

Fabian Hennecke

Erfahrungen aus der Entwicklung eines interaktiven, non-planaren Displays

Lessons Learned from the Development of an Interactive, Non-planar Display

Gebogene Displays_Interaktive Oberfläche_Design Prozess_Entwicklung_Grafische Benutzerschnittstellen

Zusammenfassung. Die Entwicklung im Bereich interaktiver Displays schreitet nicht nur in der Größe und Auflösung voran, auch die Form der Displays wird verändert. Neben flachen Displays, die unterschiedlich zum Nutzer orientiert sein können, gibt es mittlerweile gebogene Displays, die die Eigenschaften dieser unterschiedlichen Displayorientierungen kombinieren. Da es in jedoch noch kaum Erfahrungen mit solchen Systeme gibt, fasst dieses Papier die Entwicklung eines gebogenen Displays zusammen und hebt dabei Vor- sowie Nachteile der genutzten Techniken hervor. Dazu werden die einzelnen Schritte vom Prototyping während der Displayentwicklung bis hin zu speziell angepassten grafischen Benutzerschnittstellen vorgestellt. Basierend auf diesen Schritten werden die Erfahrungen abschließend in Form von Empfehlungen für die Entwicklung weiterer gebogener Displays zusammengefasst. Sie sollen helfen ähnliche Projekte besser zu planen und durchzuführen.

Summary. The technological development of interactive surfaces does not only cover areas like size or resolution but also includes the shape of the display. While there are several planar displays, which can be differently oriented to the user, there are also non-planar displays, which try to combine the advantages of differently oriented display areas. As there are only a few examples for the design process of a non-planar interactive display this paper presents an overview of the development of such a device. It describes the basic prototyping as well as studies and interfaces, which were implemented especially for this display. These experiences led to multiple lessons learned for the development of an interactive, nonplanar display which are presented at the end of this paper. They can help researchers and developers to avoid some mistakes while developing a non-standard display.

1. Einleitung

Im Laufe der letzten Jahre haben sich moderne Displays nicht nur in Größe und Auflösung sondern auch in anderen Eigenschaften weiterentwickelt. Die vermutlich bedeutendste Veränderung stellt dabei die Interaktivität der Bildschirme durch Berührung (Touch) anstelle der bisherigen indirekten Bedienung per Maus dar. Während die direkte Interaktion bei mobilen Geräten (Smartphone, Tablet) mittlerweile weit verbreitet ist, sind Displays am Arbeitsplatz meist noch nicht berührungssensitiv. Es gibt zwar erste Ansätze die Interaktion per Touch auch bei Desktop-Rechnern zu integrieren, diese werden aber noch nicht wirklich angenommen

(Beispiel: Windows 8). Interaktive Systeme, die auf Touch basieren, sind daher im Desktop-Bereich immer noch eine Seltenheit.

In der Forschung sieht es jedoch anders aus. Neben der Weiterentwicklung von Größe und Auflösung werden auch unterschiedliche Displayorientierungen (Wellner 1991) und Interaktionsarten (Lahey 2011) untersucht. Darüber hinaus gibt es auch erste Ansätze gebogener (non-planarer) Displayflächen. Eine erste Idee wie ein solches interaktives non-planares Display in normale Arbeitsabläufe integriert werden könnte, zeigte der Starfire-Videoprototyp (Tognazzini 1994). Die direkte Interaktion auf dem vertikalen Displaybereich ist genauso Teil des Prototyps wie die Nutzung der interaktiven horizontalen Fläche. Das Besondere an diesem Display ist jedoch

der Übergang zwischen den beiden Bereichen. Die nahtlos gebogene Verbindung wird sowohl zur Inhaltsanzeige als auch zur Interaktion genutzt. Sie erlaubt den einfachen Transfer von Objekten zwischen den verschiedenen Displaybereichen um deren jeweilige Stärken zu nutzen.

Seit diesem ersten Designentwurf wurde die Kombination unterschiedlich orientierter Displaybereiche weiterentwickelt. Dabei haben sich zwei Arten von Kombinationen herauskristallisiert: multi-planare Systeme (Arai 1995), die mehrere planare Displaybereiche direkt miteinander kombinieren, und non-planare Displays, die nahtlos gebogene Verbindungen zwischen unterschiedlichen Displaybereichen bieten (Czerwinski 2003, Benko 2008, Weiss 2009, Wimmer 2009).



Abbildung 1: Links: Eine Studentin interagiert mit dem Papierprototyp während der Entwicklung des Curve (Wimmer 2009). Rechts: Finale Konstruktion des Curve basierend auf einer gebogenen Plexiglassplatte.

