

eXamen.press

eXamen.press ist eine Reihe, die Theorie und Praxis aus allen Bereichen der Informatik für die Hochschulausbildung vermittelt.

Bernhard Preim • Raimund Dachsel

Interaktive Systeme

Band 2: User Interface Engineering,
3D-Interaktion, Natural User Interfaces

2. Auflage

 Springer Vieweg

Bernhard Preim
Universität Magdeburg
Fakultät Informatik
Magdeburg, Deutschland

Raimund Dachsel
Technische Universität Dresden
Fakultät Informatik
Dresden, Deutschland

ISSN 1614-5216

eXamen.press

ISBN 978-3-642-45246-8

ISBN 978-3-642-45247-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-45247-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999, 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
(www.springer.com)

Geleitwort

Das Forschungs- und Arbeitsfeld der *Mensch-Computer-Interaktion* (MCI) hat in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Die Informatikforschung und -entwicklung konzentrierte sich in ihren Anfängen vor mehr als vierzig Jahren zunächst auf die Verbesserung von Algorithmen und die dafür benötigten Hardware-Architekturen. Die Benutzbarkeit der Software wurde nachrangig, man könnte fast sagen stiefmütterlich, behandelt. Mit der Komplexität der Softwaresysteme stiegen allerdings auch die Anforderungen an die Benutzbarkeit. Heute sind aus volkswirtschaftlicher Sicht Bedienfehler der Benutzer häufig mit großen Kosten verbunden, und die Benutzbarkeit entscheidet maßgeblich über den Erfolg oder Misserfolg von Produkten, bei denen Softwarekomponenten eine gewichtige Rolle spielen.

In Deutschland hat sich diese Erkenntnis in der Hochschullandschaft und Wirtschaft zwar mit etwas Verzögerung, dafür nun aber – bei Drucklegung dieses Bandes – mit Nachdruck durchgesetzt. Zahlreiche Lehrstühle mit einem dedizierten Schwerpunkt in der MCI wurden in den letzten Jahren im deutschsprachigen Raum eingerichtet. Nahezu alle in Deutschland agierenden Software-Firmen nehmen die Benutzbarkeit ihrer Produkte sehr ernst und stellen Mitarbeiter mit entsprechender Expertise ein bzw. schaffen ganze Abteilungen, die sich dem Thema hausintern widmen. Kurzum: Informatiker kommen an dem Thema Mensch-Computer-Interaktion nicht mehr vorbei – und aus Sicht der Endkunden, d. h. der Benutzer von Informatikprodukten, ist diese Entwicklung mehr als zu begrüßen.

Während an Universitäten und Fachhochschulen neue Studiengänge entstehen, die sich der MCI annehmen, ist das Angebot an wissenschaftlich fundierter Informatik-Literatur zum Thema überschaubar. Die international renommierten Wissenschaftler Bernhard Preim und Raimund Dachselt haben mit dem ersten Band „Interaktive Systeme“ vor einigen Jahren den Grundstock zu einem umfassenden Lehr- und Nachschlagewerk gelegt, welches nun durch den zweiten Band komplettiert wird. Während der erste Band vor allem die technischen und kognitiven Grundlagen interaktiver Systeme diskutierte, wird dem Leser dieses Bandes das Rüstzeug für das Design von effizienten und effektiven Benutzungsschnittstellen an die Hand gegeben (Teil eins) und sein Verständnis von neuen Interaktionstechniken und -paradigmen vertieft. Hierzu wird nicht nur die an Bedeutung gewinnende 3D-Interaktion (Teil zwei) ausführlich besprochen, sondern auch die gestische und natürliche Interaktion auf und mit (großen und kleinen) interaktiven Oberflächen (Teil drei).

