

8 Experimente und Ergebnisse

8.1 Überblick

Im vorangegangenen Kapitel wurden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und realisierten Werkzeuge vorgestellt. Das vorliegende 8. Kapitel widmet sich nun den Experimenten, die mit diesen Werkzeugen gemacht wurden. Ziel der Experimente war eine Verifizierung der Gültigkeit der in dieser Arbeit gemachten interaktionsrelevanten Aussagen und der Anwendbarkeit der vorgestellten Verfahren. Natürlich dienen die Evaluationen auch zum Testen der Funktionsfähigkeit und Benutzbarkeit der implementierten Systeme. Alle Experimente wurden mit blinden und sehenden Versuchspersonen durchgeführt. Dabei kamen Verfahren zum Einsatz, die sich in der Experimentalpsychologie, insbesondere bei der Evaluation von Systemen und Benutzungsschnittstellen für Blinde, schon bewährt hatten.

Da die Aufgaben und Ziele der realisierten Systeme individuell unterschiedlich waren, wurden auch jeweils eigene Evaluationsmethoden verwendet. Daher wird in diesem Kapitel für jedes der drei implementierten und untersuchten Systeme dessen Evaluation beschrieben.

Im Unterkapitel 8.2 wird zunächst das taktile Zeichensystem TDraw untersucht. Gegenstand dieser Untersuchung war zunächst die Benutzbarkeit als Zeichensystem; weiterhin wurde jedoch bei der Datensammlung und der Video-gestützten Beobachtung darauf geachtet, Erkenntnisse zu gewinnen, die dann für den Entwurf der anderen Systeme (TRender und TGuide) verwendet werden konnten.

Anschließend wird im Abschnitt 8.3 die unter wahrnehmungspsychologischen und kognitiven Gesichtspunkten durchgeführte Untersuchung der Erkennbarkeit von Zeichnungen, die mit TRender erstellt wurden, beschrieben. Die quantitativen Ergebnisse dieser Studie zeigen Möglichkeiten und Grenzen der entwickelten Entwurfsmethoden für taktile Zeichnungen auf.

Schließlich wird unter 8.4 die Evaluation des taktilen Erkundungshilfsmittels für TGuide, der Vibratormaus, dargelegt. Gerade hier zeigt sich, daß die Entwurfsidee des Geräts funktionell den Anforderungen entspricht, jedoch durch die Unzulänglichkeiten der äußeren Form des Prototyps die Möglichkeiten nicht voll ausgeschöpft werden konnten. Hinzu kommt hier das Problem, nicht nur die Funktionstüchtigkeit des taktilen Geräts zu zeigen, sondern es auch mit anderen Modalitäten (Sprachausgabe) zu vergleichen.

Diese drei Unterkapitel sind alle nach dem gleichen Schema aufgebaut: Nach einer kurzen Darstellung des Systemzwecks und der Fragestellung der Evaluation wird die Versuchsanordnung und -durchführung behandelt. Es folgen eine kurze Charakterisierung der Stichprobe (statistische Merkmale der Versuchspersonen) und schließlich die Zusammenfassung der Beobachtungen und Ergebnisse.

8.2 TDraw

8.2.1 Fragestellung

Ziel von TDraw war es einerseits, Blinden ein textuell anreicherbares Zeichenwerkzeug zur Verfügung zu stellen, und andererseits, Methoden Blinder zum Zeichnen räumlicher Gegenstände zu ermitteln. Das System ist in [KURZE 96A] und in Abschnitt 7.2 dieser Arbeit beschrieben.

Die Fragestellung der Experimente läßt sich unmittelbar aus diesen Zielen ableiten: Es mußte *erstens* herausgefunden werden, ob Blinde in der Lage sind, mit dem neuen Werkzeug umzugehen, und ob sie es gemäß seiner Bestimmung nutzen. Insofern handelte es sich hier um klassische Funktions- und Benutzbarkeitstests. *Zweitens* sollte festgestellt werden, ob Blinde (insbesondere Geburtsblinde) andere Verfahren verwenden als Sehende, wenn sie räumliche Gegenstände zeichnen. Diese Verfahren sollten dann in einem zweiten Schritt identifiziert und analysiert werden.

8.2.2 Versuchsanordnung und -durchführung

Zunächst wurden die blinden Versuchspersonen in die Benutzung von TDraw eingeführt: Mit dem kombinierten Thermo- und Digitalisier-Stift zeichneten sie Linien, Formen, Kreise, Flächen (Polygone) und Gegenstände nach eigenem Wunsch. Dabei wurden sie aufgefordert, den gezeichneten Objekten Namen per Spracheingabe zu geben und gegebenenfalls Linienzüge verbal als geschlossen zu kennzeichnen (Befehl: „Position 1“). So erfolgte die semantische Hinterlegung der gezeichneten Objekte mit Zusatzinformation, hier den Objekt-Namen. Als „geschlossen“ gekennzeichnete Linienzüge wurden nicht als Linie, sondern als Polygon weiterverarbeitet.

Nach dieser Gewöhnungsphase sollten die Versuchspersonen zunächst einzelne Gegenstände zeichnen, die ihnen zum Betasten zur Verfügung gestellt wurden: Ein Holzwürfel (Kantenlänge ca. 5 cm), eine Kugel (Durchmesser ca. 5 cm), ein Spielzeugstuhl (Höhe ca. 15 cm, siehe Abbildung 8-1 links), ein Spielzeugtisch (Höhe ca. 12 cm, siehe Abbildung 8-1 Mitte), eine kleine Flasche (Höhe ca. 11 cm), ein Spielzeug-LKW (Länge ca. 10 cm, siehe Abbildung 8-1 rechts).



Abbildung 8-1 Einige der einzeln und in Szenen eingebettet zu zeichnenden Gegenstände.

Nachdem jeweils ein bis zwei Objekte gezeichnet worden waren, wurden die Schwellpapiere auf dem Tablett ausgetauscht, und eine neue Zeichnung wurde begonnen, ebenso eine neue Zeichnungsdatei.

Nachdem die Einzelobjekte gezeichnet worden waren, wurden die Versuchspersonen aufgefordert, komplexere Szenen, die aus den inzwischen bekannten Einzelobjekten zusammengesetzt waren, zu erkunden und zu zeichnen: Abbildung 8-2 zeigt eine solche Szene, fotografiert vom Standpunkt des (blinden) Zeichners aus.



Abbildung 8-2 Eine aus drei Objekten bestehende Szene, fotografiert von der Position des (blinden) Zeichners aus.

Die Versuchspersonen hatten auch während des Zeichnens Gelegenheit, die Objekte und Szenen erneut zu untersuchen. Die Zeichenvorgänge wurden mittels TDraw protokolliert. Sämtliche Versuche wurden auf Videokassette festgehalten, um auch die Tätigkeiten neben dem eigentlichen Zeichnen, insbesondere die Erkundungsmethoden der realen Objekte, zu dokumentieren.

8.2.3 Versuchspersonen/Statistik

Bei der Auswahl der Versuchspersonen wurde ein möglichst breites Spektrum von Blinden in der Stichprobe angestrebt. Da die Versuchsdurchführung eine Anwesenheit im Institut für Informatik erforderlich machte und die Teilnehmer ausnahmslos Freiwillige waren, kann davon ausgegangen werden, daß es sich bei der Gruppe um überdurchschnittlich mobile und interessierte Menschen handelte.