Um weitere Projekten, die sich mit interaktiven, non-planaren Displays beschäftigen, zu unterstützen beschreibt dieses Papier den vollständigen Entstehungs- und Entwicklungsprozess eines großen, interaktiven und non-planaren Displays anhand des Curve (Wimmer 2009). Dazu werden zuerst Erfahrungen aus der Konzeptions- und Bauphase des Curve beschrieben (siehe Abbildung 1). Danach werden die Ergebnisse zum Einfluss der gebogenen Displayform auf grundlegende Interaktionsformen vorgestellt. Darauf aufbauend werden Möglichkeiten zur Entwicklung neuer Interfaces, die die gebogene Displayform ausnutzen, anhand zweier konkreter Beispiele beschrieben.

Abschließend werden auf den gesammelten Erfahrungen Empfehlungen formuliert, die Entwicklern beim Design neuartiger non-planarer Displays und entsprechend angepasster User Interfaces helfen können.

2. Der Curve

Der Grundgedanke des Curves führt die Idee des Starfire-Videoprototyps (Tognazzini 1994) weiter. Er ist ein interaktives, non-planares Display von der Größe eines Schreibtischs (Wimmer 2009). Seine Form wurde während der Entwicklung in mehreren Iterationsschritten und auf ergonomische Gegebenheiten hin optimiert (siehe Abbildung 1). Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die Konzeption, das Vorgehen bei der Entwicklung und den Bau des Curve.

2.1 Prototyping

Vor dem Bau des Curve wurde sein Design in mehreren Schritten iterativ überarbeitet. Neben der Anfertigung einfacher Konzeptskizzen wurden dazu auch ein Expertenreview und eine Nutzerstudie durchgeführt. Im Verlauf der Entwicklung wurden die genutzten Modelle des Curve immer konkreter und mündeten schließlich in einem konfigurierbaren Papier-Prototyp.

Zu Beginn der Entwicklung wurden Konzeptskizzen und 3D-Modelle genutzt um die ungefähre Displayform und die Größe abzubilden. Sie dienten als Illustrationen bei Gesprächen und Brainstormings. Hier wurden die Möglichkeiten des Curve im Rahmen von Schreibtischarbeit diskutiert.

Im nächsten Schritt wurde anhand der überarbeiteten Skizzen ein Papierprototyp in Originalgröße konstruiert. Dieser Prototyp wurde durch einen Kognitionspsychologen hinsichtlich ergonomischer und psychologischer Faktoren bewertet. Dabei wurden einige Punkte des Designs, wie zum Beispiel die Displayhöhe, kritisiert. Dieses Feedback wurde ausgewertet und floss in einen neuen, flexibel konfigurierbaren Papierprototyp ein. Der Prototyp (siehe Abbildung 1 (links)) konnte in den einzelnen Displayparametern Höhe, Neigung und Kurvenradius separat angepasst werden. Mit diesem Prototyp wurde dann eine abschließende Nutzerstudie durchgeführt (Wimmer 2010). In dieser Studie mit neun Teilnehmern, eingeteilt in drei verschiedene Gruppen entsprechend ih-

rer Körpergröße, wurden alle Kombinationen dieser drei Parameter untersucht. Als Aufgabe mussten unterschiedliche Dragging-Aufgaben entlang vorgegebener Pfade durchgeführt werden. Die Teilnehmer wussten während der Studie nicht, ob und welche Displayparameter sich zwischen den einzelnen Durchläufen veränderten, da sie während des Umbaus einen Fragebogen in einem anderen Raum beantwortet haben.

Bezüglich der Displayhöhe oberhalb der Tischkante wurde mit 43,75 cm ein Wert unterhalb der durchschnittlichen Augenhöhe eines sitzenden Nutzers bevorzugt. Bei der Displayneigung schnitten die beiden größeren Neigungen (10° und 15°) vergleichbar ab. Um der natürlichen Genickhaltung entgegen zu kommen, entschied man sich beim Curve für eine Neigung von 15°. Eine ähnliche Konstellation gab es beim Kurvendurchmesser des Displays – auch hier wurden die beiden größeren Varianten bevorzugt. Zugunsten einer größeren horizontalen Displayfläche entschied man sich dann für einen Radius von 10 cm.

2.2 Konstruktion

Da der Fokus des Projekts auf einer prototypischen Erforschung der Displayform und ihrer Möglichkeiten liegt, wurden beim Bau des Curve keine komplexen Technologien genutzt. Dies ermöglicht eine vergleichsweise einfache Konstruktion des gesamten Systems (Wimmer 2010). Die genauen Konstruktions- und Implementierungsdetails werden in den folgenden beiden Abschnitten erläutert.

Hardware

Die Darstellung von Inhalten auf dem Curve geschieht mittels Rückprojektion auf eine Projektionsfolie. Diese ist auf eine gebogene Plexiglassplatte gespannt. Um möglichst senkrecht und somit verzerrungsfrei und scharf auf die beiden planaren Displayflächen zu projizieren werden im Projektionsverlauf insgesamt drei Oberflächenspiegel genutzt (siehe Abbildung 2). In der Displaykurve überschneiden sich beide Projektionen jedoch konstruktionsbedingt. Dort sind sie außerdem aufgrund des vergrößerten Abstands zwischen Projektionsfläche

und Projektor etwas unscharf und größer als auf den planaren Flächen. Diese Bildverzerrungen werden softwareseitig (siehe nächster Abschnitt) ausgeglichen.