Schließlich wird moderne Software heutzutage nicht mehr nur für die klassischen Plattformen PC, Laptop oder Smartphone entwickelt, sondern vielmehr für viele Alltagsgegenstände, wie z. B. das Automobil, die Wasch-, Spül- oder Kaffeemaschine. Selbst in Zahnbürsten und Hifi-Anlagen sind Softwarekomponenten keine Seltenheit mehr. Es setzt sich vermehrt die Erkenntnis durch, dass die Benutzbarkeit eines Produktes nur dann gewährleistet werden kann, wenn physikalische und softwaretechnische Aspekte der Bedienbarkeit gleichberechtigt schon im Entwurf und in der Entwicklung der Benutzungsschnittstelle berücksichtigt werden. Dieses Thema greifen die Autoren u. a. im Kapitel „Tangible User Interfaces“ gesondert

auf und fassen den aktuellen Stand dieses jungen Forschungsgebietes erstmalig in einem deutschen Lehrbuch umfassend zusammen.

Dieses Buch hat in Verbindung mit dem ersten Band für (fast) jede Leserschaft viel zu bieten:

- Dem praktischen Informatiker erlaubt dieser Band, das technische Verständnis zu den Gestaltungsmöglichkeiten der MCI zu vertiefen und gezielt einzelne Wissenslücken aufzuarbeiten – insbesondere solche, die den Design- und Evaluierungsprozess von Benutzungsschnittstellen betreffen.
- Dem Gestalter bietet dieser Band die Möglichkeit, die Welt der Benutzungsschnittstellen aus der Sicht der Informatik zu sehen und besser zu begreifen. Für diese Gruppe werden insbesondere Teil zwei und drei dieses Bandes von Bedeutung sein, in denen neuartige Bedienparadigmen vorgestellt und diskutiert werden. Das Wissen um diese Konzepte wird die Diskussion mit Informatikern in gemischten Entwicklungsteams erheblich erleichtern.
- Dem Forscher und Hochschullehrer wird dieser Band als Nachschlagewerk dienen und eine unverzichtbare Grundlage zur Erstellung von Vorlesungen und Vorträgen sein. Teil eins enthält Stoff für eine komplette Vorlesung zum Thema „User Interface Design“. Der zweite Teil „3D-Interaktion“ und der dritte „Natural User Interfaces“ erlauben auch fachfremden Wissenschaftlern einen umfassenden Überblick zu beiden Gebieten, der in so konzentrierter und übersichtlicher Form derzeit in keinem deutschsprachigen Lehrbuch zu finden ist.
- Studierende der Informatik haben die Möglichkeit, sich mit Hilfe der beiden Bände intensiv mit der Mensch-Computer-Interaktion und dem User-Interface-Design zu beschäftigen. Sollten entsprechende Veranstaltungen an der jeweiligen Hochschule existieren, so kann dies vorlesungsbegleitend geschehen. Aber auch als eigenständige Lektüre ohne Vorlesung sei dieses Werk jedem Studierenden der Informatik oder einem gestalterischen Fach mit Informatikbezug wärmstens ans Herz gelegt. Teil zwei und drei können zur Vorbereitung von Seminarvorträgen hilfreiche Dienste leisten.
- Schließlich ist das Buch auch von technisch versierten Laien in weiten Teilen zu verstehen. Sie erhalten einen faszinierenden Überblick zu einem jungen Gebiet der Informatik, welches an Bedeutung gewinnen wird.

Mit großer Akribie, hohem Sachverstand und präziser Sprache haben Bernhard Preim und Raimund Dachselt es verstanden, den aktuellen Stand der Kunst des jungen, dynamischen Feldes der Mensch-Computer-Interaktion in diesem Werk festzuhalten. Damit leisten beide einen unschätzbaren Dienst zur ersten Konsolidierung unseres Forschungsgebietes in deutscher Sprache. Beiden Autoren ist diese Bestandsaufnahme eine Herzensangelegenheit, die sich nicht nur in diesem Buch, sondern auch in Ihrer Tätigkeit als Lehrende und Forschende stark widerspiegelt. Dafür sei den Autoren sehr gedankt.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern eine erkenntnisreiche und unterhaltsame Lektüre.

