

# FLEXIBLE DISPLAYS AND SURFACES

**Ahmet Yüксеktepe**

Universität RWTH Aachen  
52062 Aachen, Deutschland  
ahmet.yueksektepe@rwth-aachen.de

**Nick Russler**

Universität RWTH Aachen  
52062 Aachen, Deutschland  
nick.russler@rwth-aachen.de

## ABSTRACT

In diesem Paper behandeln wir das Thema flexible Displays und Oberflächen. Um die Notwendigkeit der flexiblen Displays und die deshalb erforderliche Auseinandersetzung mit diesem Themengebiet besser verstehen zu können, ist es wichtig zunächst die Geschichte der Displays zu untersuchen.

Auch ist es vonnöten, sich mit bereits existierenden flexiblen Display-Konzepten und den zugehörigen Interaktionsmöglichkeiten zu befassen, da diese Auskunft über die bestehenden Konstruktionsschwierigkeiten sowie Verbesserungsideen für kommende Produkte geben.

Dasselbe gilt für die Studien die an diesen Prototypen durchgeführt wurden, und ihre Meta-Analyse bezüglich der Verwendungsmöglichkeiten der flexiblen Displays.

Wir werden daher in diesem Paper als erstes die Geschichte der flexiblen Displays vorstellen und dabei untersuchen, wie sich die Eigenschaften der Displays geändert haben.

Als nächstes werden wir hypothetische und bereits in Form von Prototypen implementierte Konzepte vorstellen. Außerdem werden wir auf die Interaktionsmöglichkeiten mit flexiblen Displays genauer eingehen, und mehrere Studien dazu präsentieren. Innerhalb dieser Studien werden unter anderem neue Interaktionsmöglichkeiten entdeckt und die Präferenzen der Benutzer bezüglich der Benutzung dieser vorgestellt. Zuletzt werden wir diskutieren, in welche Richtung die wissenschaftlichen Arbeiten in Zukunft gehen und wie sich flexible Displays entwickeln sollten. Zusätzlich werden wir Probleme einiger Studien aufzeigen.

## 1. Entwicklung der Displays und Eingabegeräte

Displays haben schon eine lange Geschichte hinter sich, so denkt man zwar heute bei dem Wort Display an die modernen Flachbildschirme und Monitore jedoch ist ein Display jede Mögliche Oberfläche auf der man sich in Form von Bildern oder Text ausdrücken und somit mitteilen kann. Die ersten Ansätze von Displays, die noch bis heute erhalten sind, sind uns heute als Höhlenmalereien bekannt. Diese primitiven Formen des Displays entwickelten sich bishin zu den uns bekannten High-Definition-Flat-Screen Displays und wenn man einen Blick in die Zukunft wirft, wird klar, dass diese Reise noch weiter geht. So werden momentan die ersten massenproduktionstauglichen flexiblen Displays entwickelt.



**Abbildung 1 - Höhlenmalerei und Steintafel, die ersten Displays**

Wenn man die Entwicklung des Displays genauer untersucht so beginnt man mit den Höhlenmalereien. Auch diese vollzogen eine Entwicklung von einfachen Bildern hin zur Schrift.

Die Notwendigkeit der Portabilität führte schnell zu einer Entwicklung der Steintafel, welche der erste, uns bekannte, transportfähige Display ist. Die Steintafel diente fortan als neues Medium für Informationsverbreitung, dem Wachstum der Gesellschaft und als Kommunikationsmittel. Außerdem eröffnete sie den Weg mit Wissen Handel zu treiben.

Die offenkundigen Nachteile wie die Größe und das Gewicht der Steintafel wurden mit der Entdeckung des hölzernen Papiers in China überwunden. Außerdem war dieses Display zum ersten mal in gewissem Maße flexibel. So konnte man dieses bereits zusammenrollen und falten, was einen problemlosen Transport und einfache Lagerung ermöglichte.

Die letzte Entwicklungsstufe der nicht-elektronischen Displays wurde mit der Entdeckung des Papiers erreicht. Papier bietet bis heute ein unübertroffenes Maß an Flexibilität. So ist Papier sehr leicht, sehr dünn und günstig in der Produktion. Außerdem kann man es falten, rollen und sogar zerreißen, um somit mehrere kleinere Papiere ("Displays") zu erhalten. Diese Eigenschaften erlauben dem Benutzer es außerdem als Werkzeug für Multitasking zu verwenden.

Man sieht, dass es eine durchgehende Steigerung der Eigenschaften: Portabilität, Gewicht und Flexibilität gab. Ebenso kann man beobachten, dass die elektronischen



**Abbildung 2 – Kathodenstrahlröhrenbildschirm, vergleichbar mit Höhlenwänden, da unbeweglich und schwer**

Displays eine ähnliche Entwicklung nachvollzogen und noch immer vollziehen.

Die ersten elektrischen Monitore waren zwar noch schwer und groß (vergleichbar mit den Höhlenwänden) jedoch ermöglichten sie das erste Mal in der Geschichte des Displays ein dynamisches Anzeigen. Schnell wurden diese zu den modernen LCD bzw. TFT Displays (vergleichbar mit Steintafeln) weiterentwickelt. Mit der Zeit wuchs die Anzahl der Pixel und darstellbaren Farben um ein vielfaches bei gleichzeitiger Reduzierung des Gewichtes und der Tiefe der Geräte.

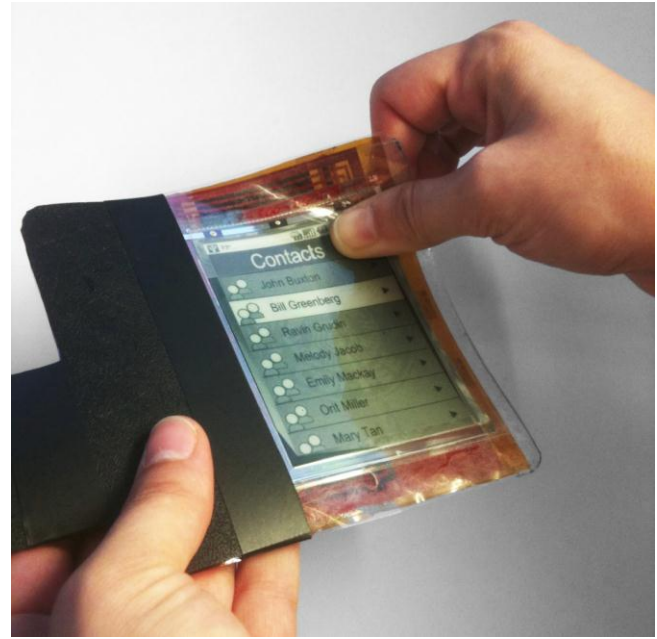
In der Gegenwart ist der Trend des Tablets überall wahrnehmbar. Mithilfe von Tablets konnten mit denen des Papiers zu vergleichende Interaktionsmöglichkeiten realisiert werden.