Die Erkennung der direkten Eingabe geschieht ebenfalls optisch mit dem FTIR-Verfahren (Han 2005). Im System sind dazu vier PointGrey Firefly MV Kameras verbaut, die jeweils etwas mehr als ein Viertel des gesamten Displays direkt abdecken. Die Kamerabilder überschneiden sich bewusst mit den jeweiligen Nachbarbildern, um ein nahtloses Tracking einzelner Eingabepunkte zwischen den Bildern zu ermöglichen.

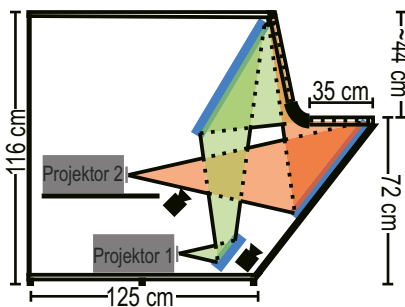


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Curve: Zwei Projektoren projizieren über Spiegel nahezu senkrecht auf die Displaybereiche (nach Wimmer 2010), die vier Kameras sind direkt auf die Displayfläche gerichtet.

Software

Die Software des Curve muss zwei grundsätzliche Probleme lösen. Zum einen muss eine Korrektur der beiden Projektionen erfolgen. Zum anderen müssen die Bilder der vier einzelnen Kameras für den Touch-Input kombiniert und Touch-Punkte normalisiert werden.

Die Projektionskorrektur erfolgt je nach Software-Umgebung auf zwei verschiedene Arten (Raskar 2003). In beiden Fällen wird bei der manuellen Kalibrierung ein einfaches Gitternetz durch beide Projektoren dargestellt. Dieses Gitternetz muss vom Nutzer per Tastatur so manipuliert werden, dass statt zwei verzerrten Netzen ein durchgehendes Netz zu sehen ist (Weiss 2010). Aufbauend auf den daraus gewonnenen Daten setzt die erste Methode zur Korrektur der Darstellung auf die Texturierung eines virtuellen 3D-Modells. Der Inhalt, der auf dem gebogenen Display erscheinen soll, wird in die Textur dieses Modells

gerendert. Das 3D-Modell ist durch die vorherige Kalibrierung exakt so geformt, dass die Modell-Textur durch die Display-Verbindung hinweg nahtlos dargestellt wird. Die zweite Entzerrungsmethode nutzt den Pixel-Shader der Grafikkarte. Die Verschiebungswerte für jedes darzustellende Pixel, die während der Kalibrierung berechnet werden, sind dazu in Farbkanäle eines Bitmaps gespeichert (Alpha + Rot = X-Verschiebung, Blau + Grün = Y-Verschiebung). Sie können so zur Laufzeit im Pixel-Shader ausgelesen und für die pixelweise Bildverzerrung genutzt werden.

Die Kalibrierung der Eingabe basiert ebenfalls auf einem Gitternetz, dessen Eckpunkte während der Kalibrierung nacheinander per Touch berührt werden müssen. Das System speichert dabei die erkannten Touch-Kamerakoordinaten von jeder Kamera. Diese Daten werden zur Laufzeit genutzt um erkannte Punkte mittels Interpolation in das globale Koordinatensystem des Curves zu transformieren. In den Überlappungsbereichen der Kamerabilder muss nach der Umrechnung ins globale Koordinatensystem zusätzlich bei nahe aneinander liegenden Punkten entschieden werden, ob es sich um zwei getrennte Punkte oder eine einzige Eingabe handelt, die von zwei Kameras gleichzeitig registriert wurde. Bei dieser Abschätzung muss man sich zwischen einer robusten (Punkte werden großzügig zusammengelegt) und einer möglichst empfindlichen (nur sehr nahe Punkte werden kombiniert) Erkennung entscheiden. Während die Erkennung einfacher Objektmarker eine genaue Erkennung erfordert, genügt für den normalen Betrieb mit Touch-Eingabe eine robuste Erkennung.

3. Auswirkungen auf die Interaktion

Trotz des Prototypings während der Konzeptionsphase ist bei einem neuartig geformten Display zunächst unklar, inwieweit grundlegende Interaktionsformen beeinflusst werden. Ein Beispiel ist die veränderte Erreichbarkeit von virtuellen Objekten. So sind beim Curve Teile des Displays, die bei einem großen planaren Display nur schwer erreichbar sind,

durch die Biegung des Displays problemlos erreichbar.

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über Studien zum Einfluss einer solchen Displayumgebung auf grundlegende Interaktion. Dabei wird zwischen der Interaktion zwischen den unterschiedlich orientierten Displaybereichen und dem Einfluss der Displayverbindung unterschieden.

3.1 Interaktion auf den Displayflächen

Zunächst wurden die Vor- und Nachteile der verschieden orientierten Displayflächen und deren Kombination untersucht. Dabei wurde zwischen Mauseingabe, Touch und einem Tangible User Interface (TUI) unterschieden.

