

Kurzfassung zur Dissertation

# Taktile Interaktion auf flächigen Brailledisplays

**Dipl.-Medieninf. Denise Prescher**  
geboren am 15. Juni 1984 in Großröhrsdorf

Erstgutachter:  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Weber

Zweitgutachter:  
Prof. Dr. Albrecht Schmidt

Fachreferent:  
Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Groh

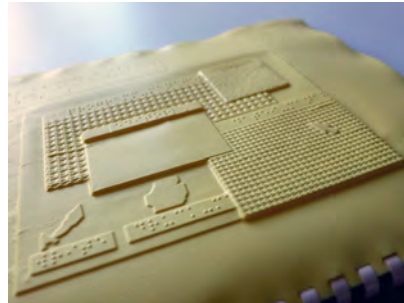
# 1 Motivation und Zielstellung

Entsprechend des Behindertengleichstellungsgesetzes (BGG) dürfen behinderte Menschen nicht benachteiligt werden. Eine gleichberechtigte und selbstständige Teilnahme an der modernen Informations- und Kommunikationsgesellschaft erfordert dabei auch den uneingeschränkten Zugriff auf digitale Inhalte und Anwendungen. Die visuelle Ausrichtung heutiger grafischer Benutzungsoberflächen (GUIs) kann für blinde und sehbehinderte Menschen allerdings eine erhebliche Hürde darstellen. Um diese zu überwinden, ist die Entwicklung geeigneter Hilfsmittel und Interaktionstechniken für den Umgang mit Computern essentiell.

Zur Interaktion mit grafischen Benutzungsoberflächen verwenden blinde Menschen seit über 25 Jahren so genannte *Screenreader* [BBV90]. Diese dienen dazu, Interaktionselemente und andere Bildschirm Inhalte in einer textuellen Repräsentation aufzubereiten, um sie auditiv über *Sprachausgabe* und taktil über *Braillezeile* (siehe Abbildung 1.1a) auszugeben. Aufgrund der seriellen Ausgabe von Text und Sprache können räumliche Zusammenhänge sowie grafische Informationen allerdings nur bedingt vermittelt werden. Herkömmliche *taktile Grafiken* (vgl. Abbildung 1.1b) können hierfür zwar eine sinnvolle Ergänzung darstellen, jedoch ist deren Erstellung meist zeit- und kostenintensiv. Außerdem muss nicht nur für jede Änderung eine neue taktile Grafik erstellt werden, sondern es können auch kaum dynamische Darstellungen vermittelt werden.



a) Braillezeile mit 80 Zeichen



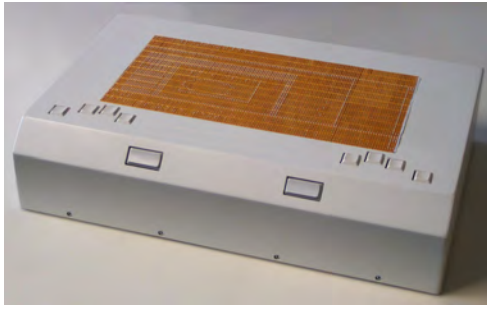
b) Beispiel einer taktilen Grafik

**Abbildung 1.1:** Herkömmliche Kommunikationsmittel blinder Menschen

Abhilfe können *dynamische taktile Flächendisplays* schaffen. Bereits Anfang der 70er Jahre wurden erste taktile Displays entwickelt, um räumliche Informationen über die Haut zu übertragen [BKRS70, BYR74]. Neuartige taktile Flächendisplays, wie das BrailleDis 9000 der Firma Metec AG [VWB08] (siehe Abbildung 1.2a), erlauben unter anderem auch die Anzeige von Braille (Blindenschrift) innerhalb von Grafiken. Im Gegensatz zu herkömmlichen Braillezeilen, bei denen jeweils nur eine einzelne Textzeile ausgegeben wird<sup>1</sup>, können Inhalte auf derartigen Displays zweidimensional präsentiert werden. Neben den Interaktionsobjekten grafischer Benutzungsoberflächen an sich lassen sich so auch deren räumliche Beziehungen zueinander darstellen. Die übliche serielle Erkundung blinder Benutzer ist dabei jedoch nicht immer ausreichend, um eine effiziente Bedienung zu gewährleisten. Um die größere Informationsmenge beherrschen zu können, müssen entsprechende Inhaltsaufbereitungen, Navigationsmechanismen und Orientierungshilfen bereitgestellt werden. Neben einem möglichen Kontextverlust kann dabei allerdings auch ein fehlendes räumliches Vorstellungsvermögen des Benutzers zu Problemen führen.

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Überprüfung, inwieweit ein flächiges Brailledisplay blinden Menschen eine *effektive und effiziente Bedienung von grafischen Benutzungsoberflächen* ermöglicht.

<sup>1</sup> Ein Braillezeichen besteht aus insgesamt 8 Punkten, welche in Form einer 4x2-Matrix angeordnet sind. Übliche Braillezeilen bestehen aus 40 oder 80 solcher Zeichen.



a) BrailleDis 9000



b) BrailleDis 7200

**Abbildung 1.2:** Taktile Stiftplatten der Metec AG

Zwar erlauben herkömmliche Screenreader das Arbeiten mit GUIs per Sprachsynthese, allerdings existieren zahlreiche Anwendungen mit hohem grafischen Anteil, die sich nicht mit textbasierten Ausgaben allein bedienen lassen. Neben dem Zugang zur GUI selbst sowie dem Lesen von Texten stellt dabei insbesondere das Arbeiten mit Grafiken einen wichtigen Aspekt dar. Um die Bedienung auf einem taktilen Flächendisplay zu erleichtern, ist eine konsistente Organisation der Inhalte hilfreich. Hierfür wurde ein neuartiges *taktiler Fenstersystem* umgesetzt, welches die Ausgabe nicht nur in mehrere rechteckige Bereiche unterteilt, sondern auch verschiedene taktile Darstellungsarten unterstützt. Als Zielgeräte standen dabei zwei Versionen flächiger Brailledisplays der Firma Metec AG zur Verfügung – das BrailleDis 9000 und dessen Nachfolger das BrailleDis 7200 (im Folgenden auch als *Stiftplatten* bezeichnet, siehe Abbildung 1.2). Beide stellen eine taktile Ausgabe in Form von 120 x 60 Stiften bereit und ermöglichen durch ihre berührungsempfindliche Oberfläche die Eingabe von Multitouch-Gesten.

Die Arbeit gliedert sich grundlegend in zwei Teile. Der erste Teil widmet sich einer genauen Betrachtung der Zielgruppe (blinde Menschen), des Zielgeräts (taktile Stiftplatte) sowie des Zielsystems (taktiler Fenstersystem). Zur Systematisierung des entsprechenden Gestaltungsraums wird zudem eine Taxonomie der taktilen Interaktion entwickelt. Im zweiten Teil der Arbeit werden die Erkenntnisse aus dem ersten Teil dazu verwendet, um verschiedene Aspekte der taktilen Interaktion auf der Stiftplatte zu evaluieren.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst. Zunächst wird ein kurzer Überblick über das implementierte taktile Fenstersystem gegeben, um ein grundlegendes Verständnis für die Interaktion auf der Stiftplatte zu vermitteln. Anschließend wird die erarbeitete Taxonomie zur taktilen Interaktion kurz vorgestellt sowie ein Überblick über durchgeführte Benutzerstudien gegeben.

---

# 2

## Das taktile Fenstersystem

---

Da herkömmliche Screenreader taktile Flächendisplays als Ausgabegerät bisher nicht unterstützen, ist es notwendig, einen geeigneten grafikfähigen Screenreader für die Stiftplatte bereitzustellen. Ein solcher wurde mit dem HyperReader im Rahmen des Forschungsprojekts „HyperBraille“ entwickelt. Das in dieser Arbeit beschriebene taktile Fenstersystem ist Bestandteil des HyperReaders.