Die Gruppe bestand aus fünf Personen, wie die folgende Tabelle 8-1 zeigt. Mit dieser Anzahl von Versuchspersonen lassen sich selbstverständlich keine statistisch relevanten Daten ermitteln. Dies war auch nicht Ziel der Experimente; vielmehr ging es hier darum, Trends aufzuzeigen und die generelle Machbarkeit des Konzepts zu demonstrieren.

Tabelle 8-1 Persönliche Daten der Versuchspersonen für die Evaluation von TDraw.

Versuchsperson	S1	S2	S3	S4	S5
Alter	25	25	45	56	61
Geschlecht	weiblich	männlich	männlich	männlich	männlich
Beruf	Studentin	Masseur	Beamter	Lehrer	Techniker
visuelle Wahrnehmung	keine	keine	Umrisse	keine	ein Auge: <4%
blind seit (Alter)	1	1	15	14	57
kennt taktile Zeichnungen	Karten, Schulmaterial	Karten, Schulmaterial	Karten, Diagramme	Karten, Schulmaterial	Karten
hat schon taktil gezeichnet	Diagramme	nichts	nichts	Mathematik-Skizzen	Karten

Bis auf S5 hatte kein Teilnehmer Erfahrungen mit Schwellpapier. Die Erfahrungen mit taktilen Grafiken wurden mit Riffel-Folie oder Tiefzieh-Folie gemacht.

8.2.4 Beobachtungen und Ergebnisse

Das Ziel, Blinden ein Zeichenwerkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dem auch Kopien für andere erzeugt werden können, die einschließlich ihrer textuellen Anreicherung zugänglich sind, wurde erreicht. Alle Versuchspersonen äußerten sich zufrieden mit der Handhabung. Es gab aber auch Kritik und Verbesserungsvorschläge:

- Die meisten Benutzer wünschten sich Zeichenhilfsmittel wie ein Lineal, um gerade Linien und andere Formen zeichnen zu können. Da dieser Wunsch erst im Laufe der Versuche aufkam und alle Versuchspersonen unter den gleichen Bedingungen arbeiten sollten, wurden keine Hilfsmittel zur Verfügung gestellt.
- Die Handhabung des Stifts wurde nicht als optimal empfunden: Zum einen muß der Thermo-Stift senkrecht gehalten werden, weil er sonst nicht genügend Hitze an das Schwellpapier abgeben kann; zum anderen muß er relativ langsam bewegt werden, damit eine Linie spürbar wird. Dieses Problem kann umgangen werden, wenn man statt Schwellpapier Riffel-Folie zum Zeichnen verwendet.
- Schließlich vermißten die meisten Teilnehmer eine Möglichkeit, Linien wieder zu löschen. Dieses Problem kann mit den zur Zeit zur Verfügung stehenden Mitteln nicht gelöst werden.

Diese Kritikpunkte ändern nichts daran, daß das System grundsätzlich als nützlich und benutzbar eingeschätzt wurde.

Im wissenschaftlichen Zusammenhang waren allerdings die Fragen nach den Methoden Blinden, räumliche Gegenstände zu zeichnen, von größerer Bedeutung:

Es zeigten sich gravierende Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchspersonen. Generell ließ sich feststellen, daß Späterblindete (S3, S4 und S5) oft versuchten, gemäß ihren früheren visuellen Wahrnehmungs- und Abbildungsmethoden zu zeichnen. Dies beinhaltet perspektivische Verzerrungen und optische Überlappungen. Früh Erblindete oder Geburtsblinde (S1 und S2) sind in ihrem Zeichenverhalten noch nicht auf die visuellen Methoden geprägt und entwickelten eigene Methoden, wie sie teilweise z.B. auch von Kennedy [KENNEDY 93] beobachtet wurden. Bei informellen Versuchen unmittelbar im Anschluß an die Zeichensitzungen zeigte sich jedoch, daß Späterblindete ihre eigenen Zeichnungen (ebenso wie die anderer Späterblindeter) nicht erkannten, während Geburtsblinde die eigenen ebenso wie Zeichnungen anderer Geburtsblinder erkannten. Mit geringer Unterstützung waren auch Späterblindete in der Lage, die Zeichnungen Geburtsblinder zu verstehen.

Die folgenden Beispiele (Abbildung 8-3 bis Abbildung 8-7) zeigen Zeichnungen blinder Versuchspersonen, die sie im Laufe der oben geschilderten Versuche anfertigten. Unter den Abbildungen ist jeweils auch die daraus gewonnene Abbildungsmethode erwähnt.

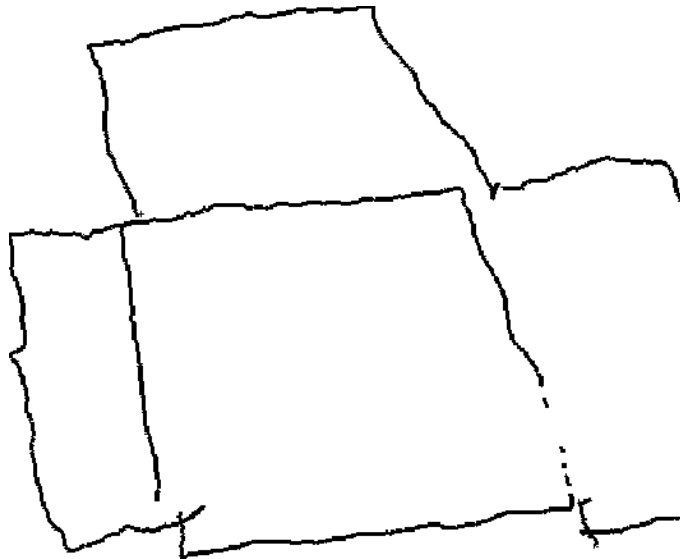


Abbildung 8-3 Ein Würfel, teilweise aufgefalt. Die Unterseite wurde nicht aufgefalt, weil sie auf dem Tisch liegt und daher haptisch unzugänglich ist. (Methode: Auffalten)

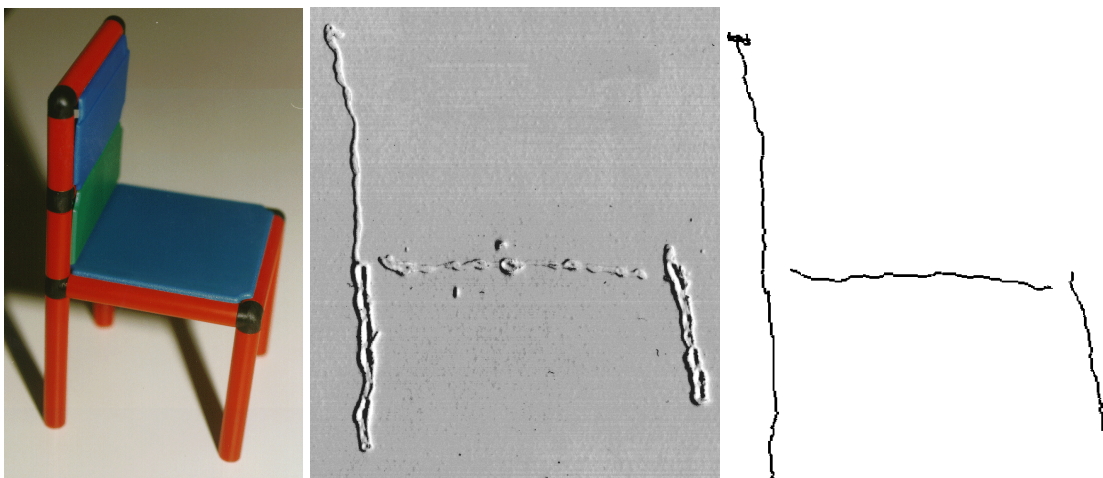


Abbildung 8-4 Ein Spielzeugstuhl als Foto (links), auf Schwellpapier gezeichnet (Mitte) und das Ergebnis der Rekonstruktion aus den Daten, die mit TDraw beim Zeichnen gewonnen wurden (rechts). (Methode: Umriß/Schnittbild)