In einer an Fitts' Law (Fitts 1954) angelehnten Studie (Hennecke 2013b) wurden die Auswirkungen der Displayform des Curves auf Selektionen (Pointing) untersucht. Es konnten nicht nur die Vorhersagbarkeit der Interaktion gemäß Fitts' Law nachgewiesen werden, sondern auch, dass die verschiedenen Bereiche der Displays unterschiedlich gut für Pointing geeignet sind. Sowohl bei Maus- als auch besonders bei Touch-Interaktion schnitten die äußeren Bereiche des Displays langsamer ab und die Treffgenauigkeit war schlechter. Eine Analyse der Displayform mit Hilfe des Menschmodells RAMSIS (FAT 1995) lieferte für diese Ergebnisse hinsichtlich der Touch-Interaktion eine einfache Erklärung: gerade die äußeren Displayränder sind für einen durchschnittlich großen Nutzer nur unter Einbeziehung einer Bewegung des Oberkörpers zu erreichen (Palleis 2013). In Bezug auf die Eingabe per Maus ist die Ursache jedoch nicht abschließend geklärt. Vermutlich beeinflusst hier die perspektivische Verzerrung bei der Sicht auf die äußeren Displaybereiche die indirekte Interaktion (Hennecke 2013b).

Im Bereich neuartiger Interfaces sind vor allem greifbare Schnittstellen, die auf physikalischen Objekten (z. B. Knöpfe und Regler) basieren, im Fokus der Forschung. Während diese physikalischen Objekte auf einem horizontalen Display aufgrund der Schwerkraft in ihrer Position verbleiben, benötigen sie auf einem

vertikalen Display einen zusätzlichen Haltemechanismus. In verschiedenen Projekten wurden Techniken vorgestellt um ein TUI auch auf solchen nicht-horizontalen Flächen zu nutzen. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Beweglichkeit und den Anforderungen an die genutzte Displayfläche. Erste Erfahrungen mit einem TUI am Curve (Hennecke 2012b) deuten darauf hin, dass dessen Nutzung auch auf dem vertikalen Displaybereich praktikabel ist. Zwar wurde die Nutzung auf der horizontalen Fläche von den Testpersonen einer ersten Studie bevorzugt, doch nach einer Eingewöhnungsphase wurden auch an der vertikalen Fläche Objekte problemlos genutzt. Dennoch deutet die Interaktionshäufigkeit im Verlauf der Studie daraufhin, dass die horizontale Fläche unterbewusst bevorzugt wird.

3.2 Auswirkung der Display-Verbindung

Wie eine Studie am BendDesk (Weiss 2010) gezeigt hat wirkt sich eine Biegung im Display direkt auf berührungsbasierte Dragging-Gesten aus, die durch die Displaybiegung führen. Je nach Durchquerungswinkel wurden unterschiedliche Strategien der Nutzer beobachtet um den Weg durch die Biegung zu minimieren. Es wurde auch beschrieben, dass die Teilnehmer die Displaybiegung eher als trennendes statt als verbindendes Element beschrieben haben.

In einer ähnlichen Studie am Curve (Hennecke 2012a) wurde die Auswirkung der Art des Displayübergangs sowohl auf direkte als auch auf indirekte Interaktion untersucht. Es wurden drei unterschiedliche Verbindungstypen (Kurve, Kante, Rahmen; siehe Abbildung 3) miteinander verglichen. Für die Bedingungen Kante und Rahmen wurde der Curve mit Hilfe planarer Plexiglasplatten zu einem multi-planaren Display umgebaut.

Die Ergebnisse der Studie bestätigen zum einen die Beobachtungen zur Minimierung des Durchquerungswinkels (Weiss 2010). Zum anderen zeigen sie, dass nicht alle Verbindungstypen für beide Eingabemodalitäten gleich gut

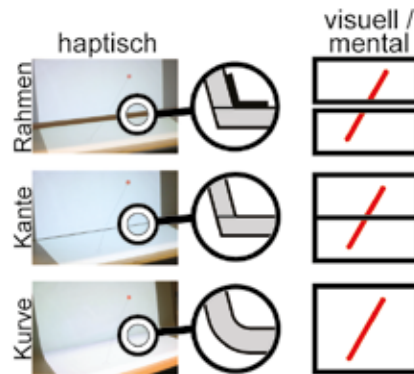


Abbildung 3: Die gebogene Verbindung des Curve ist gut für Touch-Interaktion geeignet, während die kantige Verbindung bei Mauseingabe gut bewertet wurde (nach Hennecke 2012a).

geeignet sind. Während die Kurve bei der direkten Eingabe sehr gut abschnitt, wurde die indirekte Interaktion durch die Kurve deutlich schlechter bewertet. Bei der kantigen Verbindung schneiden die Eingabearten hingegen genau andersherum ab. Hier profitiert die Mauseingabe scheinbar von den rein planaren Displayflächen. Das mündliche Feedback der Teilnehmer der kurvigen Verbindung untermauert diesen Verdacht. Die Trennung der beiden Displaybereiche durch einen Rahmen schnitt mit keiner der beiden Eingabearten gut ab.