Die wichtigsten Anforderungen im Bereich der Orientierung und Navigation innerhalb zweidimensionaler taktiler Ausgaben lassen sich unter anderem von gängigen assistiven Technologien ableiten. Beim Orientieren können beispielsweise Referenzpunkte helfen. Diese spielen nicht nur beim Arbeiten mit Screenreadern eine große Rolle, sondern auch beim sequentiellen Anspringen im Rahmen der nicht-visuellen Touchscreen-Interaktion oder in Form von physischen Markierungen auf der Tastatur. Im Kontext der flächigen Darstellung erscheinen lineare Erkundungs- und Orientierungsoperationen nicht immer ausreichend. Zudem ist im Gegensatz zu einzeiligen Braillezeilen die Lokalisierung des fokussierten Elements auf der Stiftplatte deutlich komplexer. Auch das Wiederfinden des Kontexts, beispielsweise nach der Manipulation der Darstellung (z. B. Zooming und Panning) oder der Rückkehr von einer externen Tastatur (Homing), erfordert einen erhöhten Suchaufwand.

Für die Interaktion auf der Stiftplatte bedarf es somit nicht nur geeigneter Unterstützungsfunktionen, sondern auch der Anwendung von besonderen Bedien- und Erkundungsstrategien. Diese müssen unter Umständen in einem entsprechenden Benutzertraining vermittelt werden. Dabei sollte beachtet werden, dass flächige Displays die Nutzung beider Hände erlauben, was wiederum die Effizienz der taktilen Wahrnehmung steigern kann.

In diesem Zusammenhang muss auch die *Inhaltspräsentation* an die Besonderheiten der taktilen Wahrnehmung angepasst sein und somit insbesondere den grundlegenden Anforderungen an taktile Grafiken genügen. Um die dargestellte Informationsdichte zu senken und den Benutzer innerhalb der Ausgabefläche zu führen, ist die Reduzierung bzw. Zerlegung sowie die feste Platzierung von Informationen hilfreich [SKNW09]. Dies lässt sich beispielsweise in Form eines taktilen Fenstersystems lösen, welches im Folgenden kurz beschrieben wird.

Die grundlegenden Überlegungen zur Strukturierung der komplexen Informationen einer GUI auf der Stiftplatte wurden von Schiewe et al. [SKNW09] vorgenommen. Neben der Unterteilung der taktilen Ausgabefläche in mehrere rechteckige Bereiche wurde auch die Bereitstellung verschiedener Sichtweisen auf die zugrundeliegenden Informationen vorgeschlagen. Während die Bereiche definieren, wo sich Informationen auf der Stiftplatte befinden, ermöglichen die so genannten Ansichtsarten wie und wie detailliert die Informationen dargestellt werden. Um die einzelnen Bereiche taktil abzugrenzen, sind sie jeweils durch eine Linie erhabener Punkte voneinander getrennt. Bereiche, die gerade nicht benötigt werden, können auch ausgeblendet sein.

Ziel der Unterteilung in nicht überlappende *Bereiche* ist es, ein schnelleres Orientieren und Lokalisieren von Informationen auf einem Flächendisplay zu ermöglichen. Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit implementierte taktile Fenstersystem besteht aus den folgenden Bereichen (siehe auch Abbildung 2.1):

- Im *Darstellungsbereich* wird der aktuelle Inhalt einer Anwendung präsentiert. Aus diesem Grund nimmt er den größten Teil der taktilen Ausgabefläche in Anspruch und kann im Gegensatz zu den anderen Bereichen nicht ausgeblendet werden. Die Präsentation der Inhalte erfolgt dabei in einer der weiter unten beschriebenen Ansichtsarten. Um dem Benutzer das parallele Erkunden mehrerer GUI-Fenster zu ermöglichen, kann der Darstellungsbereich auch in zwei Unterbereiche geteilt werden. Jeder Unterbereich stellt dabei ein anderes Fenster dar und kann seine eigene Ansichtsart besitzen. Die Inhalte der folgenden Bereiche beziehen sich auf das aktuell aktive Fenster.

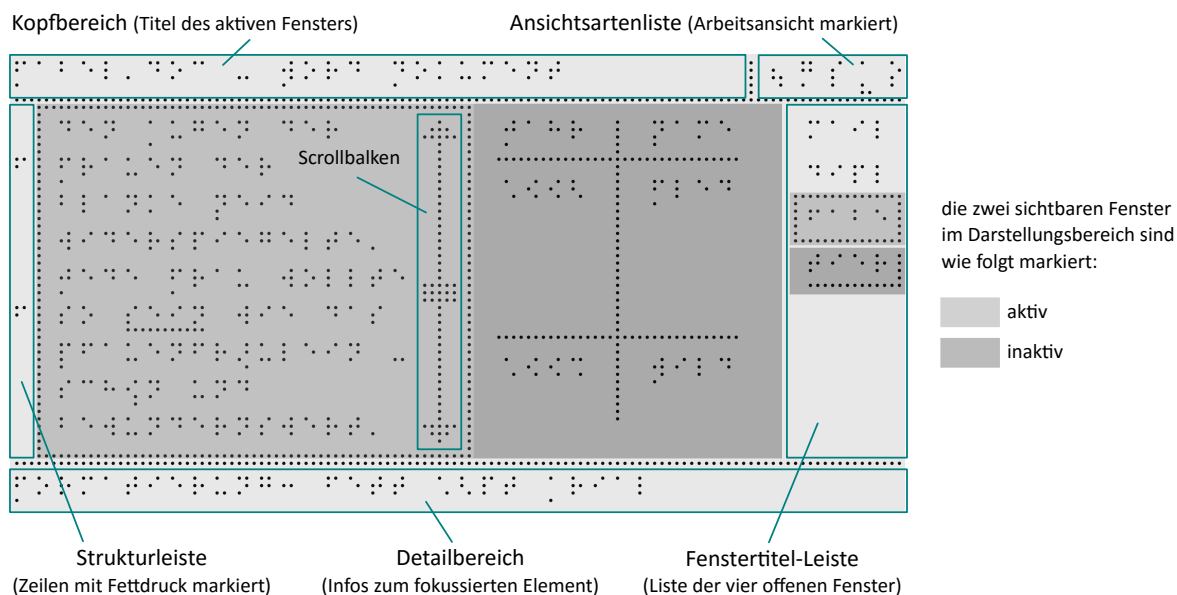


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des taktilen Fenstersystems

- Im *Kopfbereich* wird der Titel des dargestellten Fensters bzw. Dialogs ausgegeben. In der Standardeinstellung befindet sich der Kopfbereich am oberen Rand der Stiftplatte und ist eine Textzeile (5 Stifte) hoch. Bei Bedarf kann dieser Bereich jedoch auch auf zwei Zeilen (10 Stifte) vergrößert werden.
- Rechts neben dem Kopfbereich befindet sich die *Ansichtsartenliste*. Hier sieht der Benutzer eine Liste aller verfügbaren Ansichtsarten, wobei diese jeweils durch ihren ersten Buchstaben als Braillezeichen repräsentiert werden. Die aktuelle Ansichtsart ist durch eine Unterstreichung markiert.
- Die *Strukturleiste* soll es dem Benutzer ermöglichen, sich einen schnellen Überblick über die horizontale Struktur eines Dokuments zu verschaffen. Die Ausgabe in diesem, ein bis zwei Zeichen (3 bzw. 6 Stifte) breiten, Bereich bezieht sich dabei jeweils nur auf den aktuell sichtbaren Inhalt im Darstellungsbereich. Einzelne Braillezeichen werden dazu verwendet, das Vorhandensein bestimmter Elemente, z. B. Überschriften oder Links, an der jeweiligen vertikalen Position anzuzeigen. Eine Überschrift in Zeile 1 wird beispielsweise mit einem „h“ in der selben Zeile der Strukturleiste gekennzeichnet.
- Angelehnt an das Konzept der Taskleiste im Windows Betriebssystem bzw. das Konzept von Registerkarten in grafischen Anwendungen dient die *Fenstertitel-Leiste* dazu, eine Liste aller geöffneten Fenster bereitzustellen. Aufgrund des begrenzten Platzes auf der Stiftplatte ist jeder Fenstertitel nur durch seine ersten vier Buchstaben repräsentiert, sodass die Fenstertitel-Leiste insgesamt 14 Stifte breit ist. Der Titel des aktiven Fensters ist durch einen Rahmen erhabener Stifte markiert. Bei geteiltem Darstellungsbereich wird auch der inaktive Fenstertitel durch eine Spalte erhabener Stifte am rechten Rand markiert.
- Der *Detailbereich* befindet sich am unteren Rand der taktilen Ausgabefläche und nimmt ein oder zwei Textzeilen (5 bzw. 10 Stifte) in Anspruch. Er ist zur Anzeige von zusätzlichen Informationen vorgesehen. Neben detaillierten Angaben zum fokussierten Element (z. B. Name, Status oder Formatierungseigenschaften) können auch Statusmeldungen des HyperReaders selber eingeblendet werden (z. B. Hinweise und Rückmeldungen zur zuletzt ausgeführten Funktion).

