

**Methoden
zur computergenerierten Darstellung
räumlicher Gegenstände für Blinde
auf taktilen Medien**

von
MARTIN KURZE

1998
als Dissertation eingereicht
beim
Fachbereich Mathematik und Informatik
der
Freien Universität Berlin

Betreuer/Gutachter: Prof. Dr. Elfriede Fehr
Prof. Dr. Klaus Fellbaum
Prof. Dr. Helmut Jürgensen

Vorbemerkung

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Interaktive Systeme“ des Instituts für Informatik der Freien Universität Berlin. Motiviert, im Gebiet „Computergrafiken für Blinde“ zu forschen, wurde ich während meiner Mitarbeit am Projekt GUIB (Graphical User Interfaces for Blind and Elderly People). Dieses EU-geförderte internationale Projekt widmete sich primär dem Ziel, grafische *Benutzungsschnittstellen* für Blinde zugänglich zu machen. Dabei spielte der Zugang zu grafischen *Inhalten* nur eine untergeordnete Rolle, weil dieses Problem den Rahmen des gesteckten Ziels wie auch des Budgets gesprengt hätte. Zudem war dieses Thema auch noch zu unerforscht, um es in einem Produkt-orientierten Projekt an zentraler Position mit einzubeziehen. In GUIB untersuchte ich als Teilaspekt dieses Themas den Möglichkeit, Blinden computergenerierte *Bilder* zugänglich zu machen.

Obwohl es gelang, herkömmlich gerenderte Bilder durch eine interaktive Beschreibung des Bildes nicht-visuell zugänglich zu machen, zeigte sich, daß der Ansatz selbst zu kurz greift: Betrachtet ein Sehender ein gegenständliches Bild, so nimmt er die abgebildeten Gegenstände in deren räumlicher Relation wahr. Blinden gelang dies durch die erwähnte *Bildbeschreibung* nicht. Das Problem erwies sich so als interessantes Forschungsfeld, dem ich meine Aufmerksamkeit widmete.

Daß das Thema nicht nur von akademischem Interesse ist, zeigten mir auch die blinden Versuchspersonen, die mir durch ihre Mitarbeit und bei zahlreichen Gesprächen verdeutlichten, daß für sie das Problem des Zugangs zu grafisch repräsentierter Information von wachsender Bedeutung ist. In Deutschland leben zur Zeit etwa 155.000 Blinde [ZAHLEN 96]. Ihnen eine (nicht-visuelle) Perspektive eröffnet zu haben, wäre allein schon Grund genug für die Beschäftigung mit dem auf den ersten Blick (sic!) in sich selbst widersprüchlichen Thema „Computergrafiken für Blinde“ gewesen.

Diese Arbeit hätte ohne mannigfache Unterstützung nicht zum Abschluß gebracht werden können. Mein Dank gilt deshalb allen, die mir auf ihre Art geholfen haben, zu den vorliegenden Ergebnissen zu kommen. An erster Stelle möchte ich Herrn Professor Fellbaum (Cottbus/Berlin) danken. Er hat mich nicht nur in der Überzeugung von der wissenschaftlichen Relevanz des Themas bestärkt, sondern die Arbeit während ihres gesamten Entstehens mit seinem fachlichen Rat und Hinweisen zur Verständlichkeit der Darstellung begleitet, betreut und schließlich auch begutachtet. Durch ihre Fürsorge und Unterstützung am Institut für Informatik hat Frau Professor Fehr (Berlin) viel dazu beigetragen, daß meine Untersuchungen auch unter schwieriger werdenden Bedingungen fortgesetzt werden konnten. Herrn Professor Jürgensen (Potsdam) möchte ich für fruchtbare Fachgespräche in Berlin und Kanada sowie für seine Bereitschaft danken, als Gutachter zur Verfügung zu stehen. Gesonderte Erwähnung verdient Herr Professor Strothotte (Magdeburg), der mich auf das Thema hinwies, mir den Kontakt zu Herrn Fellbaum vermittelte und mir mit seiner Bemerkung, die Promotion sei ein „durance contest,,“ vielleicht mehr, als ihm selbst bewußt war, angespornt hat. Die tatkräftige Unterstützung durch Kollegen und Studenten und insbesondere die Geduld meiner blinden Versuchspersonen verpflichten mich ebenfalls zu großem Dank. Wenn die Arbeit trotz ihrer fachwissenschaftlichen Zielsetzung dennoch für Nicht-Informatiker einigermaßen lesbar wurde, hat der Rat meiner Eltern dazu beigetragen. Ohne Zuspruch, Verständnis und Unterstützung meiner Frau auch in schwierigen Phasen wäre die vorliegende Dissertation nicht zustande gekommen. Ich danke ihr von ganzem Herzen dafür.