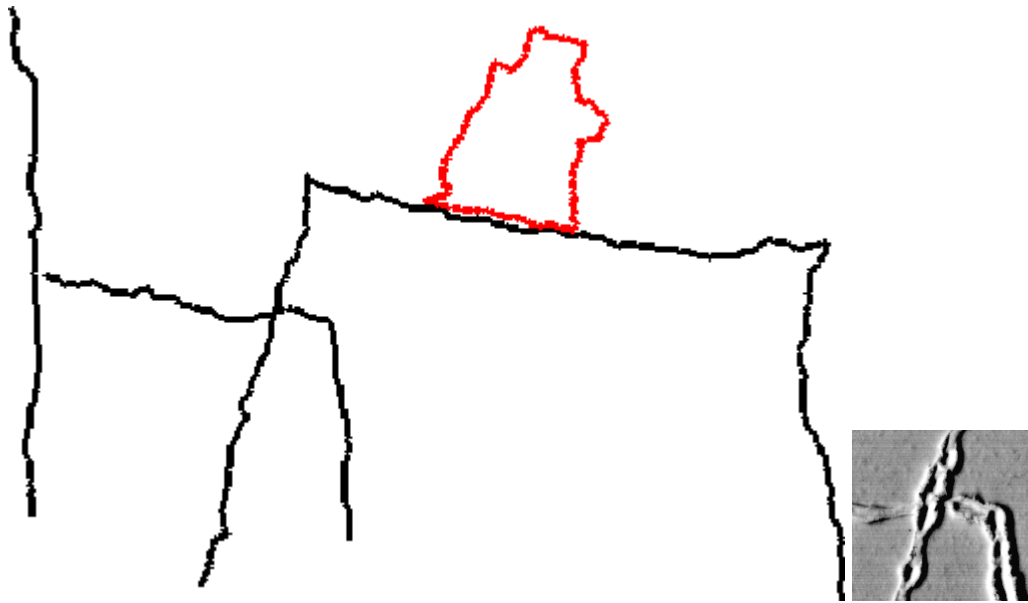


Abbildung 8-5 Zeichnung der Szene aus Abbildung 8-2. Man beachte den Wechsel des Standpunkts des Erfassers: In der Zeichnung wird die Szene von der Seite dargestellt, die im Foto von hinten abgebildet wurde. Rechts ein Detail der Überlappung zweier Linien (Stuhlsitzfläche und Tischbein) auf dem Schwellpapier: Man kann deutlich sehen (und spüren), daß die senkrechte Linie vor der waagerechten verläuft. (Methode: Überlappung)

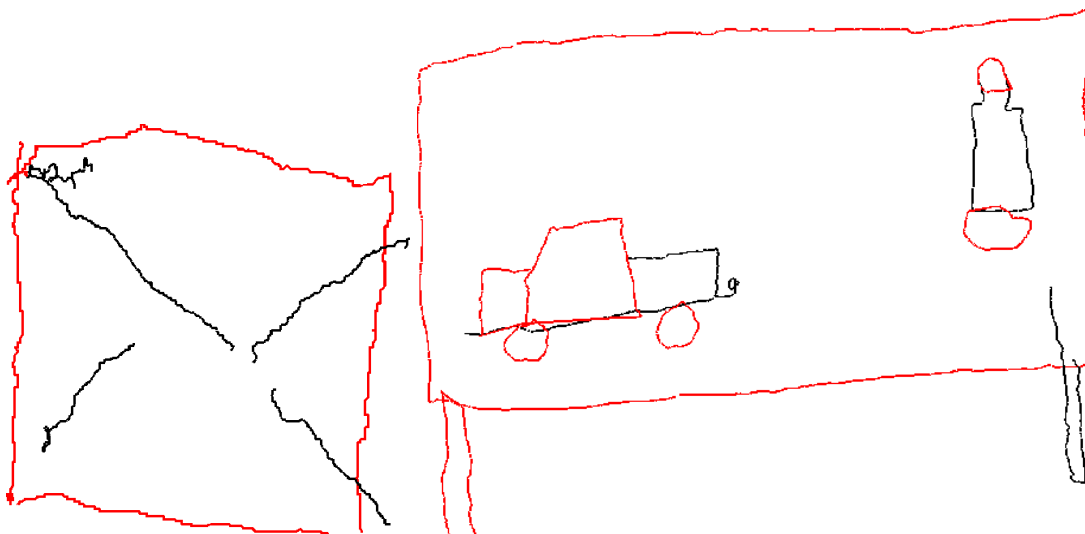


Abbildung 8-6 Ein Tisch, links mit der Spreizmethode dargestellt (Beine nach *innen* gespreizt), rechts mit ausgefalteten Beinen. Man beachte auch die Flasche auf dem Tisch, bei der Deckel und Boden aufgefaltet wurden. (Methode: Spreizen (links), Auffalten (rechts))

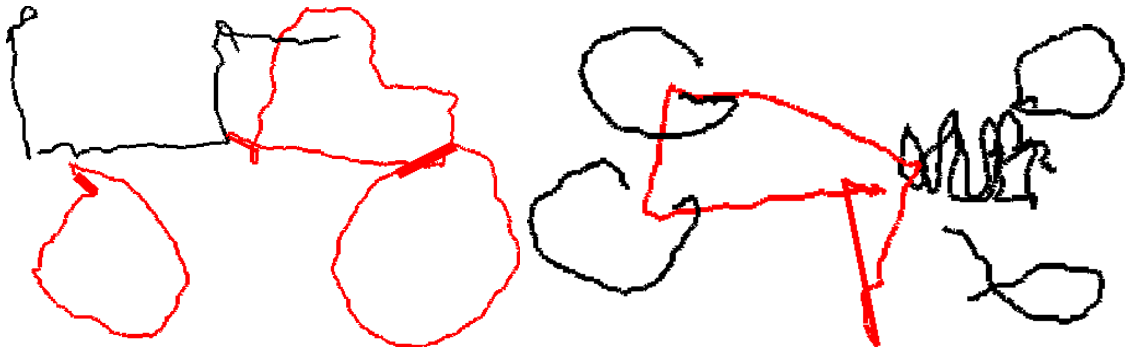


Abbildung 8-7 Ein LKW von der Seite als Schnittbild (links) und von oben mit ausgefalteten Rädern (rechts). Man beachte, daß die Ladefläche links „offen“ dargestellt ist und rechts als geschlossener Linienzug. Die Ladefläche rechts war von der Versuchsperson als Rechteck vorgesehen, jedoch verwechselte sie nach eigener Angabe zwei Linien, so daß die letzte Linie (unten) nicht am Beginn der ersten (rechts) endet. Die gerade Verbindungslinie wurde von TDraw beim benutzerinitiierten Schließen des Linienzuges eingefügt. (Methode: Schnittbild (links), Auffalten (rechts))

Die Frage, welcher psychologische Prozeß sich abspielt, wenn Blinde Gegenstände auf diese Arten zeichnen, insbesondere wenn sie diese *aufgefaltet* zeichnen, kann letztlich an dieser Stelle nur unzureichend beantwortet werden. Vermutlich spielen hier kognitive Aspekte (man zeichnet, was man weiß, nicht was man sieht/fühlt) und die Spezifika der Wahrnehmungsmodalität eine Rolle (Ausgebildete Sehende zeichnen *wie sie sehen*, Blinde zeichnen *wie sie fühlen*).