Um unterschiedlichen Benutzeranforderungen und Aufgaben zu entsprechen, unterstützt der Darstellungsbereich des Fenstersystems verschiedene *taktile Ansichtsarten*. Charakterisiert sind diese durch ihren Detailgrad sowie ihre Art der Informationspräsentation, d. h. textuell, semi-grafisch oder grafisch. Abbildung 2.2 zeigt beispielhaft, wie ein Dokument in den folgenden Ansichtsarten aussieht:

- Die *Arbeitsansicht* ist komplett textbasiert und entspricht einer linearisierten Ausgabe wie sie bei konventionellen Braillezeilen üblich ist. Diese logisch strukturierte Ansicht erlaubt somit ein

schnelles Arbeiten und Lesen der Inhalte in Brailleschrift. Räumliche Zusammenhänge werden nur in Ausnahmefällen präsentiert, z. B. bei Tabellen. Die Arbeitsansicht kommt der bisherigen Arbeitsweise blinder Menschen am nächsten.

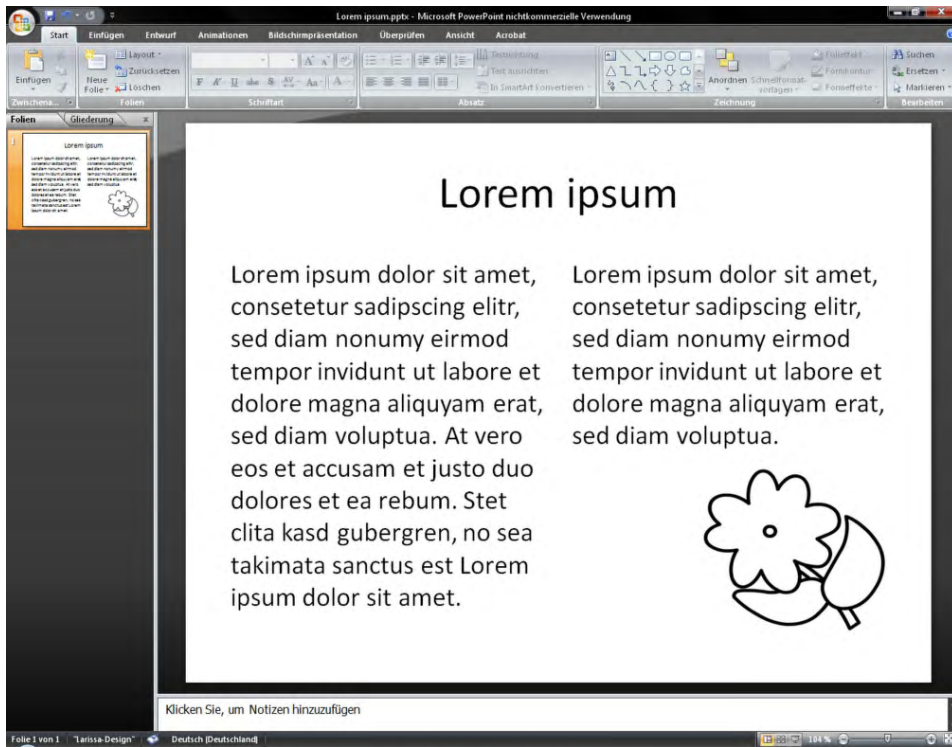
- In der *Symbolansicht* werden textuelle Inhalte zwar auch in Brailleschrift ausgegeben, allerdings bleiben räumliche Zusammenhänge und Positionen der Interaktionsobjekte in dieser Ansichtsart grundsätzlich erhalten. Grafische Elemente, wie beispielsweise Radiobuttons oder Checkboxes, werden hier als taktile Symbole ausgegeben. Diese semi-grafische Visualisierung soll den Benutzern dabei helfen, nicht nur Inhalte zu lesen, sondern auch deren Anordnung nachzuvollziehen.
- Die *Überblicksansicht* erlaubt einen schnellen Überblick über ein Dokument oder eine Anwendung, indem sie lediglich eine abstrakte Repräsentation der Objekte als Rechtecke liefert. Hierfür werden die Boundingboxen der Elemente eines GUI-Fensters auf der Stiftplatte dargestellt. Struktur-räumliche Zusammenhänge sind somit einfach zu identifizieren. Abgesehen von Position und Ausdehnung der einzelnen Elemente enthält diese Ansichtsart jedoch keine textuellen Informationen oder anderen taktilen Hinweise zum Inhalt. Audio-taktile Erkundungsmöglichkeiten sind für diese Ansicht somit essentiell.
- Eine komplett grafische Repräsentation von GUI-Fenstern liefert die *Originalansicht*. Hierbei werden die Pixelinformationen des visuellen Bildschirminhalts direkt auf die Stiftplatte gebracht. Dieser direkte Zugang zu grafischen Informationen bedeutet allerdings auch, dass textuelle Inhalte als taktile Schwarzschrift angezeigt werden. Diese Ansichtsart eignet sich nicht nur zur Erkundung von Grafiken, sondern erlaubt auch die Interaktion mit Anwendungen, die ansonsten nicht zugänglich wären.

Eingaben können auf der Stiftplatte auf drei verschiedene Arten ausgelöst werden: mittels Tastaturkommandos, Hardwaretasten der Stiftplatte und Gesteneingaben. Die *Tastaturkommandos* für die Bedienung des HyperReaders sind dabei angelehnt an die Bedienung eines herkömmlichen Screenreaders. Die Nutzung der *Hardwaretasten* ist natürlich abhängig vom konkreten Modell der Stiftplatte. Das BrailleDis 7200 bietet beispielsweise deutlich mehr und intuitivere Bedienelemente als das BrailleDis 9000 (vgl. Abbildung 1.2). Das im HyperBraille Projekt entwickelte Tastenkonzept für das BrailleDis 9000 wurde im Rahmen dieser Arbeit entsprechend den neuen Möglichkeiten an das BrailleDis 7200 angepasst.

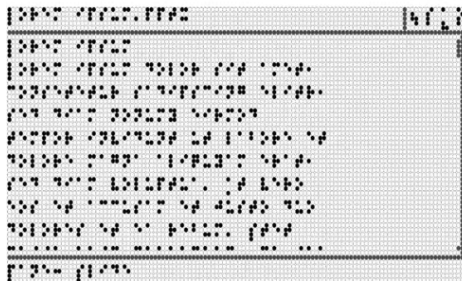
Aufgrund des so genannten Midas-Touch Effekts [Jac91] ist es bei der taktilen Interaktion auf der Stiftplatte nicht möglich, zwischen Lesen und *Gesteneingabe* zu unterscheiden. Das heißt, alle Tastbewegungen auf dem Display könnten potentielle Eingabehandlungen darstellen, was wiederum die unbeabsichtigte Aktivierung von Eingaben zur Folge hätte. Aus diesem Grund muss der Benutzer während der Gesteneingabe eine Taste gedrückt halten. Dies bedeutet zwar, dass keine Zweihandgesten umsetzbar sind, allerdings können bei Verwendung verschiedener Tasten unterschiedliche Funktionalitäten zu ein und derselben Geste ausgelöst werden. Insbesondere für einfache Klickgesten hat dies den Vorteil, dass so zwischen Erkundungs- und Aktivierungsabsichten unterschieden werden kann.