In einer weiteren Studie am BendDesk (Voelker 2012) wurde der Einfluss der drei Verbindungsarten (Kurve, Kante, Rahmen) auf Flicking untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass eine Kurve die höchste Genauigkeit für Flicking von der horizontalen auf die vertikale Displayfläche bietet. Die Genauigkeit der Interaktion nimmt zu je näher deren Startpunkt an der gebogenen Displayverbindung liegt. Basierend auf ihren Ergebnissen präsentieren die Autoren ein erstes mathematisches Modell für die Vorhersage der Fehler beim Flicking in diesem Szenario. Damit können zukünftige User Interfaces korrigierend eingreifen, Fehler vermeiden oder deren Folgen zumindest abschwächen.

4. Anwendungsbeispiele

Neben diesen grundlegenden Untersuchungen spielt auch die Anpassung von grafischen Benutzerschnittstellen an neuartige Displayformen eine wichtige

Rolle. Die bisher umgesetzten Projekte am Curve zeigen hierfür zwei mögliche Richtungen auf: (1) das Ausnutzen der Displayform um perspektivische Visualisierungen zu realisieren und (2) die Optimierung vorhandener Arbeitsumgebungen, die auf separaten, unterschiedlich orientierten Displays basieren.

4.1 Perspektivische Darstellung

Perspektivische Darstellungen und Visualisierungen auf planaren Displays gibt es schon seit geraumer Zeit. Dabei kann die Kombination unterschiedlicher Perspektiven jedoch zu einer unnatürlichen Darstellung des Inhalts führen (Lorenz 2008). Diesem Problem begegnet Perspective+Detail (Schwarz 2012) indem in der Displaykurve des Curve eine räumlich korrekte, perspektivische Visualisierung nahtlos dargestellt wird. Die horizontale Displayfläche wird genutzt um eine kartenähnliche Ansicht auf ein Verkehrsnetz darzustellen. Die Kurve und ein Teil der vertikalen Displayfläche werden zusätzlich dazu genutzt um dieses Netz in einer perspektivischen Ansicht fortzusetzen. Für den Betrachter wirkt es als läge die virtuelle Karte direkt vor ihm (siehe Abbildung 4). Eine erste Studie zu Perspective+Detail hat gezeigt, dass die perspektivische Erweiterung vor allem als Hilfe beim vorausschauenden Navigieren zum Einsatz kommt. Die Studienteilnehmer konnten durch die Erweiterung Abkürzungen beim Navigieren erkennen und nutzen. Dreidimensionale Markierungen (Domes) in der perspektivischen Darstellung helfen außerdem dabei markante Punkte schneller zu finden und auf Probleme aufmerksam zu machen.



Abbildung 4: Die perspektivische Darstellung erfolgt am Curve durch die virtuelle Erweiterung der horizontalen Displayfläche in der Displaykurve (Schwarz 2012 & Hennecke 2013a).

Der PerspectiveTable (Hennecke 2013a) basiert auf derselben Visualisierung. Statt einer Übersichtskarte wird hier jedoch eine virtuelle Arbeitsumgebung für gemeinsames Arbeiten an unterschiedlichen Standorten dargestellt. Der Nutzer sitzt einem virtuellen Avatar seines entfernten Arbeitspartners gegenüber, der ebenfalls an einem gebogenen Display sitzt (siehe Abbildung 5). Gemeinsam arbeiten sie auf einem virtuellen Tisch, der sich logisch gesehen zwischen ihnen befindet. Die vertikale Displayfläche wird zusätzlich als gewöhnlicher Bildschirm genutzt und kann zur Bearbeitung von Dokumenten genutzt werden. Ein Vorteil dieser vollständig virtuellen Kollaborationsumgebung ist, dass sie zur Laufzeit konfigurierbar ist. Theoretisch können somit auch mehrere Arbeitspartner am virtuellen Tisch Platz nehmen. Der virtuelle Konferenztisch kann bei Bedarf auch zur Laufzeit vergrößert werden. In einer weiterführenden Studie, die auf dem PerspectiveTable aufsetzte, konnte außerdem beobachtet werden, dass die Nutzung der virtuell erweiterten Arbeitsfläche keine Probleme bereitet. Den Teilnehmern gelang sowohl der Übergang zwischen physikalischer und virtueller Arbeitsfläche als auch die Interaktion mit der virtuellen Erweiterung mühelos.