Aus den TDraw-Protokolldateien, Beobachtungen und den Videoaufzeichnungen ließen sich auch *Verfahren* ableiten, die das *Vorgehen* beim Zeichnen und Erkunden selbst betreffen: Im allgemeinen wird zunächst ein zentraler (großer) Bestandteil der Zeichnung erstellt. Hieran orientieren sich dann die anderen Teile, die anschließend hinzugefügt werden.

Beim Zeichnen (ebenso wie beim Erkunden, [POLZFUß 97]) liegt die eine Hand oft an der Unterkante der Zeichenfläche und dient als Referenz bei der Orientierung der anderen (zeichnenden) Hand.

Insgesamt bestätigen die mit TDraw durchgeführten Evaluationsexperimente einige Beobachtungen verwandter Forschung [KENNEDY 93, KENNEDY ET AL. 91] und erweitern den Wissensstand im Gebiet taktile Zeichenmethoden soweit, daß ein taktile Renderer implementiert werden konnte, dessen Evaluation im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

8.3 TRender

8.3.1 Fragestellung

Ziel der Experimente mit Grafiken war es, die von TRender, der implementierten Version der haptischen Rendering-Pipeline, entworfen wurden, folgende Fragen einer Beantwortung näher zu führen:

- I. Können Blinde Gegenstände in haptisch gerenderten Darstellungen erkennen?
- II. Werden die räumlichen Verhältnisse richtig erkannt?
 - A. Wird die richtige Anordnung der Einzelteile eines Gegenstands zueinander erkannt?
 - B. Wird die räumliche Anordnung von Gegenständen zueinander erkannt?
 - C. Welche Methoden und Methodenkombinationen der Darstellung räumlicher Szenen sind besonders wirksam, welche weniger?

- III. Kann ein Blinder mit haptisch gerenderten Bildern genug Informationen über eine Szene sammeln, um anschließend in der realen Szene eine Aufgabe zu erfüllen?
- IV. Wie wirken sich Informationsanreicherungen in nicht-haptischer Form auf die Erkundung aus, und welche Wechselwirkungen gibt es zwischen den Modalitäten?

8.3.2 Versuchsanordnung und -durchführung

Zur Beantwortung der unter 8.3.1 genannten Fragen wurde das Experiment in vier Phasen eingeteilt:

1. Vorgespräch/Kennenlernen der Geräte
2. Erkennen einzelner Objekte
3. Erkunden zusammengesetzter Szenen
4. Erkunden einer relativ komplexen Szene und Orientierung in der Realität

Phase 1: Zunächst wurden die Versuchspersonen mit den Medien, Geräten und Zeichenmethoden vertraut gemacht. Hierzu wurden textuell angereicherte Skizzen auf das Digitalisiertablett gelegt, die dann von den Teilnehmern erkundet wurden. Die textuelle Anreicherung bestand in diesem Fall nicht nur aus den Objektnamen, sondern auch aus Erklärungen der an den verschiedenen Stellen der Zeichnung verwendeten Darstellungsmethoden. Zusätzlich stand der Versuchsleiter für Fragen und Erläuterungen zur Verfügung. Am Ende dieser Phase kannten die Versuchspersonen den Umgang mit dem Schwellpapier, dem Digitalisiertablett und dem Digitalisierstift sowie die Methoden zur Darstellung räumlicher Gegenstände (Auffalten, Spreizen, Schnittbilder) und von Tiefeninformation (Linienstärke, keilförmige Linien, Linienüberlappung).

Phase 2: Einzelne Objekte ohne textuelle Anreicherung sollten erkannt werden. Diese Phase gliedert sich in zwei Teilphasen

Phase 2.1: Den Versuchspersonen wurden Zeichnungen einzelner Objekte vorgelegt, die sie erkennen sollten. Lediglich minimale Kontext-Information wurde gegeben. Die Zeit bis zum korrekten Erkennen wurde gemessen. Falls ein Gegenstand nicht erkannt wurde, wurde dies separat notiert. Abbildung 8-8 zeigt als Beispiel eine Tasse im Schnittbild, deren Öffnung und Boden aufgefaltet wurden.

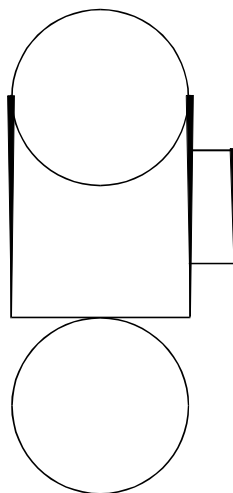


Abbildung 8-8 Beispiel für eine Zeichnung einer Tasse, die ohne Digitalisiertablett erkannt werden sollte. Als Kontext-Information wurde das Stichwort „Frühstück“ gegeben.

Phase 2.2: Um sicher zu gehen, daß nicht nur die Objektklasse, sondern das konkrete modellierte Objekt erkannt wird, wurden anschließend Zeichnungen bestimmter Gegenstände vorgelegt, denen die Versuchspersonen genau einen realen aus einer Menge ähnlicher Gegenstände zuordnen sollte (Abbildung 8-9).



Abbildung 8-9 Drei Vergleichsobjekte zur Zeichnung aus Abbildung 8-8.

Um die Erkennbarkeit räumlicher Eigenschaften unabhängig von der Lebenserfahrung mit realen Objekten zu überprüfen, wurden auch einige abstrakte Objekte modelliert, haptisch gerendert und als reale Gegenstände zur Verfügung gestellt, wie Abbildung 8-10 zeigt.

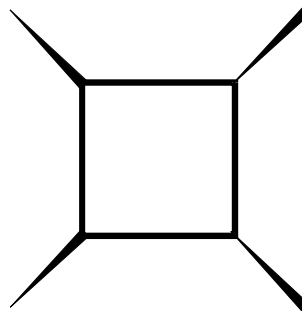


Abbildung 8-10 Haptisch gerendertes abstraktes Objekt und drei Vergleichsobjekte. Das im Foto rechts abgebildete Objekt ist das in der Zeichnung dargestellte.

Phase 3: Unter Einbeziehung der per Sprachausgabe zur Verfügung gestellten textuellen Information sollten die Versuchspersonen nun Zeichnungen komplexerer Szenen erkunden und mit realen Modellgegenständen nachbauen. Die Position der einzelnen Gegenstände in Relation zueinander wurde notiert.

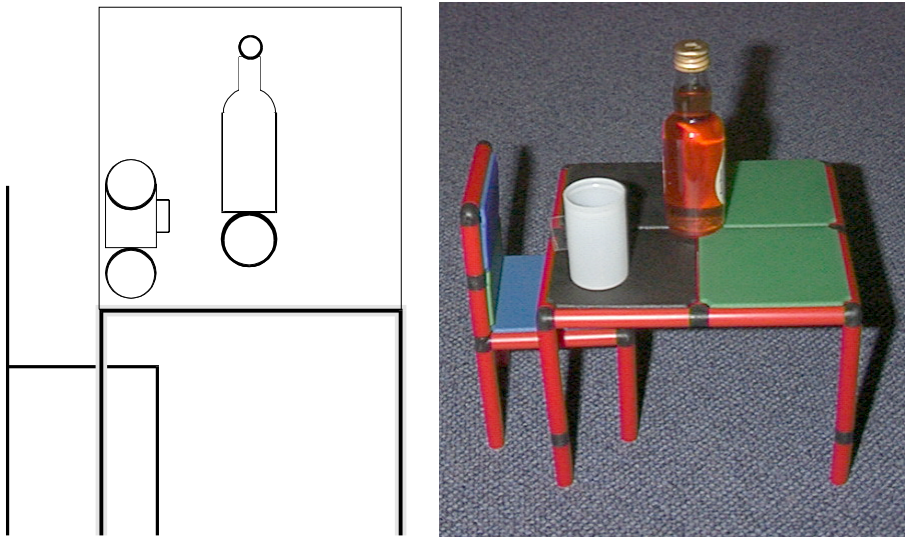


Abbildung 8-11 Beispiel für die Darstellung einer zusammengesetzten Szene, die mit ihren räumlichen Relationen nachgebaut werden sollte.