Inhaltsverzeichnis

I	Einleitung	1
1.1	Ziele der Arbeit	2
1.2	Abgrenzung zu verwandten Problemen	4
1.3	Struktur der Arbeit	6
2	Biologischer und technischer Hintergrund	9
2.1	Begriffsbestimmungen	9
2.2	Physiologische Grundlagen des Tastsinns	11
2.2.1	Mechanorezeption der Haut	12
2.2.2	Direkte elektrische Reizung	14
2.2.3	Propriozeption	15
2.3	Aktives und passives Tasten	16
2.4	Geräte und Techniken	17
2.4.1	Räumliche Festkörpermodelle	17
2.4.2	Nicht-flüchtige flächige Darstellungen	18
2.4.3	Dynamische taktile Anzeigen	20
2.4.4	Rolle des Computers beim Umgang mit haptischen Grafiken	23
2.5	Bisheriger Einsatz tastbarer Grafiken	24
2.6	Wertende Zusammenfassung der technischen und psychophysischen Rahmenbedingungen	25
3	Vergleich visueller und nicht-visueller Wahrnehmung	27
3.1	Kurzfassung relevanter Aspekte der Wahrnehmungspsychologie	27
3.2	Wahrnehmung des Raumes	29
3.3	Wahrnehmung von Zeichnungen	32
3.4	Überlegungen zum Realismus	41
3.4.1	Realismus in der Erkenntnistheorie	41
3.4.2	Das Konzept des mentalen Modells als Hilfsmittel bei der Gestaltung haptischer Interaktionsformen	44
4	Die haptische Rendering Pipeline	47
4.1	Grundlagen des Rendering in der Computergrafik	47
4.2	Schritte beim haptischen Rendering	50
4.3	Die interne Datenstruktur: der Modellbaum	53
4.4	Abschnitte der Rendering-Pipeline	55
4.5	Rendering-Resultate: Grafik und Beschreibung	56

5 Vorgehen bei der räumlichen Darstellung	59
5.1 Randbedingungen	60
5.2 Optimierung/Vereinfachung von räumlichen Gegenständen	61
5.3 Verfahren zur taktilen Darstellung	62
5.3.1 Herkömmliche nicht-kamera-orientierte Darstellungsverfahren	63
5.3.2 Auffalten	65
5.3.3 Spreizen/Gummi-Plättung	69
5.3.4 Schnittbilder	71
5.3.5 Kombinationen der obigen Verfahren.....	73
5.3.6 Höhenlinien	74
5.4 Taktile Symbole für räumliche Eigenschaften.....	75
5.4.1 Linien im Raum	76
5.4.2 Flächen im Raum	78
5.4.3 Technische Apparate zur Lageidentifizierung im Raum	78
5.4.4 Der eigene Standort im Raum.....	78
5.5 automatische Bewertung der Zeichnungen	80
5.5.1 Anforderungen an Bewertungskriterien	80
5.5.2 Ein prototypischer Kriterienkatalog	81
5.6 Benutzerprofil.....	84
5.7 Bedeutung des Kontexts	85
5.7.1 Bild im Kontext.....	85
5.7.2 Kontext im Bild.....	87
6 Algorithmen bei der multimedialen Erkundung von Grafiken	89
6.1 Selbständige Erkundung.....	89
6.2 Geleitete Erkundung.....	92
6.3 Erkunden von Bildern mittels Sprache	95
6.4 Synergieeffekte durch die Kombination mehrerer Medien.....	98
7 Kurzbeschreibung der Werkzeuge	101
7.1 Überblick.....	101
7.2 TDraw	102
7.2.1 Problemanalyse	102
7.2.2 Systemstruktur	103
7.2.3 Implementierung	105
7.3 TRender.....	107
7.3.1 Problemanalyse	107
7.3.2 Vorgehen bei der Herstellung haptischer Grafiken	108
7.3.3 Implementierung	111
7.4 TGuide.....	115
7.4.1 Problemanalyse	115
7.4.2 Erkundungs-, Such- und Führungssoftware	115
7.4.3 Die Vibratormaus	117