Abbildung 5: Der PerspectiveTable kombiniert nahtlos eine physikalische und eine virtuelle Arbeitsumgebung miteinander (Hennecke)

4.2 Einsatz im Katastrophenmanagement

Moderne Leitstände sind heute mit einer Vielzahl unterschiedlich orientierter Displays ausgerüstet. Neben konventionellen Bildschirmen zur Texteingabe finden sich dort mittlerweile auch ver-

mehrt Touch-Displays. Die einzelnen Bildschirme sind jedoch voneinander getrennt und haben zum Teil völlig unterschiedliche grafische Benutzerschnittstellen. Um diese Displayumgebung zu vereinheitlichen und somit Kontext- und Fokuswechsel zu minimieren wurde eine Benutzerschnittstelle für Katastrophenmanagement am Curve entwickelt (Palais 2013).



Abbildung 6: Katastrophenmanagement am Curve: die Teilaufgaben sind optimal auf die Displaybereiche verteilt.

Während der gesamten Entwicklungszeit waren Experten aus dem Katastrophenmanagement in die Interfacegestaltung eingebunden. In einem iterativen Prozess mit Prototypen unterschiedlicher Qualität (siehe Abbildung 6) wurde ihre Meinung zum jeweiligen Design eingeholt. Dabei stellten sich Papierprototypen, die sowohl in der Darstellung als auch in der Displayform relativ abstrakt gehalten waren, als problematisch heraus. Aufgrund der hohen Abstraktionsebene der Displayform und des Inhalts führten sie nur zu grundlegendem Feedback. Daher wurde ein pixelgenauer Prototyp entworfen und umgesetzt. Elemente, mit denen häufig direkt interagiert wird, sind auf der horizontalen Displayfläche untergebracht, während die vertikale Fläche für die Darstellung von Text und Eingabemasken genutzt wird. Die Displaykurve dient als Zwischenablage. Von hier können Inhalte auf beide Bereiche gezogen werden. Während die Displaykurve die einzelnen Displaybereiche dadurch optisch trennt, verbindet ihre Funktion sie zu einer einheitlichen Programmoberfläche. Dieser pixelgenaue Prototyp, der während der Studie vom Versuchsleiter unauffällig durchgeschaltet wurde (Wi-

zard of Oz), führte in einer ersten Studie zu deutlich präziserem Feedback, da die Studie stärker an einem tatsächlichen Nutzungsszenario angelehnt war. Es wurden inhaltliche Unstimmigkeiten, wie die Anzahl unterschiedlicher Alarmtypen, angesprochen. Diese waren in den bisherigen Iterationen mit den eher statischen Papierprototypen nicht aufgefallen.

5. Erfahrungen

Im Curve-Projektverlauf haben sich einige Vorgehensweisen als sinnvoll und andere Entwicklungsmethoden als problematisch herausgestellt. Dieser Abschnitt fasst die einzelnen Erkenntnisse zusammen und formuliert Empfehlungen für ähnliche Projekte.

5.1 Displayform frühzeitig evaluieren

Das erste Design für die gebogene Displayform des Curve beinhaltete Ideen, die von Ergonomie-Experten umgehend verworfen wurden. Die weitere Entwicklung der Displayform wurde dann maßgeblich durch einen iterativen Designprozess mit mehreren Schritten und verschiedenen Prototypen entwickelt. Auf diese Weise wurden Designfehler sehr früh erkannt und in der finalen Displayform vermieden.

Als besonders sinnvoll hat sich die Studie mit einem flexiblen Papierprototyp herausgestellt (Wimmer 2010). Der hohe Abstraktionsgrad des Papierprototyps und der simulierten Dragging-Interaktion stellte die Teilnehmer vor keine Probleme. Es konnten klare Vorlieben der Nutzer identifiziert werden. Ein weiteres hilfreiches Werkzeug in diesem Projektschritt kann die technische Analyse mit dem RAMSIS Menschmodell (FAT 1996) sein. Basierend auf ergonomischen Grundlagen gibt diese Analyse wichtige Hinweise auf Greifräume, Schriftgrößen und Sichtbereiche.

Letztendlich hat erst die Kombination all dieser Schritte geholfen mögliche Probleme mit der Displayform des Curve zu vermeiden.

5.2 Auswirkungen untersuchen und Nutzer befragen

Die Vergleichsstudien mit drei verschiedenen Verbindungstypen (Hennecke 2012a, Voelker 2012) zeigen, dass die Gestaltung der Displayoberfläche einen deutlichen Einfluss auf Touch- und Mauseingaben hat. Dies spiegeln jedoch nicht nur die quantitativen Ergebnissen wider, sondern auch die Aussagen der Studienteilnehmer (Hennecke 2012a). Diese nehmen die Interaktionen teils deutlich anders wahr als die objektiven Messergebnisse. Erste Erfahrungen zu Tangible User Interfaces am Curve zeigen außerdem, dass dieser Unterschied zwischen objektiver Messung und subjektiver Wahrnehmung auch für neuartige Interaktionskonzepte gilt. Diese Unterschiede sollten daher bei neuartigen Displayformen generell bei der Entwicklung berücksichtigt werden.