Phase 4: Schließlich sollten die Teilnehmer (mit Unterstützung der Sprachausgabe) die Darstellung einer komplexen Szene erkunden, die auf der Grundlage einer existierenden Umgebung modelliert wurde. Abbildung 8-12 zeigt diese Szene in verschiedenen Versionen.

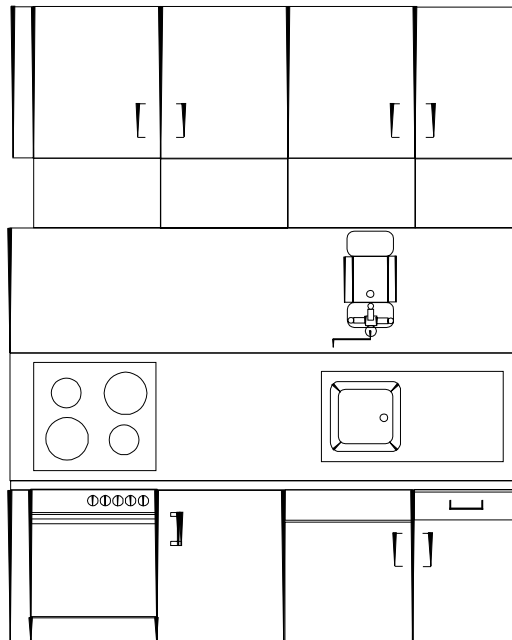


Abbildung 8-12 Eine Küchenzeile. In der Realität, als visuell gerendertes Bild und als taktile Darstellung.

Zu dieser Szene wurden dann Fragen bezüglich der räumlichen Anordnung von Gegenständen und zu Details der Szene gestellt. Anschließend wurden die Testpersonen in die Originalumgebung, die Teeküche, geführt, wo sie eine einfache Aufgabe durchführen sollten, die Kenntnis des Raumes verlangt (Wasser aus dem Boiler in einen Topf aus dem rechten Oberschrank füllen und den Topf auf den Herd stellen). Keine der Versuchspersonen kannte die Umgebung vor den Versuchen.

Im Anschluß an die Experimente wurden die Versuchspersonen noch über ihre Meinung zur Handhabung und zu den Darstellungsmethoden befragt und aufgefordert, Verbesserungsvorschläge zu machen.

8.3.3 Versuchspersonen/Statistik

Die Versuchspersonen wurden unter ähnlichen Gesichtspunkten wie unter 8.2.3 ausgewählt. Dabei wurde lediglich darauf geachtet, daß es sich bei den Blinden um solche

handelt, die keinerlei visuelle Wahrnehmung mehr haben³¹. Beobachtungen bei den Versuchen mit TDraw und der Vergleich mit anderen Arbeiten zeigten, daß Menschen, die gemäß den deutschen Gesetzen als blind gelten, aber noch einen gewissen Sehrest haben, diesen bestmöglich nutzen und sich daher bei der Wahrnehmung grafischer Information auf diesen Sehrest verlassen. Drei der sieben Versuchspersonen (siehe Tabelle 8-2) hatten auch schon an den Experimenten mit TDraw teilgenommen (S1, S2 und S3).

Wegen der relativ kleinen Stichprobe kann von den Ergebnissen keine statistische Relevanz erwartet werden. Diese war auch nicht Ziel der Untersuchungen. Die Zahlenwerte sind hier weniger wichtig als die Tendenzen, die man in ihnen erkennen kann.

Tabelle 8-2 Übersicht über die Versuchspersonen der Experimente zur Evaluation der haptischen Rendering Pipeline.

	S1	S2	S3	S6	S7	S8	S9
Alter	26	26	46	28	48	25	57
Geschl.	weiblich	männlich	männlich	männlich	männlich	männlich	männlich
Beruf	Studentin	Masseur	höherer Beamter	Student	Schreibkraft	Student	höherer Beamter
visuelle Wahrn.	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine
blind seit (Alter)	1	1	15	0	0	3	14
kennt taktile Z.	Karten, Schulmat.	Karten, Schulmat.	Karten, Diagr.	Karten, Kunst	Karten	Karten, Mathe.	Karten
selbst takt. gezeichnet	Diagramme (*)	nichts(*)	nichts(*)	Schule (Mathe)	nichts	Schule (Mathe)	nichts

Die mit einem (*) gekennzeichneten Felder beziehen sich auf die Zeit *vor* den Evaluationsversuchen mit TDraw Ende 1995.

Bei den „Karten“, die alle Versuchsteilnehmer als taktile Zeichnungen kannten, handelt es sich um taktile *Landkarten*, nicht Spielkarten oder andere Karten³².

8.3.4 Beobachtungen und Ergebnisse

Generell bewies der Versuch, daß es gelang, räumliche Gegenstände und Szenen auf die gezeigte Art für die haptische Wahrnehmung zweidimensional darzustellen. Die Gegenstände wurden in allgemeinen gut erkannt, und ihre räumliche Anordnung konnte korrekt rekonstruiert werden.

³¹ Als „blind“ bezeichnet man häufig auch Menschen, die noch eine Rest-Sehkraft haben, die jedoch nicht ausreicht, um sie bei der Orientierung oder der Arbeit zu verwenden. Diese Rest-Sehkraft kann jedoch unter Umständen bei der Wahrnehmung von Zeichnungen eingesetzt werden, was im Rahmen der hier beschriebenen Experimente nicht erwünscht war. Daher wurden nur im engeren Sinne „Blinde“, also solche ohne Rest-Sehkraft, für die Versuche herangezogen.

³² Dieser Hinweis ist hier notwendig, weil auf die Frage, ob sie Erfahrungen mit taktilen Karten hätten, mehrere Blinde antworteten, sie hätten schon mit taktilen Spielkarten Skat oder ähnliches gespielt. Nach der ersten derartigen Antwort wurden alle blinden Versuchspersonen darauf hingewiesen, daß sich die Frage auf *Landkarten* bezog. Diese Beobachtung zeigt nebenbei sehr deutlich, daß eine nur auf Sprache basierende Erläuterung auch bei Blinden zu Mißverständnissen führen kann.

Die in Abbildung 8-13 und Abbildung 8-14 dargestellten Zeitmessungen zeigen, daß für das Erkennen eines Objekts in einer Zeichnung etwa eine halbe Minute benötigt wird. Diese relativ lange Zeit läßt sich folgendermaßen erklären:

- Die Geräte und Zeichenmethoden sind den Versuchspersonen noch nicht vertraut.
- Das Abtasten erfolgt sequentiell.
- Die gegebene Kontext-Information ist minimal (nur ein Stichwort, das zudem eventuell nicht optimal gewählt wurde).