Nun kann man absehen, dass als nächstes der Schritt in Richtung Flexibilität ansteht. So existieren bereits heute fortgeschrittene Technologien, um biegbares, digitales Papier (zum Beispiel FOLED) herzustellen.

Auch existieren Technologien, um mithilfe von Projektoren und Bildanalyse nahezu jede Oberfläche in einen interaktiven Display zu verwandeln.

## 2. Flexible Displays and Surfaces

Im folgenden werden wir einige repräsentative Konzepte kurz vorstellen, um eine Idee des aktuellen Entwicklungsstandes von flexiblen Displays und Eingabegeräten zu vermitteln.



**Abbildung 3 – PaperPhone [1], Prototyp eines Papierähnlichen Displays**

### 2.1 Flexible Displays – PaperPhone [1]

Flexible Displays sind elektronische Displays, die so gut wie möglich das Aussehen und Verhalten von Papier-Dokumenten imitieren sollen.

Im Unterschied zu starren Displays stellen sich mehrere Vorteile bzw. Nachteile heraus:

#### Flexibel

- Sehr dünn, das leichte Gewicht ermöglicht eine bisher unerreichte Transportfähigkeit
- Viele verschiedene Formate und Formfaktoren möglich (z.B. Zeitung, Armband, ...)
- Variable Bildschirmgröße
- Benutzung von physischen Gesten, welche taktiles Feedback bieten

#### Starr

- Indirekt
- Einhändig
- Beruht auf visuellen Feedback
- Etabliert, daher ist die Produktion günstig

Das PaperPhone ist ein exemplarisches Konzept, da es viele Eigenschaften mit anderen Papier-ähnlichen Displays teilt. So ist es in der Lage Biegegesten, also bspw. das Umbiegen einer Ecke wahrzunehmen und gleichzeitig die entsprechende Reaktion auf einem E-Ink Display auszugeben.

Dieses Konzept wurde in Anlehnung an ein Smartphone entworfen, da die Entwickler von PaperPhone glauben, dass dies das erste kommerzielle Feld sein wird, wo sich flexible Display verbreiten werden, da hier die positiven



**Abbildung 4 – Skinput [2]. Das System bestehend aus dem Armband sowie dem Projektor, welcher das darstellen interaktiver Elemente auf der Haut ermöglicht**

Eigenschaften (Dicke, Gewicht) aufgrund der notwendigen Transportfähigkeit besonders erwünscht sind. Das PaperPhone nimmt die Biegegesten mithilfe eines Gitternetzes aus dünnen Biegesensoren auf der Rückseite des Displays wahr, welches es erlaubt nach der Wahrnehmung der Biegegesten die entsprechenden Softwareaktionen auszulösen.

Das PaperPhone besteht aus einem 3.7" flexiblen Display, erweitert mit einer Lage von 5 Flexpoint 2" bidirektionaler Biegesensoren. Der Prototyp wird betrieben an einem E-Ink Broadsheet AM 300 Kit mit einem Gumstix Prozessor. Der Prototyp besitzt eine Bildwiederholfrequenz von 780ms für die typischerweise Vollbild-Graustufenbilder.

Der AM300 und Arduino sind mit einem Laptop verbunden auf dem ein Max 5 Programm läuft, welcher die Daten der Sensoren verarbeitet, die Biegegesten erkennt und die anzuzeigenden Bilder an das Display sendet.

#### **Erkennung von Biegegesten**

Es existieren zwei Betriebsmodi beim PaperPhone. Der Erste ist der Operating-Mode, in diesem Zustand befindet sich PaperPhone im normalen Betrieb.

Der zweite Modus ist der Training-Modus. In diesem Modus kann der Nutzer Biegegesten entwerfen und aufnehmen, dabei werden die Daten der Biegesensoren gespeichert und benutzt, um einen lernfähigen Algorithmus zu trainieren.

Der flache Zustand wird nun als "Ruhezustand" gespeichert. Wenn der Benutzer im Operating-Mode das Display deformiert, wird die Geste erkannt. Dies geschieht sobald der Algorithmus feststellt, dass die aktuell gemessenen Biegegesten näher an den Biegegesten der zu erkennenden Biegegeste liegen als an denen des Ruhezustandes.

Im letzten Schritt wird die erkannte Biegegeste einer Aktion zugeordnet. Zu diesem Zweck wurde ein endlicher Automat entworfen, welcher als Ausgabe ein Datenpaket produziert, der die auszuführende Aktion sowie den Zustand, in dem

sich der Automat bei dem nächsten Aufruf befinden soll, beinhaltet.

Diese Informationen werden an den Computer übermittelt, welcher auf dem Display die entsprechenden Bilder darstellt.

Eine Schwäche des Prototypen, welche jedoch in späteren Generationen ausgemerzt werden soll, ist die Unfähigkeit aufgrund der niedrigen Bildwiederholfrequenz von 780 ms pro Bildwechsel die Echtzeit-Animationen darzustellen.