5.3 Displayform ausnutzen

Das Ausnutzen einer non-planaren Displayform kann auf mindestens zwei Arten erfolgen. Der erste Ansatz nutzt die Displayform für eine an die Realität angepasste Darstellung von Informationen. Wie die MS Sphere (Benko 2008), ein kugelförmiges, interaktives Display, gezeigt hat, können Kartendarstellungen von dieser Displayform profitieren. Die Probleme der Mercator-Projektion treten auf dem runden Display nämlich nicht auf. Etwas ähnliches hat sich auch beim Curve gezeigt: Die perspektivischen Visualisierungen Perspective+Detail (Schwarz 2012) und PerspectiveTable (Hennecke 2013a) erweitern die horizontale Displayfläche virtuell. Dadurch erlauben sie

die Darstellung einer realitätsnahen und dennoch flexibel konfigurierbaren perspektivischen Visualisierung.

Der zweite Ansatz bezieht sich auf Display-Umgebungen, die unterschiedlich orientierte Displays in einem Arbeitsplatz kombinieren. Ein nahtloses Interface auf einem non-planaren Display kann hier zu einer Verringerung von Kontext- und Fokuswechseln führen. Basierend auf den grundlegenden Studien zum Einfluss der Displayform können dann sowohl die Interaktionshäufigkeit, die erforderliche Präzision und Reaktionsgeschwindigkeit, als auch die Bewertung der Eingabe durch Nutzer sinnvolle Entscheidungsmerkmale für das Interfacedesign sein.

5.4 Prototyping-Methoden anpassen

Beim Design neuartiger Displayformen und dazu passender Interfaces spielt Prototyping eine wichtige Rolle, jedoch gibt es einige Besonderheiten. Es eignen sich nämlich nicht alle bekannten Methoden gleichermaßen gut (Palleis 2013). Während einfache Papierprototypen zwar die ungefähren Positionen und Maße eines Interfaces abbilden, ist es schwierig die eigentliche Displayform oder deren Interaktivität korrekt zu simulieren. Können die Form und Größe nicht exakt nachgebildet werden (siehe Abbildung 7), sind die Ergebnisse eventuell nicht oder nur begrenzt auf spätere Interfaces übertragbar. Fehlt außerdem die Interaktivität können Effekte der Displayform nicht überprüft werden.

Eine Möglichkeit diese Probleme zumindest abzumildern stellen pixelgenaue Mockups des Interfaces dar, die während einer Nutzerstudie vom Testleiter unauf-

fällig gesteuert werden (Wizard of Oz). Diese simulierte Interaktivität eines pixelgenauen Prototyps auf dem realen System führt dazu, dass das Feedback der Studie aussagekräftiger und zuverlässiger ausfällt (Palleis 2013).

6. Zusammenfassung

In diesem Papier werden Design-, Entwicklungs- und Studienerfahrungen beim Bau und im Umgang mit interaktiven, non-planaren Displays präsentiert. Neben Informationen zum eigentlichen Design und dem Bau des Curve werden auch die Einflüsse einer gebogenen Displayform auf grundlegende Interaktionstechniken zusammengefasst. Zuletzt werden auch Interfaces, die speziell an gebogene Displays angepasst wurden, vorgestellt.

Basierend auf den Studien und gemachten Erfahrungen werden vier Empfehlungen formuliert, die bei der Entwicklung neuartiger interaktiver Displayformen helfen können. Eine (1) frühzeitige und ausgiebige Evaluation der Displayform erlaubt das Identifizieren und Vermeiden möglicher Probleme bereits vor der Konstruktion des Displays. Anschließend sollte der (2) Einfluss der neuen Displayform auf grundsätzliche Interaktionsformen untersucht werden. Hierbei spielt auch die subjektive Wahrnehmung der Nutzer eine wichtige Rolle. Die Ergebnisse der objektiven Messungen und die subjektiven Bewertungen können dann bei der (3) Adaption von grafischen Benutzerschnittstellen und der Erstellung von Visualisierungen berücksichtigt werden. Zur Entwicklung dieser Prototypen sollten dabei (4) angepasste Prototyping-Methoden genutzt werden. Nur so können spezielle Eigenschaften und Einflüsse der neuen Displayform berücksichtigt werden.

7. Weitere Entwicklung

Bekannte Interfaceparadigmen, wie das WIMP-Paradigma, sind bisher nicht für eine gebogene Displayform optimiert. So ist beispielsweise nicht klar, wo eine Taste auf einem gebogenen Display platziert werden sollte. An einem der Ränder oder als visuell trennendes Element in der Displaykurve? Die Anpassung des nativen



Abbildung 7: Links: Erster Prototyp während der Interface-Entwicklung. Rechts: Fortgeschrittener Prototyp in Originalgröße und Originalform.

Betriebssystem stellt daher einen herausfordernden nächsten Schritt dar.

Ein weitere interessante Entwicklung sind biegbare Displays, wie beispielsweise OLED. Im Rahmen von high-fidelity Prototypen können sie genutzt werden um zusammen mit einer berührungssensitiven Folie bereits zu Beginn eines Projekts Studien zu den Einflüssen einer neuen Displayform durchzuführen. Dies würde vermutlich präzisere und realistischere Ergebnisse liefern als ein konfigurierbarer Papierprototyp wie er bei der Entwicklung des Curve genutzt wurde.