Zur Interaktion auf der Stiftplatte stellt das taktile Fenstersystem dem Benutzer verschiedene Arten von Eingabekommandos zur Verfügung. Das sind insbesondere *Fenstersystemoperationen* zur Manipulation von Bereichen und gefilterten Fenstern, *Erkundungsoperationen* zur Manipulation des angezeigten Inhaltsausschnitts im Darstellungsbereich (u. a. Zooming und Panning) und *Hilfsoperationen* zum Bewahren der Orientierung. Insbesondere hohe Zoomstufen führen dazu, dass im Darstellungsbereich nur ein sehr kleiner Teil des gesamten Inhalts angezeigt wird. Kann der Benutzer keine Verbindung zwischen dem aktuellen Ausschnitt und dem globalen Kontext herstellen, dann kann es zu einem Orientierungsverlust kommen. Um diesem vorzubeugen, wurde neben der Anzeige von taktilen Scrollbalken auch ein spezieller Übersichtsmodus (auch als *Minimap* bezeichnet) entwickelt. Dabei wird ein Zwei-Level-Zoom Ansatz verwendet. Das heißt, im Darstellungsbereich wird entweder eine Übersicht über den Gesamthalt (die Minimap) oder eine hereingezoomte Variante (der aktuelle Ausschnitt in der gewählten Zoomstufe) angezeigt. Der aktuelle Ausschnitt innerhalb der Minimap wird mit Hilfe eines blinkenden Rahmens aus sich auf und ab bewegenden Stiften markiert. Auf diese Weise soll die Minimap dem Anwender dabei helfen, leicht einen Überblick über seine aktuelle Position im Braillefenster, also der Repräsentation eines GUI-Fensters auf der Stiftplatte, zu erhalten.

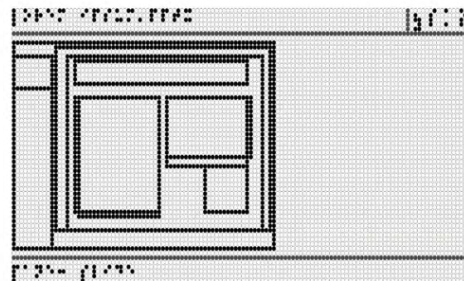




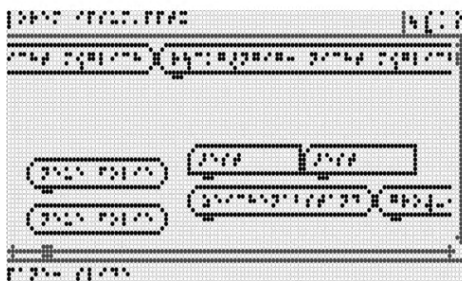
originales PowerPoint Dokument



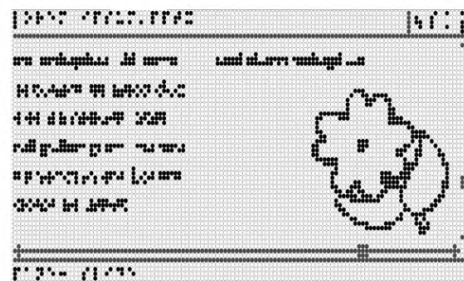
Arbeitsansicht



Überblicksansicht



Symbolansicht



Originalansicht

Abbildung 2.2: Darstellung eines Dokuments in den verschiedenen Ansichtsarten

---

# 3 Taxonomie zur taktilen Interaktion

---

Zur Systematisierung der taktilen Interaktion wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Taxonomie entwickelt. Inspiriert von vorhandenen Klassifizierungen zur haptischen Interaktion sowie zu Eingabetechniken wurde zunächst ein Ansatz zur Einordnung haptischer Benutzungsoberflächen erarbeitet. Dieser basiert auf zwei Dimensionen – der Wahrnehmungskomponente (taktil vs. kinästhetisch) sowie der Aktivität des Benutzers (aktiv vs. passiv). Dabei wurde deutlich, dass die Interaktion auf taktilen Displays sehr verschiedenartige Ausprägungen aufweisen kann, insbesondere wenn sowohl die Ein- als auch die Ausgabe betrachtet wird.

Um typische Benutzerhandlungen während der taktilen Interaktion zu beschreiben, wurde zunächst eine Anpassung der haptischen Elementaraufgaben nach ISO 9241-910 [ISO11] vorgenommen. Zudem ist die Betrachtung der Handbewegungen beim Lesen und Tätigen von Eingaben ein wichtiger Aspekt. Dabei spielen neben der Bewegungsrichtung auch zeitliche Relationen eine Rolle. Für eine ganzheitliche Betrachtung der taktilen Interaktion ist es notwendig, neben den Handlungen und Intentionen des Benutzers auch das Gerät sowie den Kontext der Interaktion mit einzubeziehen. Der Kontext für die vorliegende Arbeit ist bereits festgelegt („stationärer Desktop-Arbeitsplatz für blinde Benutzer“) und wurde dementsprechend nicht weiter betrachtet.

Die erarbeitete Taxonomie besteht letztendlich aus den folgenden drei Dimensionen: 1) Gerät, 2) Intention des Benutzers und 3) Interaktionsart. Die Eigenschaften des Geräts sind insofern wichtig, als dass sie Ein- und Ausgabemöglichkeiten der Interaktion definieren und begrenzen. Die Intention wiederum repräsentiert die bewussten Aktionen des Benutzers und stellt diese den unbewussten Handlungen, welche unter Umständen zu fehlerhaften Eingaben führen können, entgegen. Zudem kann die Intention zur Erkennung und Beschreibung von Fehlern (z. B. bei der Benutzerinteraktion oder der Interpretation durch das System) genutzt werden. Die Interaktion selber wurde unterteilt in die Handbewegungen des Benutzers, die Ein- und die Ausgabe. Die Handbewegungen und deren Interpretation durch das System stellen dabei den Kernpunkt der taktilen Interaktion dar, da sie einerseits abhängig von der Intention des Benutzers sind, andererseits direkten Einfluss auf die Ein- und Ausgabe ausüben.

Abbildung 3.1 zeigt einen Überblick über die entwickelte Taxonomie. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung von Details der einzelnen Teilbäume verzichtet. Die Anwendbarkeit der Taxonomie zur Beschreibung der Interaktion auf dem taktilen Flächendisplay BrailleDis 7200 konnte bereits im Rahmen der Arbeit an konkreten Beispielen gezeigt werden.