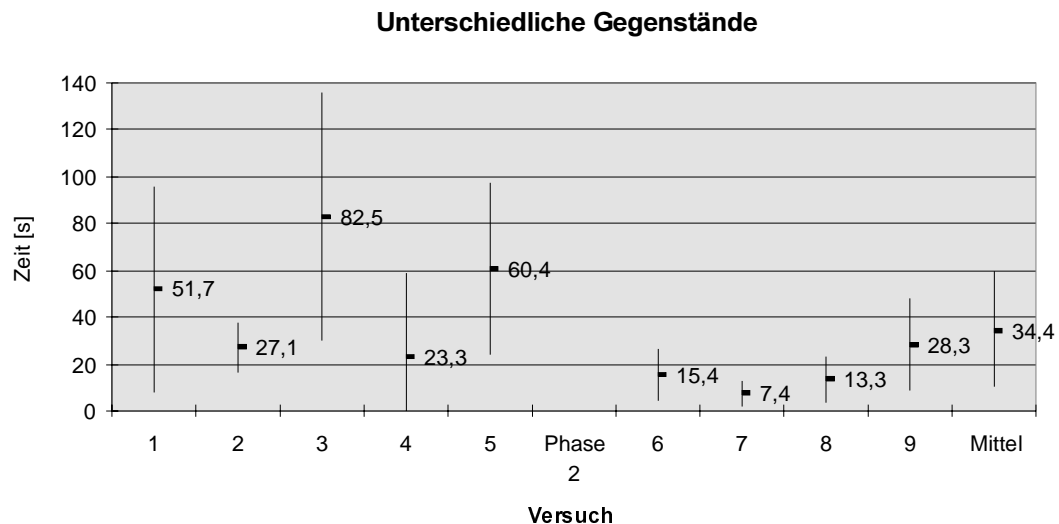


Abbildung 8-13 Die Zahlen 1 bis 9 auf der Abszisse der Abbildung beziehen sich auf die Nummer des Versuchs bzw. des Gegenstands, der erkannt werden sollte. In den Versuchen 1 bis 5 wurden Zeichnungen ohne textuelle Anreicherungen oder Vergleichsobjekte gezeigt, in den Versuchen 6 bis 9 Zeichnungen mit verschiedenen der Zeichnung ähnlichen Objekten zum Vergleich (siehe auch Erläuterungen Am Beginn des Kapitels 8.3.2).

Die Versuche 6-8 (Abbildung 8-13) zeigen, daß die Bestimmung eines gezeichneten Objekts aus einer Auswahl ähnlicher Objekte sehr schnell möglich ist, solange diese Objekte „echte“ Gegenstände aus der Erfahrungswelt der Erfasser sind. Das „abstrakte“ Objekt in Versuch 9 wurde erst nach etwa der doppelten Zeit erkannt.

Zum Erkennen verschiedener Gegenstände ohne Zugang zu textueller Information wurden durchschnittlich 34,4 Sekunden benötigt (gezeigt sind Mittelwert und Standardabweichung). Ohne Berücksichtigung von Versuch 3, den nur zwei von sieben Versuchspersonen erfolgreich abschlossen, verbessert sich der Mittelwert für die Erkennungszeit auf 28,4 Sekunden. Außer im Versuch 3 wurden immer alle Gegenstände erkannt. Rechts Phase 2.2, in der Vergleichsobjekte zur Verfügung standen.

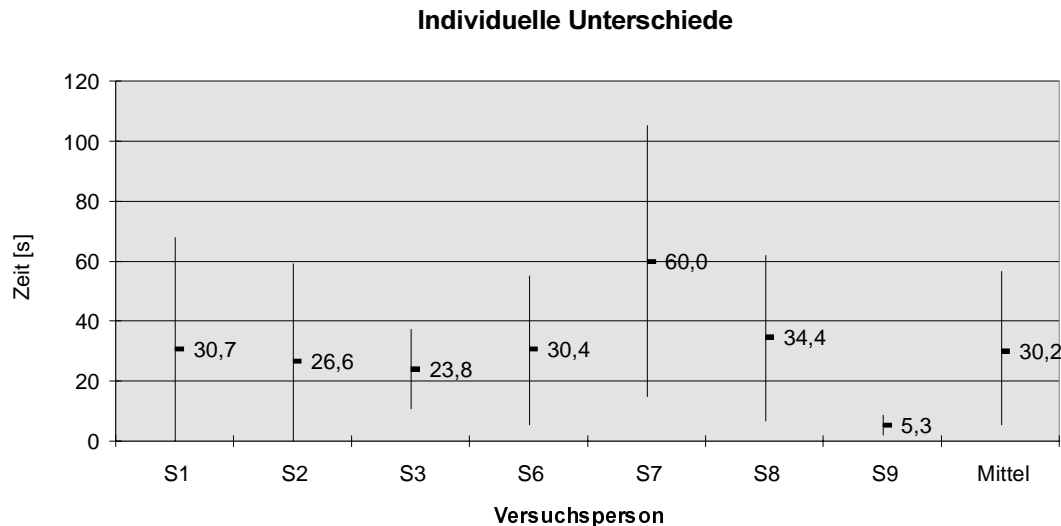


Abbildung 8-14 Die Versuchspersonen benötigten im Schnitt etwa 30 Sekunden zur Erkennung einer Zeichnung (gezeigt sind Mittelwert und Standardabweichung). Auffällig sind die Abweichungen nach oben (S7 benötigte etwa doppelt soviel Zeit) und nach unten (S9 erkannte alle Zeichnungen in weniger als 15 Sekunden).

Viele Beobachtungen, die während der Versuche gemacht wurden, lassen sich quantitativ nicht fassen, da sie eher qualitativen Charakter haben. Deshalb werden sie in den folgenden Absätzen kurz zusammengefaßt:

- Die Versuchspersonen tasteten, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, die Zeichnungen ab, wobei sie sich vor allem an Linien orientierten, die meist als Kanten interpretiert wurden. Teilweise traten Schwierigkeiten bei der Unterscheidung zwischen Kanten auf, die eine Fläche begrenzen, und Rahmen, die einen Hohlraum umschließen.
- Im allgemeinen wurde zunächst die 2D-Form der Einzelteile identifiziert. Erst wenn danach das Objekt nicht oder nicht eindeutig zu erkennen war, wurden die Tiefenhinweise gesucht und interpretiert.
- Die unterschiedlichen Präferenzen bei den Methoden zur taktilen Darstellung (insbesondere Auffalten vs. Spreizen) waren auch hier zu beobachten. Zeichnungen, die nach der jeweils bevorzugten Methode erstellt wurden, wurden schneller erkannt als andere.
- Der Grad des Auffaltens wurde ebenfalls unterschiedlich eingestellt: Während einige Teilnehmer bemerkten, daß ein Würfel nicht *vollständig* aufgefaltet wurde, hielten es andere für ausreichend, *eine* runde Fläche der Tasse in Abbildung 8-8 auszufalten (Öffnung oder Boden).
- Bei der Rekonstruktion räumlicher Szenen traten so gut wie keine Fehler auf. Die Anordnung der Einzelteile im Raum wurde sehr gut erkannt und rekonstruiert. Lediglich in einer Zeichnung, in der eine Überlappung zweier relativ kleiner Gegenstände als einziger Tiefenhinweis enthalten war, wurde nicht immer eindeutig erkannt, um welche Objekte es sich handelt und welches davon im Vordergrund steht.
- Die per Sprachausgabe abfragbaren Objektnamen wurden nur in Zweifelsfällen verwendet, wenn der Gegenstand anhand seiner Form nicht eindeutig zu erkennen war. Ein Versuchsteilnehmer (S9) hat die Sprachausgabe praktisch nicht verwendet, sondern alle Gegenstände ohne diese erkannt.