Vorwort zum zweiten Band

Der zweite (und damit auch letzte) Band des Buches „Interaktive Systeme“ wendet sich an alle Studierenden, Doktoranden, Anwender und Praktiker gleichermaßen, die Interesse an User Interfaces und Mensch-Computer-Interaktion (MCI) haben. Im ersten Band wurden wichtige Grundlagen gelegt, wobei grafische Benutzungsschnittstellen und traditionelle Formen der Interaktion mit Maus und Tastatur im Fokus standen. Der vorliegende Band baut darauf auf und widmet sich einerseits dem systematischen Erstellungsprozess von Benutzungsschnittstellen und andererseits neuartigen Interaktionsformen und Entwicklungen. Wir haben das Buch in drei größere Teile gegliedert und behandeln darin

- das User Interface Engineering,
- die 3D-Interaktion und
- Natural User Interfaces.

Im Teil *User Interface Engineering* (fünf Kapitel) wird der Prozess der Entwicklung interaktiver Systeme beschrieben. Besonders gründlich werden Methoden und Strategien der Aufgaben- und Benutzeranalyse diskutiert. Sie dienen in den frühen Phasen dazu, Anforderungen und deren Priorität zu verstehen und später, Prototypen zu evaluieren und entsprechend des gewonnenen Feedbacks weiterzuentwickeln. User Interface Engineering ist ein stark iterativer Prozess, bestehend aus Analyse-, Entwurfs-, Implementierungs- und Evaluierungsphasen. Wir hoffen, dass dieser iterative Charakter gut vermittelt wird, auch wenn in einem Buch die einzelnen Phasen naturgemäß als Sequenz beschrieben werden.

Im zweiten Teil zum Thema *3D-Interaktion* (vier Kapitel) greifen wir die Entwicklung auf, dass immer mehr 3D-Inhalte verfügbar sind, ob in der Konstruktion, Fertigung, für Marketing oder in Spielen. Die Interaktion damit weist besondere Herausforderungen auf. So stellen wir Interaktionstechniken und spezielle Hardware für den Umgang mit 3D-Daten vor. Diese Diskussion wird auf einige Leitszenarien fokussiert. Dabei wird z. B. diskutiert, wie in einem 3D-Stadtmodell navigiert werden kann, wie komplexe geometrische Formen erstellt werden und wie interaktive 3D-Visualisierungen den Fahrzeugentwurf unterstützen können.

Im abschließenden Teil zu *Natural User Interfaces* (drei Kapitel) diskutieren wir neuartige Formen der MCI, die jenseits von Einzelplatz-PC, Maus und Tastatur angesiedelt sind. MARK WEISERS Vision des *Ubiquitous Computing*, die dem Leser immer wieder begegnen wird, argumentiert dafür, Computerfunktionalität in die reale Welt zu integrieren. Aus dem Umgang mit unserer Alltagswelt können wir lernen, wie Interfaces künftig intuitiver zu gestalten sind. Dabei spielen Gesten eine zentrale Rolle, die man z. B. mit den Händen in der Luft oder mit den Fingern auf Tablets oder interaktiven Wänden ausführt. Wir werden gestische Interaktion intensiv diskutieren und einen Fokus auf Multitouch-Eingabe für interaktive Oberflächen legen. Abgerundet wird dieser Buchteil durch ein Kapitel zu *Tangible User Interfaces* – einer Form der natürlichen Interaktion mit greifbaren Gegenständen, die gerade beginnt, ihren Weg in die Produktwelt zu nehmen.

In diesem Buch haben wir aus sprachlichen, Vereinfachungs- und auch Platzgründen auf eine konsequent geschlechtsneutrale Formulierung verzichtet. Selbstverständlich sind – wenn nicht explizit anders hervorgehoben – Frauen und Männer immer gleichermaßen gemeint. Zum Beispiel beziehen wir uns bei *Nutzern* oder *Entwicklern* eines Systems natürlich immer auf Menschen beiderlei Geschlechts. Intuitive Benutzungsschnittstellen und Mensch-Computer-Interaktion sind ein Thema, das alle Menschen gleichermaßen berührt.