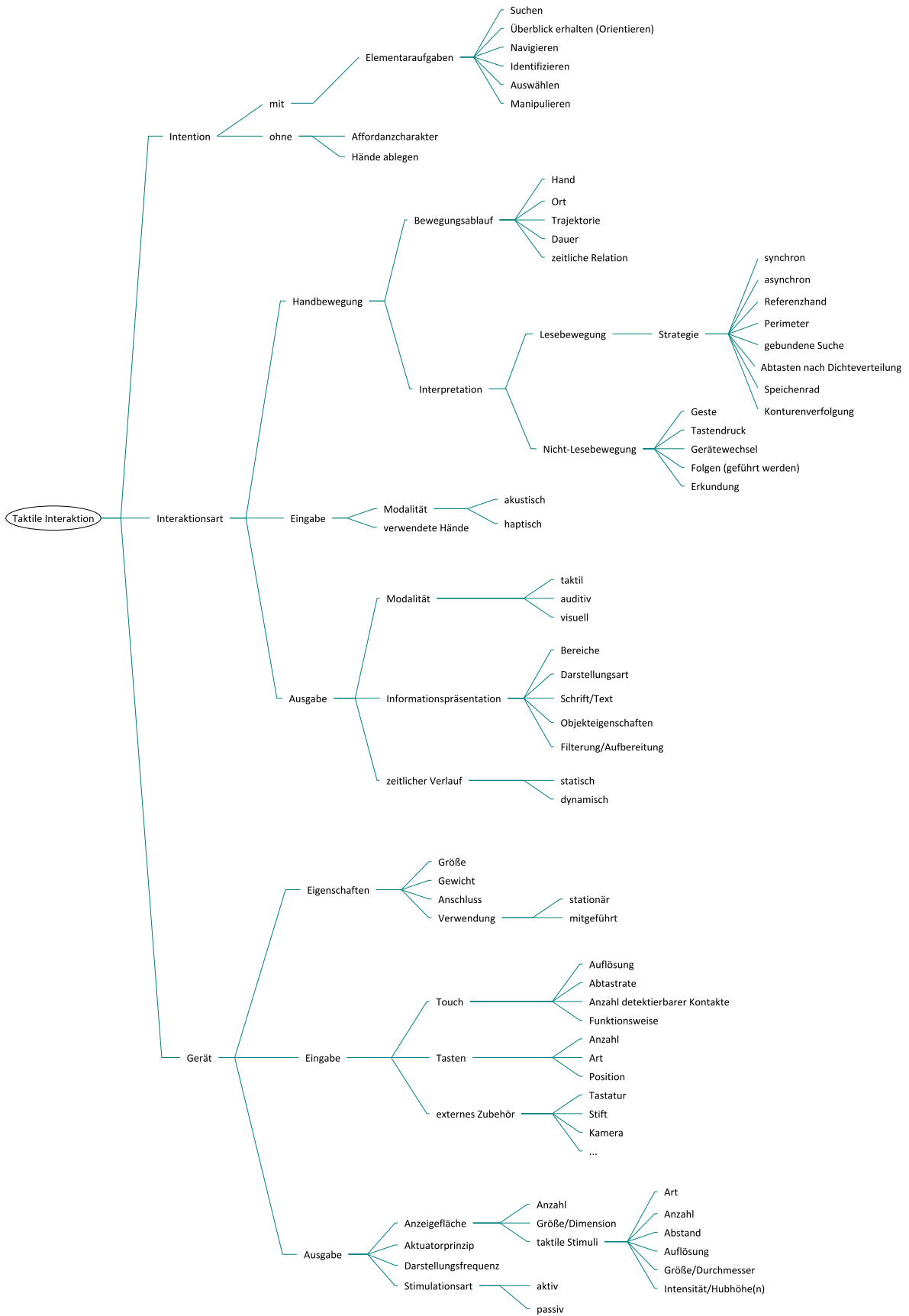


Abbildung 3.1: Taxonomie zur taktile Interaktion

# 4 Untersuchungen zur taktilen Interaktion auf flächigen Brailledisplays

Basierend auf der erarbeiteten Taxonomie zur taktilen Interaktion lassen sich mehrere Aspekte identifizieren, die im Rahmen von Benutzerstudien untersucht werden müssen. Neben Ein- und Ausgabetechniken auf der Stiftplatte sind dies insbesondere die einzelnen Elementaraufgaben sowie die interpretierbaren Handbewegungen des Benutzers. In Hinblick auf die Hypothese der vorliegenden Arbeit („*Taktile Flächendisplays ermöglichen ein effektives und effizientes Bedienen von grafischen Benutzungsoberflächen.*“) ergeben sich folgende Forschungsfragen zur Interaktion mit der Stiftplatte:

## Forschungsfrage 1

*Unterstützen verschiedene taktile Visualisierungsformen ein effektives und effizientes Arbeiten auf der Stiftplatte?*

Hierbei stellt sich insbesondere die Frage, ob verschiedene Darstellungsarten notwendig sind und welche jeweiligen Vor- und Nachteile sie beim Identifizieren verschiedenartiger GUI-Elemente aufweisen. Zudem muss dazu auch die Effektivität und Effizienz der einzelnen Darstellungsarten in ihrem jeweiligen Einsatzgebiet untersucht werden.

## Forschungsfrage 2

*Welche Erkundungsstrategien und Eingabemethoden eignen sich für die zweidimensionale Ausgabe der Stiftplatte?*

Im Rahmen dieser Frage ist zu klären, ob die Wahl der Eingabemethode einen Einfluss auf die Effektivität und Effizienz der Interaktion hat und welche Lesestrategien dabei angewendet werden. Außerdem muss untersucht werden, welche Erkundungsstrategien zum Auffinden von GUI-Elementen Verwendung finden und ob die zweihändige Bedienung dabei effizienter ist bzw. durch eine Einteilung in Bereiche unterstützt wird.

## Forschungsfrage 3

*Welche Interaktionstechniken können die Effizienz beim Arbeiten auf der Stiftplatte steigern?*

Innerhalb dieser Frage spielen die im Rahmen des Fenstersystems angebotenen Orientierungshilfen und Zoomingansätze eine Rolle. Das heißt, es ist zu untersuchen, ob eine flächige Übersicht (Minimap) gegenüber taktilen Scrollbalken ein effizienteres und genaueres Orientieren ermöglicht und wie hilfreich eine Strukturleiste beim Auffinden von Elementen ist. Zudem muss überprüft werden, inwieweit sich das nicht-visuelle Zoomen auf der Stiftplatte effizienter und weniger beanspruchend gestalten lässt.

In den Tabellen 4.1 und 4.2 findet sich ein Überblick über die durchgeführten Untersuchungen. Insgesamt haben 46 blinde und hochgradig sehbehinderte Einzelpersonen teilgenommen.

**Tabelle 4.1:** Übersicht über die durchgeführten Benutzerstudien (Teil 1)

Name der Studie	Probanden; BrailleDis Version	Ziel(e), Bewertungskriterien	Aufgabe(n)	Ergebnis
Studien zur Hardware-Ergonomie	6x blind (24 - 47 Jahre, 3w, Stiftplattenexperten)	Überarbeitung des BrailleDis 9000 (intuitive und ergonomische Bedienelemente finden)	Mock-ups bewerten (Schritt 1), Positionierung von PC- und Braille-Tastatur bewerten (Schritt 2)	Designempfehlung für das BrailleDis 7200
Bewertung taktilen Fenstersystem	8x blind (27 - 58 Jahre, 4w); BD 9000	Pilotstudie zur Bewertung der allgemeinen Gebrauchstauglichkeit des Fenstersystems	Desktop erkunden (teilweise geführt), Textdokument in verschiedenen Ansichtsarten erkunden (Zooming/Panning, Gesten...)	prinzipielle Eignung des Fenstersystems (Ansichten und Bereiche) zur nicht-visuellen Vermittlung von GUIs bestätigt
Power-Point-Studie	3x blind (21 - 28 Jahre, 1w); BD 7200	Pilotstudie zur Beschreibung von Benutzerinteraktionen am Beispiel von PowerPoint	Präsentation erkunden, Foliendesign festlegen, neue Folie und Inhalte anlegen	verschiedene Ansichtsarten bieten Mehrwert bei GUI-Bedienung (räumlicher Aufbau mittels Überblicksansicht verdeutlicht)
Braille-Lesestudien	20x blind (27 - 68 Jahre, 11w); Nachfolgestudie: 4x blind (32 - 49 Jahre, 2w); BD 9000	Effektivität und Effizienz von äquidistantem Braille auf der Stiftplatte (1,5 mm größerer Abstand zwischen zwei Zeichen) im Vergleich zu Standardbraille	Brailletexte laut vorlesen (4 Medien als unabhängige Variablen: Standardbraille auf Papier und 40er Braillezeile, äquidist. Braille im Darstellungs- und Detailbereich)	äquidistantes Braille gewöhnungsbedürftig, aber vergleichbare Leseraten wie bei Standardbraille möglich; vergrößerter Abstand kann für Anfänger von Vorteil sein
Studie zur taktilen Schwarzschrift	12x blind (27 - 68 Jahre, 6w); BD 9000	Effektivität taktiler Schwarzschrift	Textdokument (Rechnung) in Originalansicht erkunden	taktile Schwarzschrift ab einer Höhe von 6-7 Punkten lesbar; grafische Formatierungen teilweise erkennbar; nicht effizient, aber als Alternative für unzugängliche Inhalte nutzbar
taktile Grafikeditor	8x blind (27 - 59 Jahre, 2w); BD 7200	Effektivität beim Umgang mit taktilen Grafiken	Grafik erkunden und Verbesserungen diskutieren bzw. eigenständig vornehmen	Originalansicht erlaubt effektive Interaktion mit Grafiken; Editor positiv bewertet, aber geringe Auflösung führt zu Grenzen der Darstellbarkeit

w = Anzahl weiblicher Probanden, HSB = hochgradig sehbehinderter Proband, SVA = sehender Proband mit verbundenen Augen

Tabelle 4.2: Übersicht über die durchgeführten Benutzerstudien (Teil 2)