- Der Kontext spielt bei der Erkennung eine überragende Rolle: Jede Grafik steht in irgendeinem Zusammenhang. Ist dieser bekannt, wird die Zeichnung mit einer gewissen Erwartungshaltung untersucht, die im Allgemeinen zur schnellen und korrekten Erkennung führt.
- Die Komplexität (die in einer Zeichnung enthaltene Informationsfülle) spielte ebenso eine bedeutende Rolle: Je mehr Objekte in der dargestellten Szene enthalten waren, desto leichter wurden sie erkannt und räumlich richtig zugeordnet. Die Zeichnung selbst bildet also ebenfalls einen Kontext, in dem ihre Elemente stehen.
- Zeichnungen bekannter Objekte wurden im Allgemeinen schneller erkannt als abstrakte oder solche, die unbekannte Objekte zeigten. Insofern sind die Beobachtungen mit denen, die Millar in anderem Zusammenhang machte, kompatibel (vgl. [MILLAR 78]).
- Die von Heller [HELLER 89] und Kennedy [KENNEDY 91] beobachtete Überlegenheit Späterblindeter gegenüber Geburtsblinden beim Umgang mit taktilen Zeichnungen konnte im Experiment bestätigt werden: Die beiden Späterblindeten (S3 und S9) benötigten die kürzeste Zeit zum Erkennen der Grafiken. Jedoch war der Unterschied zum Großteil der Früherblindeten nicht signifikant.

Allgemein bemerkten die Versuchspersonen, daß es sich bei den Abbildungsmethoden, insbesondere bei den Methoden zur Abbildung räumlicher Tiefe, um eine Notation handelt, die erst gelernt werden muß. Die mentale Rekonstruktion der Gegenstände und ihrer räumlichen Relationen aus der Zeichnung verlangt eine gewisse kognitive Leistung, die nicht von allen Versuchsteilnehmern in gleichem Maß erbracht werden konnte.

8.4 Das taktile Interaktionsgerät, die Vibratormaus

8.4.1 Fragestellung

Die Experimente mit der Vibratormaus hatten zum Ziel, deren Benutzbarkeit als Führungshilfe zu verifizieren und die Effizienz mit anderen Verfahren und Modalitäten zu untersuchen. Im Einzelnen sollten visuelle, akustisch-verbale, einhändig-vibrotaktile und zweihändig-vibrotaktile Führungsverfahren verglichen werden. Eine detaillierte Beschreibung der Experimente findet sich in [POLZFUß 97, KURZE 98A]; in den folgenden Abschnitten werden die dort beschriebenen Ergebnisse kurz referiert und bewertet.

Um die Effizienz der Verfahren auch quantitativ mit anderen zu vergleichen, wurde eine zweidimensionale Erweiterung von Fitts' Law verwendet, die sich an die Methode von MacKenzie anlehnt [MACKEBZIE & BUXTON 92]. Fitts' Law wird zur Messung der Bandbreite der Informationsübertragung (insbesondere bei der Auge-Hand-Koordination) bei Zeigehandlungen in der Mensch-Computer-Interaktion eingesetzt. Abschnitt 8.4.4 enthält eine Darstellung der hier verwendeten Variante.

8.4.2 Versuchsanordnung und -durchführung

Die zu lösende Aufgabe bestand darin, den Mauszeiger von einer (zufällig gewählten) Startposition in einen Zielkreis zu bewegen, dessen Größe und Position auf dem Bildschirm/der Arbeitsfläche ebenfalls zufällig gewählt wurden.

In einer Vorlaufphase wurde den Versuchspersonen Gelegenheit gegeben, das Gerät und die Aufgabe kennenzulernen. Zehn Versuche, die Aufgabe zu lösen, waren jeweils für diesen Zweck vorgesehen. Dabei konnten sich die Teilnehmer ohne Zeit- oder Modalitätsbeschränkung an die Interaktion mit der Vibratormaus gewöhnen.

Die Aufgabe mußte anschließend unter vier unterschiedlichen Bedingungen gelöst werden:

1. Mit visueller Hilfe (nur für sehende Versuchsteilnehmer): Mauszeiger und Zielkreis sind sichtbar, der Digitalisierstift mit Vibratormaus muß mittels Auge-Hand-Koordination ins Ziel bewegt werden.
2. Mit akustischer Hilfe: Der Bildschirm ist nicht sichtbar, Richtungshinweise für die Bewegung der Hand mit der Vibratormaus einschließlich Digitalisierstift werden in Form von gesprochenen Kommandos (digitalisierte, aufgenommene Sprache) gegeben. Die Richtungsangaben erfolgen in der Form von Himmelsrichtungen: Nord \uparrow , Nordost \nearrow , Ost \rightarrow , Südost \searrow , Süd \downarrow , Südwest \swarrow , West \leftarrow , Nordwest \nwarrow .
3. Zweihändig vibro-taktil: Die Vibratormaus liegt an einem Ort (aber ggf. vibrierend) auf dem Tisch. Eine Hand liegt auf dem Interaktionsgerät, die andere bewegt den Digitalisierstift (ohne zusätzliche Geräte) auf dem Tablett gemäß den Richtungsangaben der Vibratormaus. Der Bildschirm ist nicht sichtbar.
4. Einhändig vibro-taktil: Die Vibratormaus mit Digitalisierstift wird gemäß ihren Richtungsanzeigen über das Tablett bewegt. Der Bildschirm ist nicht sichtbar.

Das Erreichen des Zielkreises wird durch ein akustisches Signal (einen Ton) bekanntgegeben. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, den seitlichen Knopf des Digitalisierstifts zu drücken, wenn sie sich im Zielkreis zu befinden glaubten, also wenn der Ton ausgegeben wurde und das Zeigergerät nicht mehr bewegt wurde.

Das Digitalisiertablett (Genius NewSketch 1212) war in den absoluten Modus gestellt und so kalibriert, daß der Bildschirm etwa auf die Größe eines DIN A4 Blattes abgebildet wurde, was der vollen Breite und etwa zwei Dritteln der Tiefe der sensitiven Fläche des Tablett entspricht.

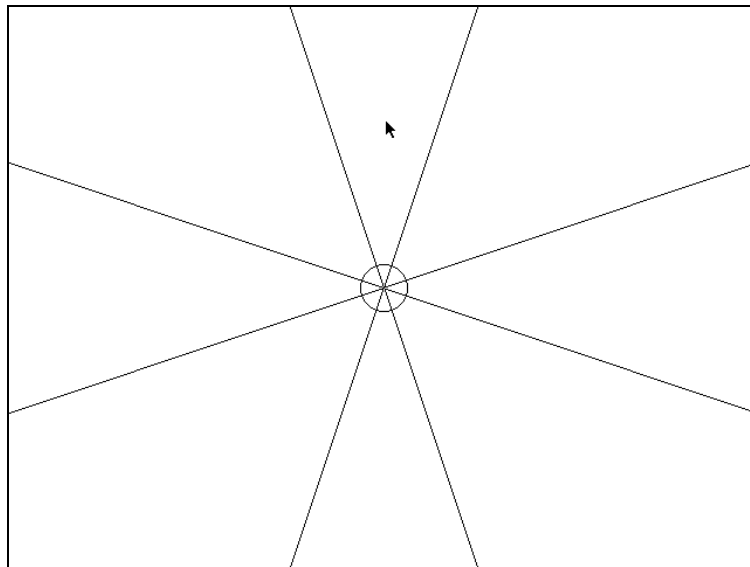


Abbildung 8-15 Bildschirmabzug des Evaluationsprogramms für die Vibratormaus: In der Mitte ist der Zielkreis sichtbar. Die Segmentierung um diesen Kreis herum gibt an, welcher Richtungshinweis gegeben wird. In der dargestellten Situation (Maus oberhalb des Ziels) wird per Sprachausgabe „Süd“ ausgegeben oder das „südliche“ (untere) Vibratorelement aktiviert.