#### **2.2 Skinput [2]**

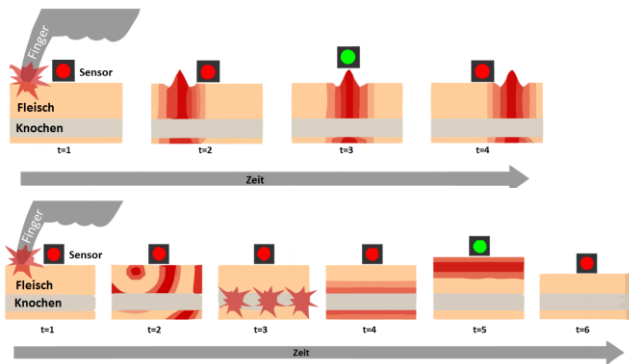
Wie man momentan an den Smartphones beobachten kann, geht der Trend hin zu größeren Displays, da Benutzer immer mehr Inhalte auf ihren Smartphones betrachten wollen, wobei man versucht die Transportfähigkeit dieser beizubehalten. Da dies jedoch an seine Grenzen stößt, versucht man mit Skinput die bereits vorhandene Fläche für Ein- und Ausgabe zu nutzen. Aber Flächen wie zum Beispiel Tische und Wände sind nicht überall und immer verfügbar. Deshalb bietet sich die menschliche Haut, die mit 2 m<sup>2</sup> jede Menge Platz bietet, an.

Neben dem vorhandenen Platz besitzt die Haut noch weitere Vorteile, denn sie ist zu jeder Zeit verfügbar bzw. "dabei", so ist die Eingabe für den Benutzer natürlich und es ist eine sehr präzise Eingabe ohne Augenkontakt möglich. So kann sich beispielsweise jeder "blind" auf die Nase tippen, jedoch so auf einem Bildschirm einen Punkt zu treffen ist nahezu unmöglich.

Zugleich bietet Skinput auch die Möglichkeit, die Haut als Display zu verwenden, indem durch einen auf der Schulter befestigten Pico-Projektor eine Ausgabe auf die Haut projiziert wird.

Wahrgenommen wird von Skinput das Tippen mit dem Finger oder der Hand auf den Armen, auch wenn theoretisch andere Positionen, wie zum Beispiel die Beine möglich wären.

Arm und Hand wurden gewählt, da diese leicht zu erreichen sind. Ein Problem bei anderen Stellen der Haut ist nicht nur



**Abbildung 5 – Ausbreitung der Wellen in der Haut, oben Transversalwellen die sich auf der Haut verbreiten, unten die Longitudinalwellen, welche sich in den Knochen verbreiten**

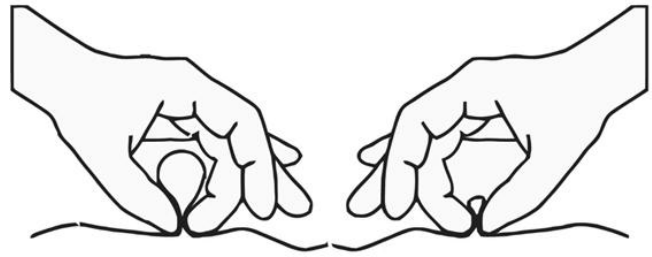
die Unerreichbarkeit für den Projektor und den Benutzer, sondern auch, dass diese oft mit Kleidung verdeckt sind.

Die Wahrnehmung der Eingabe geschieht durch Aufnehmen und Verarbeiten der Schallwellen, die entstehen, wenn man auf die Haut tippt oder schlägt. Diese Wellen treten in zwei Formen auf. Die erste Form, die Transversalwellen, sind jene Wellen, die durch einen Aufprall durch zum Beispiel Finger auf der Haut ausgelöst werden und sich auf der Hautoberfläche ringförmig vom Aufprallsort wegbewegen.

Diese Wellen kann man mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera auf der Haut betrachten. Die andere Art sind die Longitudinalwellen, welche sich durch die Knochen verbreiten. Während die Transversalwellen noch recht einfach wahrzunehmen sind, tritt bei der Wahrnehmung der Longitudinalwellen das Problem auf, dass von Flüssigkeiten bestimmte oder auch alle Frequenzen gedämpft werden können. Skinput jedoch behandelt diese Probleme auf Softwareebene. Zwar entsprechen Knochenleitermikrofone noch am ehesten den Bedürfnissen des Skinput-Systems, jedoch nehmen diese nur Frequenzen höher als 85 Hz wahr. Die Frequenzen der Wellen in der Haut liegen jedoch schon bei 25 Hz. Daher wurde ein eigens entwickeltes Feld aus Sensoren benutzt, von denen jeder einzelne bestimmte kleine Frequenzbereiche abdeckt. Dies wurde erreicht, indem die Masse der Sensoren verändert wurde, was darin resultiert, dass verschiedene Frequenzen wahrgenommen werden. Ähnliche Sensoren werden bereits für medizinische Zwecke (Herzrate ermitteln etc.) verwendet und mussten daher nicht eigens entwickelt werden.

Der Prototyp wurde als Armband realisiert, in welches die Reihe von Sensoren eingebaut wurde.

In dem Prototypensystem wurde eine Audio-Schnittstelle verwendet, um die Daten der Sensoren digital abzufangen. Das Gerät wurde an einem Computer verbunden, welcher die wahrgenommenen Frequenzen in Klassen einordnet und feststellt, ob bestimmte Grenzwerte überschritten wurden



**Abbildung 6 – Pinstripe [11], Greifen und Deformieren, verschieden viel gegriffener Stoff führt zu verschiedener Eingabegröße**

und somit die Eingabe als gültig deklariert oder verworfen werden soll.

Um sicherzugehen, dass keine falschen Eingaben gemacht werden bzw. diese nur selten auftreten, wurde ein Test durchgeführt, in dem Benutzer von Skinput auf einem Laufband Joggen gelassen wurden. Der Test ergab, dass zwar kaum falsche Eingaben gemacht wurden, die Qualität bzw. die Stärke des Signals aber darunter litt.

### 2.3 Intelligente Kleidung – Pinstripe [11]

Bei intelligenter Kleidung handelt es sich um Kleidung, in welche elektronische Schaltkreise integriert wurden. Dadurch ergeben sich vielfältige Vorteile. So ist intelligente Kleidung nicht sichtbar, Teil des täglichen Lebens und die Bedienung kann ohne Augenkontakt erfolgen.

Wichtige Anforderungen an solche Produkte sind die Tragbarkeit, es soll also komfortabel sein, es soll das Aussehen bzw. die Freiheit der Designer nicht beeinträchtigen und außerdem soll der Benutzer keine versehentlichen Eingaben machen können.