Name der Studie	Probanden; BrailleDis Version	Ziel(e), Bewertungskriterien	Aufgabe(n)	Ergebnis
Studien zu taktilen Füllmustern (Vorauswahl, Vorstudie, Haupt- und Nachstudie)	3x blind, 2x blind + 15x SVA, 8x blind + 1x HSB, 2x blind + 8x SVA; BD 7200	Entwicklung eines für die Stiftplatte und andere taktile Medien konsistent verwendbares Set an taktilen Texturen	taktile Texturen auf der Stiftplatte bewerten und unterscheiden (Vor- und Nachstudien), Äquivalenz der Texturen auf verschiedenen Medien bewerten (Hauptstudie)	Texturenset bestehend aus 9 SVG-Mustern, welche in konsistenter Weise auf der Stiftplatte sowie bei Brailledrucken und Schwellpapier verwendet werden können
Studie zu Orientierungshilfen (Lokalisierungsstudie)	11x blind und 2x HSB (21 – 51 Jahre, 7w); BD 7200	Vor- und Nachteile der Ansichtsarten, angewendete Erkundungsstrategien, Effizienz der Minimap, Effektivität der Strukturleiste	verschiedene GUI-Elemente (Widgets) in den verschiedenen Ansichtsarten finden (unabhängige Variablen: 4 GUI-Dialoge, 4 Widgets, 4 Ansichtsarten)	Ansichtsarten unterstützen unterschiedliche Aufgaben; Strukturleiste sehr hilfreich zum Finden von Widgets; Zooming führt zu unstrukturierteren Erkundungsstrategien; Minimap als hilfreich bewertet, aber kein messbarer Vorteil gegenüber Scrollbalken
PDF-Studie zu Eingabemethoden	12x blind (21 – 58 Jahre, 4w); BD 7200	Effektivität der räumlichen Anordnung von Formularelementen, Einfluss der Eingabemethode auf Effektivität und Effizienz, Lesestrategien	PDF Fragebogen in Symbolansicht ausfüllen (3 Eingabemethoden als unabhängige Variable: Gesten, HW-Tasten und PC Tastatur)	Eingabemethode hat Einfluss auf Effektivität und Effizienz (Tastatur signifikant langsamer, HW-Tasten weniger Fehler); kein Einfluss der Eingabemethode auf Lesestrategie
PDF-Studie zum Effizienzvergleich	4x blind (30 – 53 Jahre, 2w); BD 7200	Pilotstudie zum Effizienzvergleich mit herkömmlichen Hilfsmitteln, Effektivität der räumlichen Anordnung von Formularelementen	PDF Fragebogen in Symbolansicht ausfüllen (2 Hilfsmittel als unabhängige Variable: Stiftplatte und Standard-screenreader mit Braillezeile)	flächige Darstellung kann Zuordnung von Beschriftung und Formularelement unterstützen; Effizienz herkömmlicher Hilfsmittel erreichbar, wenn Benutzer trainiert ist im Umgang mit Stiftplatte
Zoom-Studie	4x blind und 8x SVA (22 – 53 Jahre, 6w); BD 7200	Bewertung des Fokuszoom-Ansatzes (Effizienz, allgemeine Beanspruchung und Zufriedenheit)	möglichst schnell die fokussierte Form nach dem Zoomen wiederfinden (2 Zoomansätze als unabhängige Variable: Fokus- und Mittelpunktzoom)	Fokuszoom ist effizienter, weniger beanspruchend und wird von Benutzern bevorzugt

w = Anzahl weiblicher Probanden, HSB = hochgradig sehbehinderter Proband, SVA = sehender Proband mit verbundenen Augen

Als Resultat der Benutzerstudien lassen sich die drei oben genannten Forschungsfragen wie folgt beantworten:

### Resultate zu Forschungsfrage 1

*Unterstützen die verschiedenen Ansichtsarten ein effektives und effizientes Arbeiten auf der Stiftplatte?*

Die durchgeführten Studien konnten zeigen, dass die Ansichtsarten unterschiedliche Aufgaben unterstützen können. Darstellungen mit Brailleschrift können dabei insbesondere das Verständnis der Inhalte erleichtern, wohingegen layouterhaltende Ansichten eine Vermittlung der räumlichen Strukturen ermöglichen. Das äquidistante Braille auf der Stiftplatte wurde zwar als gewöhnungsbedürftig empfunden, ist aber dennoch annähernd so effizient lesbar wie Texte auf einer herkömmlichen Braillezeile. Grafische Inhalte sowie darin enthaltene Schwarzschrift können mit Hilfe der Originalansicht effektiv erkundet werden. Dabei sind allerdings sehr feine Strukturen aufgrund der geringen Auflösung der Stiftplatte schwer darstellbar. Das Erkennen von räumlichen Zusammenhängen in der Symbolansicht kann die Zuordnung von Interaktionsobjekten unterstützen. Die Überblicksansicht wiederum ist sehr hilfreich, um das Layout und den Aufbau einer GUI nachzuvollziehen. Insgesamt ermöglichen die verschiedenen Ansichtsarten somit ein effektives Arbeiten in unterschiedlichen Anwendungsszenarien. Die Effizienz beim Umgang mit GUIs ist dabei allerdings stark abhängig vom Erfahrungsgrad der Probanden. Da dies wiederum ein umfangreiches Training der einzelnen Konzepte auf der Stiftplatte erfordert, konnte die Effizienz der Ansichten im Rahmen dieser Arbeit nur beispielhaft untersucht werden.

### Resultate zu Forschungsfrage 2

*Welche Erkundungsstrategien und Eingabemethoden eignen sich für die zweidimensionale Ausgabe der Stiftplatte?*

Es konnte gezeigt werden, dass die Wahl der Eingabemethode einen Einfluss auf die Effektivität und Effizienz der Interaktion hat. Im Vergleich zur Gesteneingabe oder der Verwendung von am Gerät verbauten Bedienelementen führten Eingaben über eine separate Tastatur zu einer deutlich langsameren Interaktion. Auf die angewandten Lesestrategien scheinen die verschiedenen Eingabemethoden jedoch keinen Einfluss zu haben. Generell kann die zweihändige Interaktion allerdings zu einem effizienteren Arbeiten führen, wenn die Hände eine Arbeitsteilung vornehmen (z. B. eine Hand liest, während die andere am Bedienelement auf die nächste Eingabe wartet). Erkundungsstrategien in zoombaren Ansichten waren prinzipiell unstrukturierter als jene in Braillebasierten Ansichten. Entsprechend des gängigen Leseflusses wurden vertikale Panningstrategien häufiger angewendet als horizontale.

### Resultate zu Forschungsfrage 3

*Welche Interaktionstechniken können die Effizienz beim Arbeiten auf der Stiftplatte steigern?*

Orientierungshilfen, wie Minimap und Scrollbalken, sind hilfreich, um die eigene Position innerhalb einer Anwendung bzw. eines Dokuments zu identifizieren. Obwohl die Minimap in der Untersuchung keinen messbaren Vorteil bzgl. Effizienz und Genauigkeit zeigen konnte, scheint sie ein geeignetes Hilfsmittel zu sein, um insbesondere in detaillierten Zoomstufen das flächige Orientieren zu unterstützen. Gerade für neuartige Interaktionswerkzeuge ist allerdings ein erhöhter Trainingsbedarf der Benutzer zu erwarten, um ein grundlegendes Verständnis für deren Nutzung aufzubauen. Anders verhält es sich mit der Strukturleiste. Mit derartigen linearisierten Ausgabeformen sind blinde Menschen bereits vertraut, sodass sie schnell als geeignetes Hilfsmittel zum Suchen von bestimmten Inhaltselementen identifiziert und verwendet wurde. Die Interaktionstechnik des Zoomens ist wiederum größtenteils neu für die Benutzergruppe. Aufgrund der verbesserten Kontextbewahrung erwies sich der entwickelte Fokuszoomansatz im Vergleich zum Mittelpunktzoom nicht nur als effizienter, sondern auch als weniger beanspruchend. Insgesamt scheinen die bereitgestellten Interaktionstechniken auf der Stiftplatte geübten Benutzern durchaus eine zu herkömmlichen Hilfsmitteln vergleichbare Effizienz ermöglichen zu können.

Die Studien konnten darüber hinaus umfangreiche Einblicke in die Interaktion auf der taktilen Stiftplatte liefern. Darauf aufbauend können konkrete Empfehlungen an die Darstellung sowie die notwendigen Bedientechniken von Flächendisplays formuliert werden.