Der Versuch wurde unter jeder Bedingung 10-mal durchgeführt. Die blinden Teilnehmer führten den Versuch naturgemäß nicht mit visueller Hilfe durch.

Die Zeit bis zum Drücken des Knopfes am Digitalisierstift wurde jeweils gemessen und die Position des Stifts zu dieser Zeit festgehalten, um Fehlpositionierungen feststellen zu können.

8.4.3 Versuchspersonen/Statistik

Zielgruppe für die Vibratormaus sind nicht nur Blinde, sondern auch Sehende. Daher wurden auch sehende Versuchspersonen bei den Experimenten eingesetzt. Insgesamt waren 13 Versuchspersonen beteiligt, von denen drei blind waren und einer nur die Vorversion testete, mit der die einhändig vibro-taktile Interaktion noch nicht möglich war; dieser ist in der folgenden Tabelle 8-3 nicht berücksichtigt.

Tabelle 8-3 Persönliche Daten der Versuchspersonen für die Evaluation der Vibratormaus. Die Zeile „Maus?“ enthält Angaben über die Erfahrung der Versuchspersonen mit der Maus als Zeigegerät am Computer: ☺ bedeutet „Mauserfahrung“.

VersP.	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22
sehend?	☑	blind	☑	☑	☑	☑	☑	blind	☑	☑	☑	☑
Alter	23	57	24	18	24	56	16	26	33	33	24	20
Maus ?	☺	/	☺	☺	☺	☺	☺	/	☺	☺	☺	☺

Alle Versuchspersonen dieses Experiments sind männlichen Geschlechts.

8.4.4 Beobachtungen und Ergebnisse

Die bei der Bewertung der gemessenen Zeiten verwendete zweidimensionale Erweiterung von Fitts' Law [FITTS 54, MACKENZIE 92] ist an diejenige von MacKenzie [MACKENZIE & BUXTON 92] angelehnt und läßt sich wie folgt formulieren:

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A}{d} + 1 \right)$$

Dabei ist MT die Zeit zum Treffen des Ziels,
 a eine durch lineare Regression bestimmte Konstante (\approx Reaktionszeit),
 A die Zielentfernung,
 d der Durchmesser des Zielkreises und
 b die Bitrate der menschlichen Informationsverarbeitung während der Bewegung

Der Term $\log_2 \left(\frac{A}{d} + 1 \right)$ wird auch als „ID“ (index of difficulty) bezeichnet, seine Einheit

ist bit. Weil b in $\frac{s}{bit}$ angegeben wird, ist dessen Kehrwert „IP“ (index of performance) in

$\frac{bit}{s}$ anzugeben und kann als Vergleichswert für unterschiedliche Versuche verwendet

werden. Die Konstante a wurde aus der separat gemessenen Reaktionszeit der Versuchspersonen abgeleitet. IP bzw. b für die verschiedenen Bedingungen zu ermitteln, war das Ziel der Versuche, die in [POLZFUß 97] näher erläutert sind.

Unter den geschilderten Versuchsbedingungen ergaben sich die in Tabelle 8-4 aufgeführten Werte für den „index of performance“.

Tabelle 8-4 Bitraten verschiedener Bedingungen bei der Navigationsunterstützung (siehe Text oben).

Bedingung	IP $\left[\frac{bit}{s} \right]$
visuell	über 1,0
akustisch	0,3 bis 0,5
vibro-taktil zweihändig	0,4 bis 1,0
vibro-taktil einhändig	0,5 bis 1,5

Diese Werte zeigen eine (scheinbare) Überlegenheit der visuellen Unterstützung gegenüber den beiden anderen Modalitäten. Man muß bei ihrer Interpretation jedoch berücksichtigen, daß die visuelle Navigationsunterstützung nicht durch eine (visuelle) *Richtungsangabe* gegeben wurde, sondern durch die simultane Anzeige zweier *Positionen* (der Mausposition und der Zielposition). Die anderen drei Bedingungen waren so gestaltet, daß jeweils nur die Richtung angezeigt wurde. Der Charakter der Aufgabe mit visueller Hilfe entsprach weitgehend dem Anklicken eines Sinnbilds (*Icon*) auf dem Bildschirm einer grafischen Benutzungsoberfläche, einer Tätigkeit, die zum alltäglichen Umgang der sehenden Versuchspersonen gehörte (Alle Sehenden hatten Erfahrungen mit der Maus).

Berücksichtigt man ferner die bei weitem nicht optimale Form der prototypischen Vibratormaus und die Position der Taste des Digitalisierstifts, relativiert sich der Vorsprung der visuellen Unterstützung weiter.

Gegenüber der akustischen Hilfe erweist sich die vibro-taktile Ausgabe bei den hier beschriebenen Experimenten als klar überlegen³³. Der Grund hierfür liegt sicher auch in der Tatsache, daß eine Reaktion auf ein gesprochenes Wort (Himmelsrichtung) erst erfolgen kann, wenn es verstanden wurde, im allgemeinen also, nachdem es zu Ende gesprochen wurde. Auch wenn eine Bewegung schon vor dem Ende eines Wortes eingeleitet wurde, verzögert sich die Ausgabe des nächsten Wortes mindestens, bis das gerade gesprochene beendet ist, so daß sich die Gesamtreaktionszeit prinzipbedingt verlängert.

Derartige Verzögerungen treten bei der vibro-taktilen Ausgabe nicht auf. Die Elemente vibrieren mit ca. 100 Hz, und die Ansteuerung eines anderen Vibratorelements erfolgt ebenfalls bei Bedarf in etwa 10 ms.

Hinzu kommt die Ohr-Hand-Koordination, die bei der vibro-taktilen Variante nicht notwendig ist. Insbesondere die vibro-taktile einhändige Methode erlaubt es der stimulierten Hand, selbst zu reagieren, was ihrem natürlichen Verhalten entgegenkommt.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Vibratormaus ein neues Navigationsunterstützungsparadigma bietet, das den visuellen Kanal entlasten oder (für Blinde) ersetzen kann. Dabei ist es verbal-akustischen Verfahren überlegen und läßt zudem den akustischen Kanal frei für andere Informationspräsentationen. Weitere Entwicklungen der Hardware und wahrnehmungspsychologische Untersuchungen sind notwendig, um die Anwendbarkeit im Rehabilitationssektor und in anderen Bereichen zu belegen.

³³ Für diese Experimente stand keine Umgebung bereit, die 2D- oder 3D-raum-akustische Hilfen ermöglichen würde. Ein entsprechendes System wurde in [CRISPIEN & PETRIE 93] beschrieben. Eine vergleichende Untersuchung der Vibratormaus mit der „Klangwand“ oder deren Nachfolge-Produkten auf Kopfhörer-Basis wäre sicher interessant. Durch die Nutzung des akustischen Kanals zur Positions- bzw. Richtungsangabe ist er allerdings für andere Informationen zunächst unzugänglich.