Die MCI ist ein so umfangreiches Fachgebiet, dass die Auswahl der Themen in beiden Bänden des Buchs „Interaktive Systeme“ natürlich subjektiv geprägt ist und nicht vollständig sein kann. Dennoch hoffen wir, dass viele Leser möglichst viele für sie nützliche Informationen in diesem Buch finden werden. Über die Begleitwebseite <http://www.hci-buch.de/> können Zusatzinformationen und Kontaktinformationen abgerufen werden. Über Feedback würden wir uns freuen.

Nun wünschen wir allen Leserinnen und Lesern eine erkenntnisreiche und hoffentlich zuweilen auch vergnügliche Lektüre.

Bernhard Preim und Raimund Dachsel
Magdeburg und Dresden, im November 2014

Danksagung. Auch dieser zweite Band des Buches „Interaktive Systeme“ wäre ohne die Hilfe einer Vielzahl von Personen nicht möglich gewesen. Ob durch bereitgestellte Abbildungen, fachliche Diskussionen, Korrekturlesen oder moralische Unterstützung – allen Menschen, die zum Erfolg beigetragen haben, sind wir zu großem Dank verpflichtet.

Bernhard Preim möchte sich zuerst bei seiner eigenen Arbeitsgruppe Visualisierung für Feedback, Hinweise auf interessante Arbeiten und Hilfe bei der Erstellung von Abbildungen bedanken. Hervorzuheben sind die Illustrationen von Antje Hübler und Mathias Neugebauer sowie die Forschung von Ragnar Bade, Alexandra Barer, Steven Birr, Kerstin Kellermann, Arno Krüger, Jeanette Mönch, Konrad Mühler, Patrick Saalfeld und Zein Salah in den Bereichen Wahrnehmung, szenariobasierte Entwicklung, Displayssysteme, 3D-Interaktion bzw. Augmented Reality. Das Sekretariat des Institutes für Simulation und Graphik, speziell Steffi Quade, Petra Schumann und Petra Specht haben bei der sprachlichen Durchsicht, bei der Kommunikation in Bezug auf Abbildungsgenehmigungen und bei der Vereinheitlichung der Literaturangaben geholfen.

Ein großer Dank geht an Marcus Nitsche (seit März 2014 bei SAP, vorher Universität Magdeburg) für seine kenntnisreiche Durchsicht der Kapitel im Teil „User Interface Engineering“. Dieser Teil ist auch stark geprägt von Vorträgen, Diskussionen, Workshops und Tutorials im Rahmen der Jahrestagungen der Usability Professionals. Herzlichen Dank dafür exemplarisch an Henning Brau, Marc Hassenzahl und Kostanija Petrovic.

Die Kapitel im Bereich der 3D-Interaktion basieren auch auf intensiven Diskussionen mit Marco Schumann (Fraunhofer IFF Magdeburg), Torsten Kuhlen (RWTH Aachen), Bernd Fröhlich (Bauhaus-Universität Weimar) und Andreas Kolb (Universität Siegen). Die Möglichkeit, fortgeschrittene Hardware und darauf basierende Applikationen live zu sehen und selbst erproben zu können, hat maßgeblich zum Verständnis beigetragen. Timo Ropinski hat die Kapitel in diesem Teil kritisch durchgesehen. Bernhard Preim möchte auch seinem Freund Frank Oheim und seiner Frau Sandra für einen detaillierten Einblick in den Arbeitsplatz von Architekten, in typische Arbeitsabläufe und in die genutzte Software danken.

Raimund Dachzelt möchte sich zunächst herzlich bei den Mitarbeitern seiner Professur Multimedia-Technologie (*Interactive Media Lab Dresden*) für die vielfältige Unterstützung, ihre eigenen, in dieses Buch eingeflossenen Forschungsbeiträge und für intensives Korrekturlesen bedanken. Dies sind Ramona Behling, Axel Berndt, Wolfgang Büschel, Ulrike Kister, Ricardo Langner, Fabrice Matulic, André Viergutz und Ulrich von Zadow. Ein solches Buch während des laufenden Semesterbetriebs überhaupt schreiben zu können, haben auch sie durch ihre Unterstützung mit ermöglicht. Auch den ehemaligen Mitarbeitern Mathias Frisch, Jens Heydekorn, Martin Spindler und Sophie Stellmach danke ich für die Zusammenarbeit in Forschungsprojekten, die hier Erwähnung finden.