Mit dem Prototypen “Pinstripe” versucht man diesen Anforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, ohne Aufwand eine Eingabe zu tätigen.

Pinstripe erlaubt dem Benutzer dies, indem es zwei Grundkonzepten folgt, dem Greifen und dem Deformieren. So macht man eine Eingabe, indem man sich ein Stück Stoff greift und zwischen zwei Fingern “rollt” (siehe Abbildung 6). Je nachdem, wie viel Stoff man “gegriffen” hat, wird der Eingabewert verschieden feinkörnig. Will man zum Beispiel einen großen Sprung in einem Lied machen, so greift man viel Stoff.

Das Anwendungsgebiet von Pinstripe ist vielfältig: so kann man hiermit an einem Mp3-Spieler die Lautstärke anpassen oder durch Menüs navigieren, man kann es überall verwenden, wo eine Eingabe ohne Augenkontakt nötig ist.

Der Prototyp wurde realisiert, indem man 18 konduktive Fäden (Statex 117/17 2-ply) mit 2mm Abstand in die Innenseite eines T-Shirts einfügte. Die Signale der Fäden, die ein Mikrocontroller empfängt, werden zu digitalen

Daten verarbeitet. Die so erhaltenen Daten werden in Form einer Matrix an einen Desktop-Computer gesendet, welcher das Rauschen entfernt.

Im Rahmen einer kleinen Studie versuchte man unter 16 möglichen Positionen die Beste für Pinstripe zu finden. Neben der überraschenden Tatsache, dass die Hosentasche sehr beliebt war, kam man zu dem Ergebnis, dass der Vorderarm am geeignetsten war. Für kommende Generationen des Produktes überlegte man sich den Mikrocontroller zum Beispiel in einem Knopf unterzubringen.

#### 2.4 Weitere Konzepte

Der herausragende Vorteil von Elektronischen-Papier Displays ist, dass man sie in nahezu jedem Formfaktor und Größe herstellen kann. Im folgenden werden einige außergewöhnliche Konzepte vorgestellt. In diesen Prototypen wurde Bildanalyse mittels einer Infrarotkamera eingesetzt, um Bewegungen und somit Eingabe wahrzunehmen. Dies ermöglichte eine günstige Herstellung der Prototypen, diese wären jedoch aufgrund der Eingeschränktheit nicht praxistauglich.

#### Papierrollen-Display [6]

Die Besonderheit des Papierrollen-Displays ist, dass man zu jederzeit Formfaktor und Größe des Displays anpassen kann. Dies erlaubt ein einfaches Transportieren einer potenziell riesigen Displayfläche. Außerdem lassen sich die Energieversorgung sowie die nötige Elektrik gut in den Holzrollen unterbringen.

#### Zeitungsdisplay [6]

Das Zeitungsdisplay ist ein elektronisches Papier-Display in der Größenordnung einer Zeitung, welches sich zwei mal falten lässt. Dadurch eröffnet sich eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten. So kann man zum Beispiel das Display in der Mitte falten und dadurch den möglichen Blickwinkel einschränken, um eine gewisse Privatsphäre zu erreichen.

#### Fächer-Display-Eingabegerät [6]

Das Fächer-Display-Eingabegerät ist durch die Größe gut in einer Hosentasche transportierbar, lässt sich einhändig bedienen, ist sehr leicht und bietet einen großen Display im Verhältnis zu der zusammengefalteten Größe.

#### Regenschirm-Display [6]

Beim Regenschirm-Display bietet sich ebenfalls ein Unterbringen der Elektrik im Griff an, ebenso kann man hier gut einen Projektor anbringen. Jedoch ist das Konzept für intensive Interaktivität ungeeignet.



Abbildung 7 – Papierrollen-Display, Zeitungsdisplay, Fächer-Display-Eingabegerät, Regenschirm-Display [6], verschiedene Konzepte welche die Vorteile von flexiblen

### 3. Elektronische Papier Displays

#### 3.1 Interaktionsmöglichkeiten

Die Verformbarkeit und weitere neue Eigenschaften der flexiblen Displays eröffnen dem Benutzer neue Interaktionsmöglichkeiten mit diesen Displays:



Abbildung 8 – Flipping [7], Neue Interaktionsmöglichkeit, welche aufgrund des geringen Gewichts realisierbar ist

### Flipping [7]

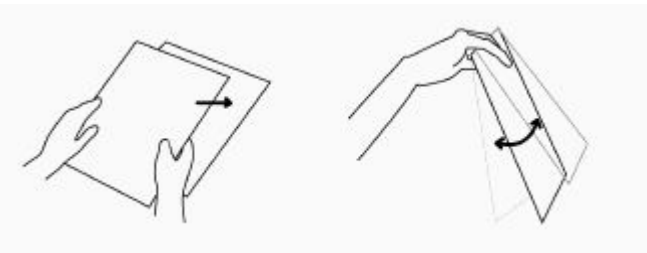
Dank des geringen Gewichts und der Dicke dieser Displays ist es möglich das von Smartphones bekannte "Umkippen" (siehe Abbildung 8) auf größere Displays, wie zum Beispiel Tablets zu übertragen. Dies ist mit den heute verbreiteten Tablets nicht möglich, da diese schlicht aufgrund ihres Gewichts dabei schaden nehmen würden.



**Abbildung 9 – Zerknüllen und Falten [7], Intuitive und damit Natürliche Bedienung wird durch die Faltbarkeit möglich**

### Zerknüllen und Falten [7]

Durch das Falten des Displays in eine bestimmte Form können damit assoziierte Aktionen ausgelöst werden, so zum Beispiel durch Zerknüllen des Displays wird der aktuelle Inhalt, zum Beispiel, das aktuell angezeigte Dokument gelöscht.



**Abbildung 10 – Stacking und Shaking [7], Papierähnliche Displays sollen wie Papier-Dokumente mehrfach vorhanden sein, was neue Interaktionen ermöglicht**

### Stacking und Shaking [7]

Auch bei diesen beiden Arten wird durch die intuitive Bedienung sowie der Natürlichkeit der Eingabe der Vorteil von flexiblen Displays hervorgehoben.

Neben diesen Interaktionsmöglichkeiten (und weiteren anderen) bilden die Biegegesten eine große Klasse von Gesten auf Papier-Displays, auf welche im folgenden eingegangen wird.