8 Experimente und Ergebnisse	121
8.1 Überblick	121
8.2 TDraw	121
8.2.1 Fragestellung.....	121
8.2.2 Versuchsanordnung und -durchführung.....	122
8.2.3 Versuchspersonen/Statistik	123
8.2.4 Beobachtungen und Ergebnisse	124
8.3 TRender	127
8.3.1 Fragestellung.....	127
8.3.2 Versuchsanordnung und -durchführung.....	128
8.3.3 Versuchspersonen/Statistik	131
8.3.4 Beobachtungen und Ergebnisse	132
8.4 Das taktile Interaktionsgerät, die Vibratormaus.....	135
8.4.1 Fragestellung.....	135
8.4.2 Versuchsanordnung und -durchführung.....	135
8.4.3 Versuchspersonen/Statistik	137
8.4.4 Beobachtungen und Ergebnisse	137
9 Diskussion und Ausblick	139
9.1 Diskussion.....	139
9.2 Ausblick.....	142
Anhang.....	146
Literatur	146
Glossar	157
Zusammenfassung	166
Lebenslauf.....	167

Zusammenfassung

Das Problem, Blinden grafische Information zu vermitteln, ist in einer immer stärker bildlich orientierten Kultur von zunehmender Bedeutung. Während Benutzungsoberflächen von Computern und Anwendungen weitgehend zugänglich sind, blieben Grafiken, insbesondere solche, die *räumliche Gegenstände* darstellen, bisher relativ unzugänglich.

Um dieses Problem mit den Mitteln der Informatik zu lösen, wird es zunächst aus der Sicht wissenschaftlich benachbarter Disziplinen untersucht: Wahrnehmungspsychologie und -philosophie, Rehabilitationstechnologie (insbesondere zur Generierung akustischer und haptischer Stimuli) und experimentelle Psychologie zeigen auf, welche Darstellungs- und Präsentations-Methoden erfolgversprechend sind. Gleichzeitig liefern sie eine solide Basis für die eigentliche Arbeit der Informatik auf diesem Feld: Problemanalyse und Modellbildung sowie Umsetzung und Test der entwickelten Algorithmen.

Die Ergebnisse der Analysen und Experimente, letztlich der gesamten Arbeit einschließlich der implementierten Algorithmen, lassen sich stichwortartig wie folgt zusammenfassen:

Nicht die Grafik selbst, sondern das in ihr Dargestellte muß vermittelt werden, und zwar so, wie es der Entwerfer der visuellen Grafik intendierte. *Inhalt und Zweck* einer Grafik müssen also bei der nicht-visuellen Präsentation berücksichtigt werden.

Als nicht-visuelle *Modalität(en)* kommen der *akustische Kanal* und der *Tastsinn* in Betracht. Letzterer ist zur Wahrnehmung von Linien und anderen grafischen Elementen besser geeignet als das Gehör, kann jedoch zusammen mit diesem Synergie-Effekte erzielen, die den Gesamtwahrnehmungsprozeß positiv beeinflussen.

Die Anwendung optischer Verfahren zur Abbildung von Gegenständen beim Entwurf tastbarer (Linien-)Grafiken eignet sich für Blinde nicht, daher wurden mit einem neu entwickelten Zeichensystem für Blinde (TDraw) entsprechende *taktile Abbildungsverfahren* gesucht.

Die mit diesem System ermittelten Abbildungsverfahren führen zu Zeichnungen, die sich nicht an den optischen sondern an den haptischen Eigenschaften der Gegenstände orientieren und deshalb zunächst eigentümlich anmuten. Eben hierin liegt aber ihre Problemangemessenheit: Schließlich sollen sie ertastet und nicht betrachtet werden.

Die Verfahren wurden in ein Rendering-System (Programm zur Generierung von Zeichnungen aus Modelldaten) umgesetzt. Dieses System (TRender) unterstützt die Bildung eines mentalen Modells auf der Grundlage haptischer Stimuli: Die haptischen Eindrücke beim Ertasten der Zeichnung sollen möglichst die gleichen sein, wie beim Ertasten des realen 3D-Gegenstands. Hierzu wurde eine „haptische *Rendering-Pipeline*“ entwickelt.

