21st Intern. Cartographic Conference. 2003, 1988-1996.
- Lee, J. C.; Hudson, S. E.; Tse, E.: Foldable Interactive Displays. In Proc. of UIST '08. ACM Press, 2008, 287-290.
- Spindler, M.; Stellmach, S.; Dachzelt, R.: Paper-Lens: Advanced Magic Lens Interaction above the Tabletop. In Proceedings of ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2009 (ITS '09). ACM Press, 2009.
- 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.

Spindler, M.; Martsch, M.; Dachzelt, R.: Going Beyond the Surface: Studying Multi-Layer Interaction above the Tabletop. In Proc. of CHI '12. ACM Press, 2012.

Ullmer, B.; Ishii H.: The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces. In Proc. of UIST '97. ACM Press, 1997, 223-232.

Yee K.: Peephole Displays: Pen Interaction on Spatially Aware Handheld Computers. In Proc. of CHI '03. ACM Press, 2003, 1-8.

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.



### Dipl.-Ing. Martin Spindler

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Simulation und Grafik der Universität Magdeburg. Er beschäftigt sich schwer-

punktmäßig mit der natürlichen und nahtlosen Interaktion in Multi-Display-Umgebungen und entwickelt im Rahmen seiner Promotion neuartige Interaktionskonzepte für lagebewusste handgehaltene Displays.

E-Mail: spindler@ovgu.de



### Prof. Dr.-Ing. Raimund Dachzelt

ist seit April 2012 Inhaber der Professur für Multimedia-Technologie an der TU Dresden. Zu seinen Forschungsschwerpunkten

gehört die natürliche und nahtlose Interaktion in Umgebungen mit mehreren, zumeist interaktiven Displays. Untersucht werden dafür verschiedene Interaktionsmodalitäten – u.a. die Eingabe per Stift, Multitouch, Gesten, Augenbewegung oder Tangibles – und deren effektive Kombination.

E-Mail: dachzelt@acm.org