### 3.2 Biegegesten

Als Biegegesten werden die Interaktionen mit elektronischen Papier-Displays bezeichnet, bei denen ein

bestimmter Teil des Displays kurzzeitig deformiert wird und so eine Eingabe getätigt wird.

Bei Biegegesten bestimmt die Festigkeit sowie Flexibilität des verwendeten Materials welche Biegegesten ausgeführt werden können. So lassen sich zum Beispiel auf Plastik andere Biegegesten ausführen als auf Papier oder Stoff ähnlichen Materialien.

Hauptsächlich werden in den, zu diesem Thema vorhandenen, wissenschaftlichen Arbeiten die in Abbildung 11 dargestellten Biegegesten verwendet. Wir werden als nächstes zwei Studien vorstellen, bei denen jeweils Paare von Biegegesten und die zugewiesenen Aktionen untersucht werden.

So behandelt die erste Studie die Entdeckung neuer Biegegesten und sowie das paaren von Biegegesten. Die zweite Studie untersucht die Anwendbarkeit bereits existierender Biegegesten, mit Displays, die aus verschiedenen Materialien mit verschiedenen Graden an Flexibilität bestehen.

#### 3.2.1 Studie 1

In dieser Studie, die von Byron Lahey et al. Mai 2011 im Rahmen der CHI veröffentlicht wurde, wird die Frage nach geeigneten Biegegestenpaaren sowie deren Zuweisung an Softwareaktionen untersucht.

Diese Studie unterscheidet sich sehr von den meisten anderen Studien, die sich mit Biegegesten oder auch anderen Interaktionsmöglichkeiten mit flexiblen Displays auseinandersetzen und nicht funktionsfähige Dummy-Geräte oder auf durch Projektion auf Papier simulierte Systeme zur Erhebung ihrer Daten verwenden, denn bei dieser Studie wird ein bereits funktionsfähiger Prototyp verwendet.

So sind die Performance-Untersuchungen der Biegegesten sowie allgemein solch eines flexiblen Gerätes viel realitätsnaher bzw. natürlicher und viel interessanter für eine kommerzielle Nutzung. Zugleich bringt aber die feste Implementierung des Prototyps auch Nachteile mit sich.

Auch PaperPhone, der Prototyp welcher in dieser Studie verwendet wird, ist an ein Kabel gebunden was alle Studienergebnisse beeinflusst, da die Benutzer gezwungen sind das Gerät anders in der Hand zu halten. Sogar sind bestimmte Biegegesten überhaupt nicht möglich, die sonst sinnvoll einsetzbar gewesen wären.

Die Studie besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil der Studie wurden die Studienteilnehmer aufgefordert, sich 8 verschiedene Biegegestenpaare auszudenken.



Abbildung 11 – Biegegesten [7], Beispiele für Diverse Biegegestenpaare

Insgesamt wurden so 87 Biegegestenpaare gesammelt von denen 24 einzigartig waren. Von diesen 24 wurden wiederum die 6 meist gewählten Biegegestenpaare für den zweiten Teil der Studie ausgewählt.

In diesem Teil wurden die Studienteilnehmer aufgefordert in vier verschiedenen typischen Anwendungen den dort vorhandenen Softwareaktionspaaren eines der 6 Biegegestenpaare zuzuweisen.

Nach dem Zuweisen der 6 Biegegestenpaare auf die fünf Anwendungen Icon-Navigation, Kontakte, Musik-Spieler,

Applications	Action Pairs	CD	AB	EF	CE	AC	DF
Contacts	Call - Drop	3.5	4.4	3.1	3.3	3.2	3.0
	Open - Close	3.8	4.9	4.0	3.5	4.2	3.6
Music Player	Next - Previous	4.1	4.3	4.2	3.6	2.8	3.6
	Play - Pause	4.1	4.0	3.7	3.1	3.2	4.2
Icon Navigation	Left - Right	3.6	4.1	3.8	1.9	2.2	2.4
	Open - Close	3.7	4.1	3.7	3.1	3.8	3.2
	Up - Down	4.0	3.6	4.3	4.4	2.0	4.6

Abbildung 12 – Studienergebnisse [1] zur Wahl von Biegegestenpaaren in verschiedenen Anwendungen, Besonderer Konsens bei dem Biegegestenpaar AB

Book-Reader und Karten Navigation mit insgesamt 10 Aktionspaaren (zum Beispiel: Play-Pause, ZoomIn-ZoomOut, ...) wurden dann die Ergebnisse auf vier Faktoren untersucht:

### 1. Orthogonalität

Es wurde untersucht, ob die Benutzer innerhalb einer Anwendung für verschiedene Aktionspaare verschiedene Biegegestenpaare wählten oder ob sie dasselbe Biegegestenpaar mehrfach verwendeten. Die Studie ergab, dass wenn ein Benutzer zwei verschiedenen Aktionspaaren dasselbe Biegegestenpaar zuwies, dann die Zuweisung wieder geändert wurde. Im nachhinein wurde so jedem Aktionspaar ein von den anderen verschiedenes Biegegestenpaar zugewiesen. Dieses so bedingte Wechsels war auch für 42% der Fälle eines Wechsels der Biegegestenpaare verantwortlich.

### 2. Konsistenz

Hier wurde untersucht, ob für ähnliche Aktionen (Heruntergehen in Liste-Heruntergehen in Kontakten) in verschiedenen Anwendungen die selben Biegegestenpaare gewählt wurden. Es stellte sich jedoch heraus, dass dies nur selten geschieht.

### 3. Polymorphie

In Polymorphie wurde untersucht ob für semantisch ähnliche Aktionen (nächste Seite-nächstes Lied) in verschiedenen Anwendungen die selben Biegegestenpaare gewählt wurden. Auch hier gab es nur selten eine Übereinstimmung.

### 4. Direktionalität

In diesem Punkt wurde untersucht ob die Örtlichkeit mit in die Wahl der Biegegestenpaare einbezogen wurde, also ob zum Beispiel: zum nach oben Navigieren ein Biegen des Displays oben und zum nach unten Navigieren ein Biegen des Displays unten präferiert wurde.