Insbesondere bei sehr großen Anzeigeflächen ist eine Einteilung in nicht überlappende und taktil voneinander separierte Bereiche zu empfehlen. Diese sollten dem Benutzer eine *konsistente Platzierung bestimmter Informationen* bieten und damit wichtige Referenz- und Orientierungspunkte liefern. Die Trennung der einzelnen Bereiche sollte dabei jeweils durch eine erhabene Stiftreihe erfolgen. Die Anzahl und Anordnung der Bereiche sollte vom jeweiligen Anwendungsszenario abhängig gemacht werden. Für die Arbeit mit mehreren GUI-Fenstern empfiehlt sich die Verwendung eines komplexeren Fenstersystems, wie dem des HyperReaders. Auf diese Weise ist nicht nur ein Überblick über wichtige Informationen des aktuellen Fensters (u. a. Titel und Ansichtsart), sondern auch über weitere geöffnete Fenster gewährleistet. Beim Arbeiten mit taktilen Grafiken ist es hingegen wichtig, einen möglichst großen Teil der Anzeigefläche zur Darstellung dieser zu verwenden. In diesem Fall ist die Reduzierung der Bereiche auf ein Minimum empfehlenswert. Meist genügt neben dem grafischen Inhalt im Darstellungsbereich eine zusätzliche Textzeile in Brailleschrift (Detailbereich), um zusätzliche Informationen zu den einzelnen Elementen einer Grafik auszugeben. Das Fenstersystem für ein taktilen Flächendisplay sollte demnach eine flexible Gestaltung der Ausgabe ermöglichen.

Des Weiteren können verschiedene Arten der Inhaltspräsentation unterschiedliche Anwendungsszenarien unterstützen. Für die Arbeit auf einem taktilen Flächendisplay sind neben textbasierten vor allem auch grafische *Visualisierungen* notwendig. Die Mindestanforderung an eine geeignete Ausgabe ist somit die Bereitstellung einer linearisierten Ansicht in Brailleschrift zum effizienten Lesen der Inhalte sowie eine Ansicht, welche dem Benutzer Zugang zur originalen Pixeldarstellung einer Grafik ermöglicht. Darüber hinaus kann durch eine semi-grafische Ausgabe die Orientierung in GUIs erleichtert werden. Dabei sollten Inhalte in Brailleschrift präsentiert werden und zusätzlich das Layout der Anwendung möglichst originalgetreu erhalten bleiben. Ansichten ohne Braille erfordern die Ergänzung durch auditive Ausgaben. Durch einen audio-taktilen Ansatz lassen sich somit auch sehr abstrakte Ansichten nutzen. Diese zielen weniger auf die Erkundung der Inhalte ab, sondern vielmehr auf eine einfache Vermittlung räumlicher Zusammenhänge.

Unabhängig von der gewählten taktilen Visualisierungsform sind geeignete *Zooming- und Panningfunktionalitäten* wichtig, um dem Benutzer das Erkunden und Orientieren in einer flächigen taktilen Ausgabe zu ermöglichen. Wichtig dabei ist, dass die bereitgestellten Funktionen den Kontext nicht zu stark verändern. Das heißt, es muss für den Anwender vorhersehbar sein, wie sich eine Erkundungsoperation auf die Darstellung auswirkt (Prinzip der Erwartungskonformität). Insbesondere nach dem Zoomen können Probleme beim Wiedererkennen der Inhalte auftreten. Empfehlenswert ist deshalb die Verwendung eines klar definierten Zoommittelpunkts, welchen der Benutzer im Idealfall selber festlegen kann – entweder durch eine Zeigegeste oder durch Wahl des Fokus. Im Gegensatz zur Nutzung der Mitte der taktilen Anzeigefläche als Referenzpunkt kann der Fokuszoom das Verschieben des fokussierten Inhalts in den nicht-fühlbaren Bereich vermeiden und sollte somit dem klassischen Mittelpunktzoom vorgezogen werden. Das Orientieren kann weiterhin durch die Bereitstellung unterschiedlicher Panningfunktionen unterstützt werden. Während das Umschalten einer gesamten Anzeigefläche (Blättern) dafür sorgt, dass keine Überlappung der Inhalte auftritt und somit ein effizienteres lineares Erkunden zulässt, ermöglicht ein kleiner Panningschritt (Verschieben) die Beibehaltung des aktuellen Kontext als Referenzpunkt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Orientierung ist es, dass der Benutzer jederzeit seinen *aktuellen Standpunkt* innerhalb einer Anwendung bzw. eines Dokuments erkennen kann. Taktile Scrollbalken sind hierfür als Hilfe bereitzustellen. Zudem kann ein flächiger Übersichtsmodus (Minimap) hilfreich sein, um die Einordnung des aktuellen Ausschnitts innerhalb des Gesamtdokuments zu erleichtern. Das *Blinken* (Auf- und Abbewegen) von Stiften stellt dabei ein wichtiges Mittel dar, um die Aufmerksamkeit des Benutzers zu steuern. Um wahrnehmbar zu sein, muss die Laufzeit derartiger Animationen allerdings entweder dauerhaft oder benutzergesteuert sein. Abseits der Minimap ist das taktile Blinken auch zur Markierung des fokussierten Elements geeignet. Allerdings ist zu beachten, dass insbesondere kleine Blinkflächen auf großen Displays schwer wahrnehmbar sind. Aus diesem Grund ermöglicht das aktuelle System das manuelle Zentrieren des Fokus in der Ausgabefläche. Zukünftige Lösungen sollten darüber hinaus weitere Unterstützung für das Auffinden des Fokus anbieten, ohne das aktuelle Referenzsystem zu beeinflussen – beispielsweise in Form einer nicht-visuellen Führung wie dies bei Force Feedback Geräten üblich ist.

Auch das Auffinden von speziellen Inhaltselementen kann in einer nicht-linearen Ausgabe schwierig und ineffizient sein. Um die Orientierung diesbezüglich zu unterstützen, können entsprechende Markierungen neben der Ausgabe eines Dokuments hilfreich sein. In dieser Arbeit wurde dazu lediglich eine vertikale Strukturleiste untersucht. Inwieweit eine zusätzliche horizontale Leiste den Suchvorgang weiter optimieren kann, ist bisher unklar. Im Sinne eines Koordinatensystems scheint dies allerdings ein hilfreicherer Ansatz, um die *strukturierte Exploration* auf großen taktilen Displays weiter zu unterstützen. Insbesondere für den Zugang zu Grafiken ist neben einer freien audio-taktilen Erkundung mittels Zeigegesten auch die



Bereitstellung linearisierter Erkundungspfade (z. B. Anspringen der einzelnen Objekte in ihrer natürlichen Reihenfolge mit der Tabulatortaste) wichtig, um ein deterministisches Erschließen aller Elemente sicherzustellen.

Ein direkter Vergleich mit herkömmlichen Screenreadern und Braillezeilen konnte zeigen, dass die Interaktion auf einer taktilen Stiftplatte für geübte Benutzer genauso effizient sein kann. Obwohl der Vergleich lediglich mit einer begrenzten Anzahl an blinden Probanden durchgeführt werden konnte, ist dies ein erster Schritt, die Verwendung taktiler Flächendisplays als Ersatz einzelner Braillezeilen in Erwägung zu ziehen. Die linearisierte Ausgabe traditioneller Screenreader kann dabei leicht durch den Detailbereich realisiert werden. Auf diese Weise lassen sich herkömmliche textbasierte und neuartige grafische Ausgaben auf einem Display miteinander kombinieren. Die so erzeugte Verschmelzung bekannter Arbeitsweisen blinder Menschen mit der zusätzlichen interaktiven Flächigkeit von Informationen kann nicht nur beim Erlernen solcher Systeme hilfreich sein, sondern auch den Zugang zu ansonsten schwer zugänglichen Inhalten vereinfachen. Wie im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden konnte, kann eine zweidimensionale Ausgabe insbesondere das Zuordnen zusammengehöriger Elemente sowie das Prüfen von Eingaben in Formularen oder von Dokumentenformatierungen unterstützen.