Ergebnis des Rendering-Prozesses ist ein tastbares Bild und eine dazugehörige Beschreibung. Beides wird von einem neu entwickelten *taktilem Navigationssystem* (TGuide) genutzt. Hierbei handelt es sich um ein aktives Erkundungshilfsmittel, das neben verbaler Information zum gerade abgetasteten Objekt auch vibrotaktile Richtungshinweise erzeugt.

Anwendungen für die hier entwickelten Verfahren finden sich in allen Bereichen, in denen Menschen (Sehende oder Blinde) Informationen über räumliche Zusammenhänge bekommen sollen. In der vorliegenden Arbeit wird die akustische Komponente und deren Kombinierbarkeit mit den haptischen Komponenten nur in Grundzügen untersucht. Es bleibt sicher noch Ausbaupotential, ebenso wie in der Integration neuerer haptischer Ausgabegeräte (Pantograph, Phantom). Außerhalb des Gebiets „Grafiken für Blinde“ erweisen sich die Erkenntnisse über die haptische Mensch-Computer-Interaktion als interessantes Forschungsgebiet, das noch viele Möglichkeiten weiterer Erschließung bietet.

Lebenslauf

Martin Kurze, geb. 6. August 1963 in Berlin

Ausbildung

Schule:	1982 Abitur am Lilienthal-Gymnasium in Berlin.
Wehrdienst:	1982 bis 1986 Offiziersanwärter/Offizier bei der Bundeswehr.
Studium:	1986 bis 1992 Informatik und Chemie an der Freien Universität Berlin.
Examen:	Mai 1992: Erstes (wissenschaftliches) Staatsexamen.
Promotion:	Thema der Dissertation „Methoden zur computergenerierten Darstellung räumlicher Gegenstände für Blinde auf taktilen Medien“; Einreichung der Dissertation vorgesehen im November 1998.

Berufstätigkeit

Berkom GmbH	Seit Juni 1997 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter bei der Deutschen Telekom Berkom Gesellschaft für Forschung und Entwicklung von Anwendungen in der Telekommunikation mbH.
FU Berlin:	Juni 1992 bis Mai 1997 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informatik der Freien Universität Berlin mit verschiedenen Tätigkeiten in Forschung, Lehre, Verwaltung und internationalen Projekten (s.u.).
Nebentätigkeit:	seit 1988 bis 1998 DV-Dozent u.a. an der Volkshochschule Zehlendorf.

Projekterfahrung

EU-Projekte:	GUIB („Graphical User Interfaces for Blind People“) mit Partnern aus 6 europäischen Ländern und Industriebeteiligung (1992-1994); HCM-IRS („Human Capital and Mobility - Interactionally Rich Systems“, 1993-1996); Vorbereitung und Akquisition des Projekts MoBIC („Mobility of Blind People Interacting with Computers“, 1995-1996)
Telekom-Projekte	Projektmanagement und Entwicklungssteuerung bei verschiedenen F&E-Projekten im Bereich „Virtual Reality“ und „Anwendungsplattformen“.

Weitere Interessen und Fähigkeiten

Vorträge:	Zahlreiche wissenschaftliche Vorträge auf deutschen, europäischen und außereuropäischen, siehe Veröffentlichungsliste. Wissenschaftliche und andere Vorträge und Demonstrationen im Rahmen der Projektarbeit (siehe oben). Demonstration eines eigenen Forschungsprototypen auf der CeBit '93.
berufl. Interessen:	„Neue Medien“, Telematik, Multimediale Systeme, 3D Mensch-Computer-Interaktion.
Mitgliedschaften:	Gesellschaft für Informatik (GI), Association for Computing Machinery (ACM), Eurographics Association(EG).
Sprachkenntnisse:	Englisch fließend in Wort und Schrift, Latinum.
private Interessen:	Familie, Fotografie, Radfahren, Trockenbau.
Familie:	seit 1989 verheiratet mit Monika Kurze, geb. Länger; 3 Kinder: Johanna (geb. 1991), Robert (geb. 1993) u. Bernhard (geb. 1998).