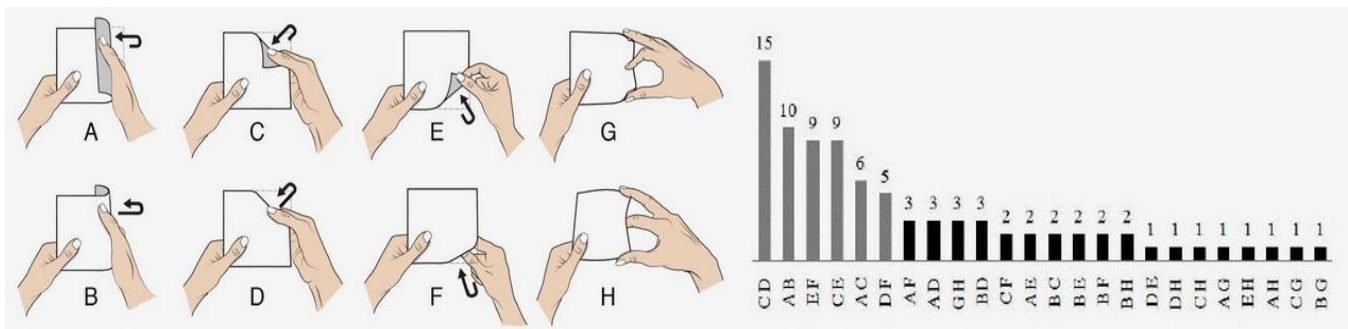


Abbildung 13 – Studienergebnisse [1], Wahl der Probanden von Biegegestenpaaren

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Benutzer bei der Wahl der Biegegestenpaare die Direktionalität als wichtiges Kriterium ansahen. So wurde zum Beispiel während der Navigation durch die Icons, welche eine klare räumliche Beziehung besitzen, die entsprechenden Gesten gewählt (hoch; runter; links; rechts). Bei anderen Aktionen wie zum Beispiel dem Öffnen und Schließen von Applikationen, zeichneten sich räumliche Beziehungen in den gewählten Gesten ab, wobei der Benutzer selbst diese imaginäre räumliche Beziehungen erschuf. So empfanden die Benutzer das Öffnen eines Dokumentes als “Ziehen zu sich hin” und das Schließen als “Wegdrücken”. Da bei Aktionen, wo eine räumliche Beziehung besonders klar ausgeprägt war, auch bei der Polarität der Gesten Konsens herrschte, empfehlen die Autoren der Studie, dass man dies in Zukunft beachtet, um dem Benutzer eine möglichst natürliche Bedienung zu ermöglichen.

### 3.2.2 Studie 2

Im folgendem wird die Studie "How Users Manipulate Deformable Displays as Input Devices" von Sang-Su Lee et al. [7] teilweise wiedergegeben und analysiert.

Es existieren viele Hindernisse für die Realisierung der flexiblen und dünnen Displays. So sind für diesen Zweck zum Beispiel biegbare Akkus oder Leiterplatten notwendig. Abgesehen von solchen technischen Hindernissen war man bei dieser Studie aber überzeugt davon, dass man vorläufige Erkenntnisse über die Interaktionsmöglichkeiten mit flexiblen Displays gewinnen kann.

Die meisten Studien, die die Interaktionsmöglichkeiten des Benutzers mit den flexiblen Displays untersuchen, involvieren Benutzer bereits in frühen Phasen des Design-Prozesses, um neue Interaktionsideen zu gewinnen, jedoch nicht um bereits existierende Ideen mehr zu vertiefen oder die Nützlichkeit dieser Ideen mit Hilfe der Studienteilnehmer zu untersuchen.

Bei dieser Studie wurden daher bereits entdeckte Biegegesten (aber auch andere Interaktionsmöglichkeiten wie z.B. Reiben oder Tippen) untersucht und es wurden dabei auch flexible Displays je nach physischen Eigenschaften des Display-Materials wie zum Beispiel Flexibilitätsgrad, mit dazu gehörigen Biegegesten, gruppiert.

So wurden in dieser Studie drei verschiedene künstliche Geräte in A4-Größe verwendet, die aus den verschiedenen Materialien: Papier, Plastik und elastischem Stoff beschaffen waren. Die Studienteilnehmer wurden gefragt, diejenigen flexiblen Geräte mit den vorgegebenen Biegegesten zu deformieren, die sie für die vorgegebene Aktion für geeignet hielten.

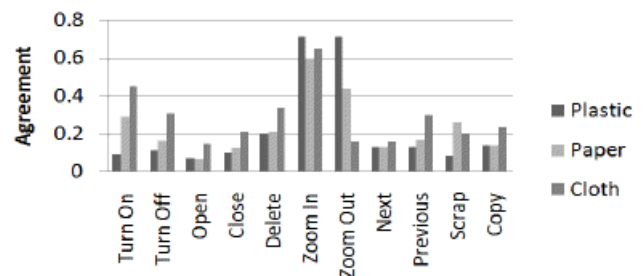
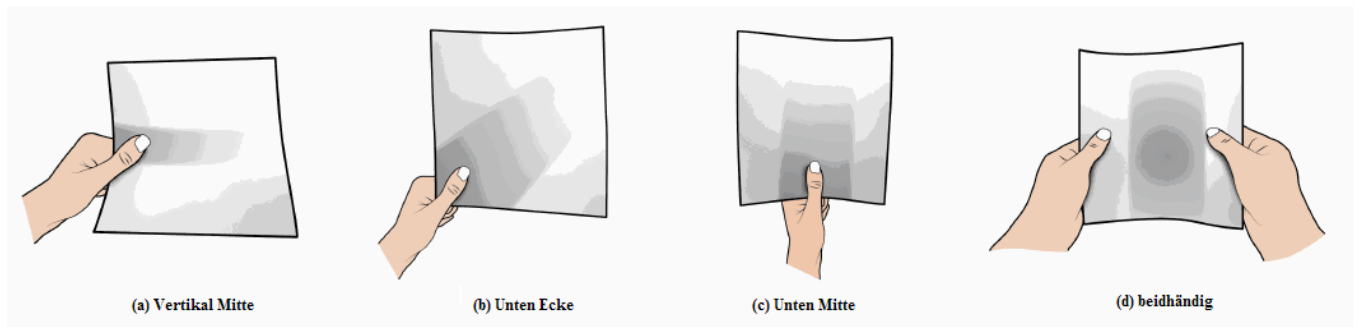


Abbildung 14 – Studienergebnisse [7], Übereinstimmung bei der Wahl von Biegegesten bei verschiedenen Materialfestigkeiten

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass Benutzer Biegegesten präferieren, die wenig physischen Anspruch haben. Auch haben Studienteilnehmer dazu tendiert, gewöhnliche Alltagsaktionen auf die Biegegesten zu übertragen. So zum Beispiel erläuterten einige Benutzer die Idee für ihre Wahl der Biegegesten für die “Close”-Aktion, indem Sie Aussagen machten, wie: “as if you were closing a book...” oder “as if you turn a page in a book...”, woraus die Übertragung als Metapher deutlich wird.