Wichtig für eine effektive Interaktion auf taktilen Flächendisplays sind auch die zur Verfügung gestellten *Eingabemethoden*. Dabei hat sich gezeigt, dass die Kombination von am Gerät verbauten intuitiven Bedienelementen mit den Möglichkeiten der Gesteneingabe am effizientesten ist. Auf diese Weise lassen sich lange Homingwege, wie sie beim Interagieren mit einer zusätzlichen Tastatur notwendig wären, vermeiden. Auf die *Lesestrategien* der Benutzer haben die verschiedenen Eingabemethoden allerdings keinen Einfluss. Stattdessen konnte beobachtet werden, dass sich die Probanden meist ihrer herkömmlichen Strategien bedienen. Adäquate Schulungen können dazu beitragen, die charakteristischen Interaktionsmöglichkeiten flächiger Displays zu vermitteln. Besonderer Wert sollte dabei auf die Arbeitsteilung der beiden Hände gelegt werden, da zweihändig asynchrone Techniken das effiziente Arbeiten auf der Stiftplatte unterstützen können.

---

# 5

## Zusammenfassung und Ausblick

---

Die wesentlichen Beiträge der vorliegenden Arbeit betreffen einerseits die Erarbeitung einer Taxonomie zur taktilen Interaktion, andererseits die konkreten Empfehlungen zur Umsetzung von Benutzungsoberflächen auf flächigen Brailledisplays. Letztere basieren auf den Ergebnissen zahlreicher empirischer Untersuchungen mit blinden Benutzern. Die Taxonomie kann Entwickler bei der systematischen Gestaltung und Evaluation von taktilen Benutzungsoberflächen unterstützen. In Verbindung mit den gegebenen Empfehlungen kann die Arbeit dabei helfen, effektive und effiziente taktile Benutzungsoberflächen für grafisch-taktile Displays zu entwickeln. Das implementierte und evaluierte Fenstersystem ließ sich bereits erfolgreich auf andere Anwendungen für die Stiftplatte, wie einen taktilen Grafikeditor [BPW15] oder ein virtuelles Klassenzimmer [KL15], übertragen. Ebenso wurde das im Rahmen der Ergonomie-Studie konzipierte Design zur Erweiterung der Stiftplatte um intuitive Bedienelemente als Vorlage für die Entwicklung des BrailleDis 7200 durch die Metec AG verwendet.

Insgesamt wurde in den Benutzerstudien deutlich, dass die zweidimensionale Ausgabe vor allem in den grafischen Ansichtsarten ein umfangreiches Training der Konzepte sowie ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen beim Benutzer bedingt. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ermöglichen flächige Brailledisplays nicht nur das interaktive Erkunden von textuellen und grafischen Inhalten, sondern darüber hinaus auch ein tieferes Verständnis für den Aufbau grafischer Anwendungen. Dies wiederum kann einen positiven Effekt auf die Kommunikation mit sehenden Menschen haben.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten nicht alle Aspekte der taktilen Interaktion genau betrachtet werden. Beispielsweise sind nicht nur Verbesserungen der taktilen Renderingalgorithmen notwendig, sondern auch weitere Untersuchungen im Bereich der Darstellung von taktilen Grafiken, um die Ausgabe weiter zu optimieren. Zudem konnten die verschiedenen Ansichtsarten auf der Stiftplatte nur innerhalb beispielhafter Anwendungsszenarien untersucht werden. Unter anderem bleibt unklar, ob die semi-grafische Ausgabe auch ein effektives Bedienen von Menüstrukturen besser unterstützen kann als eine textuell-linearisierte Ansicht.

Insbesondere die Eingabestrategien sind stark abhängig vom verwendeten Gerät. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden vorrangig die Benutzerinteraktionen auf dem BrailleDis 7200 beobachtet. Dieses Gerät bietet allerdings eine vergleichsweise hohe Anzahl an intuitiven Bedienelementen, um dem Benutzer ein von der Tastatur unabhängiges Arbeiten zu ermöglichen. Andere Geräte besitzen unter Umständen gar keine integrierten Eingabemöglichkeiten, was zu komplett anderen Erkundungs- und Eingabestrategien führen könnte.

Aufgrund der verwendeten Technologien sind aktuell verfügbare flächige Brailledisplays, die eine zu herkömmlichen Braillezeilen vergleichbare Darstellungsfrequenz ermöglichen, sehr teuer. Aus diesem Grund sind derartige Displays bisher noch nicht verbreitet bei blinden Anwendern. Um möglichst vielen Benutzern den Zugang zu grafikfähigen Brailledisplays und den damit verbundenen Vorteilen zu eröffnen, sollten zukünftige Entwicklungen vor allem kostengünstige Geräte adressieren. Bei der Konzeption entsprechender Interaktionstechniken und Anwendungen muss neben der Größe der taktilen Anzeigefläche auch die notwendige Zeit zum Aufbau der Ausgabe beachtet werden. Diese Arbeit hat sich mit relativ großflächigen Geräten beschäftigt, die einen sehr schnellen Bildaufbau und damit einen hochgradig interaktiven Zugang zu grafischen Benutzungsoberflächen ermöglichen. Die untersuchten Interaktionstechniken und vorgestellten Konzepte können bei deutlich kleineren oder langsameren Geräten eventuell zu anderen Ergebnissen führen. Beispielsweise kann die Aufteilung in mehrere Bereiche für kleine Displays weniger zielführend sein. Die Aufmerksamkeitssteuerung mittels blinkender Stifte ist hingegen für langsame Geräte wahrscheinlich kaum möglich.

Letzten Endes wurde im Rahmen der Untersuchungen deutlich, dass blinde Benutzer durchaus Interesse an einem taktilen Zugang zu Grafiken besitzen. Selbst wenn der Anfang schwierig und der Weg zu einer effizienten Bedienung steinig ist, wurde immer wieder deutlich, dass blinde Menschen auch den sehr hohen Lernaufwand nicht scheuen.

---

# Literaturverzeichnis

---

- [BBV90] Boyd, Lawrence H. ; Boyd, Wesley L. ; Vanderheiden, Gregg C.: The Graphical User Interface Crisis: Danger and Opportunity. In: *Journal of Visual Impairment & Blindness* 84 (1990), Nr. 10, S. 496–502
- [BKRS70] Bliss, James C. ; Katcher, Michael H. ; Rogers, Charles H. ; Shepard, Raymond P.: Optical-to-tactile image conversion for the blind. In: *IEEE Transactions on Man-Machine Systems* 11 (1970), Nr. 1, S. 58–65
- [BPW15] Bornschein, Jens ; Prescher, Denise ; Weber, Gerhard: Collaborative Creation of Digital Tactile Graphics. In: *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility ACM*, 2015, S. 117–126
- [BYR74] Bach-Y-Rita, Paul: Visual information through the skin: a tactile vision substitution system. In: *Transactions of the American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology* 78 (1974), S. 729–740
- [ISO11] ISO (the International Organization for Standardization): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 910: Rahmen für taktile und haptische Interaktion (Deutsche Fassung EN ISO 9241-910:2011) / DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2011 (ISO9241-910). – Standard. – ISO 9241-910:2011
- [Jac91] Jacob, Robert J.: The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get. In: *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)* 9 (1991), Nr. 2, S. 152–169
- [KL15] Köhlmann, Wiebke ; Lucke, Ulrike: Alternative Concepts for Accessible Virtual Classrooms for Blind Users. In: *15th International Conference on Advanced Learning Technologies IEEE*, 2015, S. 413–417
- [SKNW09] Schiewe, Maria ; Köhlmann, Wiebke ; Nadig, Oliver ; Weber, Gerhard: What you feel is what you get: Mapping GUIs on planar tactile displays. In: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*. Springer, 2009 (Lecture Notes in Computer Science 5615), S. 564–573
- [VWB08] Völkel, Thorsten ; Weber, Gerhard ; Baumann, Ulrich: Tactile graphics revised: the novel BrailleDis 9000 pin-matrix device with multitouch input. In: Miesenberger, Klaus (Hrsg.) ; Klaus, Joachim (Hrsg.) ; Zagler, Wolfgang (Hrsg.) ; Karshmer, Arthur (Hrsg.): *Computers Helping People with Special Needs*. Springer, 2008 (Lecture Notes in Computer Science 5105), S. 835–842