Danksagung

Ein großes Dankeschön gebührt allen beteiligten Studenten für ihre Arbeit und Prof. Dr. Andreas Butz für sein Feedback zu den Projekten.

Literatur

- Arai, T., Machii, K., Kuzunuki, S., und Shojima, H.: Interactivedesk: a computer-augmented desk which responds to operations on real objects. In CHI '95, pages 141–142. ACM, 1995.
- Benko, H., Wilson, A. D., und Bala-krishnan, R.: Sphere: multi-touch interactions on a spherical display. In UIST '08, pages 77–86. ACM, 2008.
- Czerwinski, M., Smith, G., Regan, T., Meyers, B., Robertson, G., und Starkweather, G. (2003). Toward characterizing the productivity benefits of very large displays. In Interact '03, pages 9–16. IOS Press, 2003.
- FAT-Bericht 123. RAMSIS – ein System zur Erhebung und Vermessung dreidimensionaler Körperhaltungen von Menschen zur ergonomischen Auslegung von Bedien- und Sitzplätzen im Auto. Frankfurt, 1995.
- Han, Jefferson Y. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In UIST '05, pages 115–118. ACM, 2005.
- Hennecke, F., Matzke, W., und Butz, A.: How screen transitions influence touch and pointer interaction across angled display arrangements. In CHI '12, pages 209–212. ACM, 2012a.
- Hennecke, F., Wimmer, R., Vodicka, E., und Butz, A.: Vertibles: using vacuum self-adhesion to create a tangible user interface for arbitrary interactive surfaces. In TEI'12, pages 303–306. ACM, 2012b.
- Hennecke, F., Voelker, S., Schenk, M., Schaper, H., Borchers, J., Butz, A.: PerspectiveTable: Blending Physical and Virtual Collaborative Workspaces. Im Workshop ‚Blended Interaction: Envisioning Future Collaborative Interactive Spaces‘, CHI '13, 2013a.
- Hennecke, F., De Luca, A., Nguyen, N. D. H., Boring, S., und Butz, A.: Investigating pointing tasks across angularly coupled display areas. In INTERACT '13. Springer, 2013.
- Lahey, B., Girouard, A., Burlison, W., und Ver-tegaal, R.: PaperPhone: understanding the use of bend gestures in mobile devices with flexible electronic paper displays. In CHI '11, pages 1303–1312. ACM, 2011.
- Lorenz, Haik, Trapp, M., Jobst, M. und Döllner, Jürgen: Interactive multi-perspective views of virtual 3D landscape and city models. The European Information Society: Taking Geoinformation Science One Step Further, pages 301–321. Springer, 2008.
- Palleis, H., Hennecke, F., Hösl, A., und Hußmann, H.: Applying a User-centered Design Process for Expert Users on a Large Non-standard Display. In ITS '13. ACM, 2013.
- Raskar, R., van Baar, J., Beardsley, P., Willwacher, T., Rao, S., und Forlines, C.: iLamps: geometrically aware and self-configuring projectors. In SIGGRAPH '03, pages 809–818. ACM 2003.
- Schwarz, T., Hennecke, F., Lauber, F., und Reiterer, H.: Perspective+detail: a visualization technique for vertically curved displays. In AVI '12, pages 485–488. ACM, 2012.
- Tognazzini, B.: The „Starfire“ video prototype project: a case history. In CHI '94, pages 99–105. ACM, 1994.
- Weiss, M., Voelker, S., und Borchers, J.: Benddesk: Seamless integration of horizontal and vertical multi-touch surfaces in desk environments. In Tabletop '09 (Extended Abstracts), ACM, 2009.
- Weiss, M., Voelker, S., Sutter, C., und Borchers, J.: Benddesk: dragging across the curve. In ITS '10, pages 1–10. ACM, 2010.
- Wellner, P.: The digitaldesk calculator: tangible manipulation on a desk top display. In UIST '91, pages 27–33. ACM, 1991.
- Wimmer, R., Schulz, F., Hennecke, F., Boring, S., und Hußmann, H.: Curve: Blending horizontal and vertical interactive surfaces. In Tabletop '09 (Extended Abstracts). ACM, 2009.
- Wimmer, R., Hennecke, F., Schulz, F., Boring, S., Butz, A., und Hußmann, H.: Curve: revisiting the digital desk. In NordiCHI '10, pages 561–570. ACM, 2010.

Fabian Hennecke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Seit Abschluss seines Diploms der Medieninformatik beschäftigt er sich im Rahmen seiner Promotion mit dem Curve – einem gebogenen, interaktiven Display. Er untersucht sowohl Einflüsse der Displayform auf die Interaktion als auch das Potenzial der Displayform für neue Benutzerschnittstellen.

E-Mail: fabian.hennecke@ifi.lmu.de