Mein besonderer Dank gilt Ricardo Langner, der – in Zusammenarbeit mit Tom Horak und Lucas Recknagel – diesem Buch mit einer Vielzahl gelungener Abbildungen und Tabellen zu einem ansprechenden Erscheinungsbild verholfen hat. Auch für inhaltliche Diskussionen mit Kollegen und Mitarbeitern möchte ich danken. Hier vor allem André Viergutz, Gerhard Weber und Ulrich von Zadow, die auch mit kleineren eigenen Textbeiträgen in Form von Info-Kästen interessante Perspektiven hinzugefügt haben. Eva Hornecker hat das Kapitel zu Tangible User Interfaces kommentiert und wertvolle Hinweise gegeben.

Schließlich gilt mein tiefer Dank der eigenen Familie. Ohne die Großzügigkeit und Unterstützung meiner Frau, meiner drei Kinder und meiner Mutter würde das Buch jetzt nicht in dieser Form vorliegen können.

Bei Frau Dorothea Glaunsinger und Herrn Hermann Engesser vom Springer-Verlag möchten wir uns für die sehr angenehme Zusammenarbeit bedanken, insbesondere auch für ihre Geduld. Schließlich freut es uns sehr, dass Antonio Krüger, Professor an der Saarland Universität und am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) Saarbrücken, das Geleitwort zu diesem Buch geschrieben hat – vielen Dank dafür!

Inhaltsverzeichnis

Teil I User Interface Engineering

1	User Interface Engineering: Einleitung	3
1.1	Historische Entwicklung	6
1.2	Kontext der Softwareentwicklung	10
1.2.1	Vertragsentwicklung	11
1.2.2	Produktentwicklung	12
1.2.3	Entwicklung innerhalb eines Unternehmens	13
1.2.4	Positionierung von Usability und User Experience	14
1.2.5	User Interface Engineering und Agile Softwareentwicklung	15
1.3	Phasen der Entwicklung	16
1.3.1	Analyse	16
1.3.2	Anforderungen	18
1.3.3	Spezifikation und Design	19
1.3.4	Umsetzung der entworfenen Lösungen	20
1.4	User Experience Design	22
1.4.1	Emotionen	26
1.4.2	Komponenten der UX	27
1.4.3	Beispiele für UX Design	29
1.4.4	Zusammenfassung	31
1.5	Szenariobasierte Entwicklung	32
1.6	Contextual Design	34
1.7	Partizipative Entwicklung und Living Labs	35
1.8	Beobachtungen, Befragungen und Workshops	39
1.8.1	Beobachtungen	39
1.8.2	Befragungen	40
1.8.3	Workshops in der Analyse und Evaluierung	41
1.9	Werkzeuge für das User Interface Engineering	42
1.10	Zusammenfassung	43

- 2 Anforderungsanalyse** 45
 - 2.1 Initiale Aufgaben- und Prozessanalyse 47
 - 2.2 Vertiefte Analyse von Aufgaben und Prozessen 52
 - 2.2.1 Beobachtungen 55
 - 2.2.2 Interviews 63
 - 2.2.3 Schriftliche Befragungen 66
 - 2.2.3.1 Organisatorische Vorbereitung der Befragung 66
 - 2.2.3.2 Gestaltung von Fragebögen 68
 - 2.2.3.3 Auswertung von Befragungen 69
 - 2.2.3.4 Generelle Fragebögen 70
 - 2.2.3.5 Befragung mittels E-Mail oder mittels web-basiertem Formular 73
 - 2.2.4 Die Rolle von Entwicklungspartnern 73
 - 2.2.5 Diskussion 74
 - 2.3 Repräsentation der Analyseergebnisse 74
 - 2.3.1 Repräsentation mittels Szenarien 75
 - 2.3.2 Hierarchische Aufgabenanalyse 78
 - 2.3.3 Prozessmodellierung und Workflow-Management 80
 - 2.3.4 Validierung von Anforderungen 84
 - 2.3.5 Verbreitung der Ergebnisse 85
 - 2.4 Benutzeranalyse 85
 - 2.4.1 Identifikation relevanter Gruppen von Benutzern 86
 - 2.4.2 Aspekte der Benutzeranalyse 89
 - 2.4.3 Personas: Fiktive Benutzer 90
 - 2.5 Rahmenbedingungen 94
 - 2.5.1 Direkte Vorgaben 95
 - 2.5.2 Unscharfe Vorgaben 95
 - 2.6 Ethnografische Studien 96
 - 2.7 Definition von Anforderungen 99
 - 2.7.1 Tätigkeiten bei der Definition von Anforderungen 100
 - 2.7.2 Klassifikation von Anforderungen 102
 - 2.7.3 Qualität von Anforderungsdokumenten 103
 - 2.7.4 Szenariobasierte Beschreibung von Anforderungen 104
 - 2.7.5 Quantitative Anforderungen 106
 - 2.7.6 Änderungen von Anforderungen 107
 - 2.8 Zusammenfassung 108