**Abbildung 15 – verschiedene Haltepositionen [3] wirken sich auf die Form des Gerätes**

Die Resultate zeigten auch, dass der Konsens bezüglich der Präferenz der Benutzer oder auch der Intuitivität mit Abnehmen der Festigkeit des Display-Materials zunimmt.

Eine weitere interessante Erkenntnis der Studie war, dass es mehr als eine bevorzugte Geste für eine einzige Aktion geben kann. So wurden, zum Beispiel, das Biegen einer Ecke sowie das Umdrehen des gesamten Geräts gleichstark präferiert (20%), ohne dass eine dominante Geste beobachtet wurde. Dies zeigt, dass verschiedene Aktionen derselben Aktion zugeordnet werden könnten. Daher könnte auch ein wichtiges Designkriterium sein, anzubieten, mehrere Gesten für eine Aktion benutzen zu können.

Obwohl in der Studie nur Papier-Prototypen verwendet wurden, die den Benutzern kein Feedback geben konnten, gaben, nach dem Ende der Studie, viele der Teilnehmer positive Kommentare ab, wie zum Beispiel: “it was interesting experience”. So sagten einige, dass sie Spaß daran hatten, mit den Geräten herumzuzperimentieren und sich wünschten mit bereits funktionsfähigen Geräten wirklich so arbeiten zu können.

### 3.3 Hold Structures

#### 3.3.1 Studie [3]

In der ersten Studie, einer Feldstudie, wurde beobachtet, welche Haltepositionen Benutzer in realitätsnahen Aufgaben, bei Benutzung eines flexiblen Displays bevorzugen.

Da man im Rahmen dieser Studie kein teures Gerät schaden aussetzen wollte, benutzte man eine drucksensitive Folie, welche auf den, der Aufgabe entsprechenden bedruckten Papieren, aufgebracht war. Alle Aufgaben wurden einmal mit diesem flexiblen Gerät und einmal mit einem starren Gerät, welches ebenfalls mit der drucksensitiven Folie beschichtet war, durchgeführt. Es wurden den Studienteilnehmern vier Aufgaben gestellt, welche sie unter Beobachtung, durch Kameras, lösen sollten.

#### **Punkte antippen**

Für diese Aufgabe bekamen die Studienteilnehmer ein, mit in regelmäßigen Abständen mit 28 Punkten bedrucktes Papier. Während die Probanden einer Tonaufzeichnung von zufälligen Nummern zuhörten, sollten sie die entsprechend nummerierten Punkte berühren. Die Probanden wurden gebeten, eine möglichst angenehme Halteposition für das Testgerät zu finden. Die Studie ergab, dass bei dieser Aufgabe Halteposition (c) besonders beliebt war, 87% der Probanden wählten diese Halteposition beim flexiblen Gerät, 47% beim Starren.

#### **Linie verfolgen**

In dieser Aufgabe wurden auf das Papier mehrere Labyrinth ähnliche Linien aufgedruckt, welche der Proband mit dem Finger nachfahren sollte. Wie bei der ersten Aufgabe wurden die Probanden gebeten, eine möglichst angenehme Halteposition für das Testgerät zu finden. Hier ergab sich, dass fast alle Probanden Halteposition (c) beim Flexiblen bevorzugten, während es beim Starren keinen Konsens gab.

#### **Lesen**

In dieser Aufgabe wurde eine Seite von Shakespears Sonnets auf das Papier aufgedruckt und die Teilnehmer sollten für das Lesen dieser eine günstige Halteposition, sowie Stelle im Raum finden. Bei dieser Aufgabe gab es eine erstaunliche Übereinstimmung von starren und flexiblen Gerät. So stimmten die Werte von (a) und (b) überein. Auffällig war sonst, dass beim starren Gerät 51% (d) wählten, was bei allen anderen Aufgaben durchgehend sehr schlecht abschnitt.

#### **Navigation**

Dieses mal wurde eine Reihe von Bildern aufgedruckt, mit deren Hilfe der Proband durch ein Gebäude navigiert werden sollte. Der Weg war ca. 150m lang, startete innerhalb des Gebäudes und endete Außerhalb. Außerdem befanden sich auf dem Weg eine Treppe sowie drei Türen. Bei dieser Aufgabe verteilten sich die Präferenzen der Halteposition größtenteils auf (b) und (c).

## **Diskussion**

Bei den meisten wissenschaftlichen Arbeiten, die wir zum Thema flexible Displays und Oberflächen gefunden haben, sind wir auf Probleme gestoßen, die eine zukünftige Nutzbarkeit dieser Arbeiten sehr erschweren würden.

So zum Beispiel war ein wichtiges Problem, dass obwohl viele der in den wissenschaftlichen Arbeiten angenommenen Technologien nicht existierten, hypothetische Studien durchgeführt wurden, mit nicht existierenden Möglichkeiten. Die Resultate solcher Arbeiten oder Studien wären nämlich im Falle einer fehlenden technischen Möglichkeit nicht relevant, sogar irreführend.

Ein weiteres Problem solcher Studien, die Interaktionen untersuchten, war, dass sie auf die Resultate der Interaktionen in Form von Softwareaktionen nicht eingingen bzw. nicht eingehen konnten, weil nur mit Prototypen experimentiert wurde. Dass die Benutzer die Reaktion nicht sahen bzw. dass diese Information ignoriert wurde, könnte dazu geführt haben, dass die Benutzer ihre Präferenzen ganz anders gewählt haben.

Aber auch Arbeiten, bei denen funktionsfähige Prototypen verwendet wurden, waren nicht optimal. So wurde zum Beispiel bei der Studie über das PaperPhone [1] (3.2.1 aber auch bei der Studie 3.3), ein kabelgebundenes Gerät verwendet und währenddessen die Biegegesten-Präferenz der Benutzer untersucht, welches zu sehr limitierten und teilweise unbenutzbaren Erkenntnissen führte.

Auch gab es Arbeiten die überholt waren, weil bessere Technologien existieren. So wurde zum Beispiel in frühen wissenschaftlichen Arbeiten oft unnötig mit Bildanalyse gearbeitet, um die Eingaben auf flexiblen Displays wahrzunehmen.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassend können wir sagen, dass flexible Displays viele Vorteile gegenüber starren Displays besitzen. Von der Geschichte der Displays ausgehend, sind flexible Displays ein wichtiger Schritt in Richtung Perfektionierung der Display-Technologien. Denn flexible Displays besitzen essentielle Eigenschaften, wodurch sie sich von herkömmlichen starren Displays unterscheiden. So sind flexible Displays im Kontrast zu bereits existierenden mobilen Computern wie zum Beispiel Tablets, extrem dünn und sehr leicht wodurch sie eine exzellente Transportfähigkeit aufweisen. Auch würden sich flexible Display in den Alltag viel besser integrieren durch Eigenschaften wie Deformierbarkeit, Flexibilität,

Faltbarkeit oder die Möglichkeit des Zusammenrollens, je nachdem wie flexibel das verwendete Material ist. Durch diese Eigenschaften lässt sich das Display je nach Benutzungskontext auf eine bestimmte Größe anpassen. Desweiteren sind Interaktionen mit flexiblen Displays viel natürlicher, da das Interagieren mit diesen in physischen Feedbacks resultiert.

Flexible Displays bringen aber auch einige neue technische Probleme mit sich. So geben zum Beispiel flexible Displays im Gegensatz zu starren Displays bei Touch-Eingaben nach, denn der Druck, der beim Berühren des Displays wirkt, wird nicht abgefangen. Auch gibt es bei flexiblen Displays keinen festen Rahmen zum Halten des Displays um eine Eingabe zu machen und die ausgeübte Kraft wieder abzufangen, wie es bei heutigen Tablets geschieht. Dass während des selben Touch-Inputs die Eingaben bei unterschiedlicher Displays-Haltestruktur bzw. bei anderer Deformiertheit zu unterschiedlichen Wirkungen auf dem Display führen, erschwert auch die Wahrnehmung des Touch-Inputs allgemein auf flexiblen Displays.

Während man nicht mit Klarheit sagen kann, ob flexible Displays effektivere Eingabegeräte sind als starre Displays, liegt auch das Hauptaugenmerk der flexiblen Geräten nicht unbedingt auf der Fähigkeit der einfacheren Eingabe sondern mehr darauf, dass diese Geräte wie normale Papiere bzw. wie Dokumente, wie wir sie aus dem Alltag kennen und immernoch viel aktiver als Computer benutzen, verwendbar sind.

Wir glauben jedoch auch, dass mit der Zeit die flexiblen Displays dank den mit der Papier-Ähnlichkeit kommenden Eigenschaften wie Dicke, Gewicht oder Transportierbarkeit nicht nur mit den starren Displays koexistieren werden, sondern sich zu effizienteren Eingabegeräten entwickeln und starre Displays verdrängen werden. Zu diesem Glauben kommen wir unter anderem auch mit der essentiellen Idee, dass in Zukunft flexible Displays sich durch einen Befehl in einen starren Display verwandeln lassen werden können.

Abschließend können wir sagen, dass flexible Displays noch einen großen Weg vor sich haben, jedoch existieren einige wichtige wissenschaftliche Veröffentlichungen, die nützliche Erkenntnisse über die Interaktionsmöglichkeit mit solchen Geräten bieten und die als Wegweiser für kommende Projekte dienen werden.

## REFERENCES

1. Byron Lahey, Audrey Girouard, Winslow Bursleson and Roel Vertegaal: PaperPhone Understanding the Use of Bend Gestures in Mobile Devices with flexible Electronic Paper Displays. In *Proc. CHI 2011, May 7-12, 2011, Vancouver, BC, Canada*.
2. Chris Harrison, Desney Tan, Dan Morris: Skinput Appropriating the Body as an Input Surface. In *Proc. CHI 2010, April 10-15, 2010, Atlanta, Georgia, USA*.
3. Christopher Anthony Robert Perez: Evaluating Effects of Structural Holds on Pointing and Dragging Performance with flexible Displays. *Queen's University Kingston, Ontario, Canada August 2011, Master-Thesis*
4. David T Gallant, Andrew G Seniuk, Roel Vertegaal: Towards More Paper-like Input: flexible Input
5. Devices for Foldable Interaction Styles. In *Proc. UIST'08, October 19-22, 2008, Monterey, California, USA*.
6. Johnny Chung Lee, Scott E. Hudson: Foldable Interactive Displays. In *Proc. UIST'08, October 19-22, 2008, Monterey, California, USA*.
7. Sang-Su Lee, Boa Kim, Sohyun Kim, Xu Jia, Bopil Jin, Daeop Kim, Eunji Choi, Kun-pyo Lee: How Users Manipulate Deformable Displays as Input Devices. In *Proc. CHI 2010, April 10-15, 2010, Atlanta, Georgia, USA*.
8. Simon Eliot and Jonathan Rose, editors. A companion to the history of the book. *Blackwell Pub., 2007*.
9. SN Kramer. The Sumerians: Their History, Culture and Character. *The University of Chicago, 1963*.
10. SR Fischer. A History of Writing. *Reaktion Books, 2001*.
11. Thorsten Karrer, Moritz Wittenhagen, Leonhard Lichtschlag, Florian Heller, Jan Borchers: Pinstripe Eyes-free Continuous Input on Interactive Clothing. In *Proc. CHI 2011, May 7-12, 2011, Vancouver, BC, Canada*.