- 3 Der Designprozess** 111
 - 3.1 Charakterisierung des Designprozesses 112
 - 3.2 Sketching 115
 - 3.2.1 Manuelle Skizzen versus computergenerierte Layouts 115
 - 3.2.2 Integration von manuellen Skizzen und computergestütztem Prototyping 116
 - 3.2.3 Verwendung von Storyboards 117
 - 3.2.4 Informationsdesign 118

- 3.2.5 Erstellung von Wireframes 119
- 3.3 Prototypen 120
 - 3.3.1 Papier-Prototypen 123
 - 3.3.2 Erstellung und Nutzung von Papier-Prototypen 124
 - 3.3.3 Integration anderer Methoden des User Interface Engineerings 125
 - 3.3.4 Video Prototyping 125
 - 3.3.5 Wizard of Oz Prototyping 126
 - 3.3.6 Physische Prototypen 128
- 3.4 Fallbeispiel 1: Prototyping für die Exploration geografischer Daten . 129
- 3.5 Fallbeispiel 2: Operationsplanung 130
- 3.6 Fallbeispiel 3: Prototyping eines verbesserten User Interfaces einer Angiografieanlage 133
- 3.7 Werkzeuge für das Prototyping 138
 - 3.7.1 Anforderungen an Prototyping-Werkzeuge 138
 - 3.7.2 Klassische Prototyping-Werkzeuge 140
 - 3.7.3 Neuere Prototyping-Werkzeuge 141
 - 3.7.4 Werkzeuge für das integrierte Prototyping von physischen und digitalen Komponenten 146
- 3.8 Zusammenfassung 148

- 4 Evaluierung von User Interfaces 151**
 - 4.1 Formale Evaluierung 152
 - 4.2 Inspektionsmethoden 154
 - 4.2.1 Heuristische Evaluierung 155
 - 4.2.2 Cognitive Walkthrough 158
 - 4.2.3 Zusammenfassung 159
 - 4.3 Einführung in die Empirische Evaluierung 160
 - 4.3.1 Arten empirischer Evaluierungen 160
 - 4.3.2 Formative und summative Evaluierungen 162
 - 4.3.3 Studiendesign 163
 - 4.3.4 Usability Laboratories 165
 - 4.3.5 Empirische Evaluierung subjektiver Kriterien 166
 - 4.3.6 Qualitätskriterien für Benutzerstudien 169
 - 4.4 Vorbereitung empirischer Evaluierungen 170
 - 4.4.1 Auswahl von Testaufgaben 171
 - 4.4.2 Ziele und Hypothesen 171
 - 4.4.3 Beteiligte Personengruppen 172
 - 4.4.4 Weitere Aspekte der Vorbereitung 173
 - 4.5 Statistische Aspekte bei der Planung und Auswertung von Evaluierungen 174
 - 4.5.1 Abschätzung der notwendigen Anzahl an Testpersonen für heuristische Evaluierungen 174
 - 4.5.2 Statistische Auswertung 178
 - 4.5.3 Der χ^2 -Test 184

4.5.4	Statistische Auswertung ordinaler Daten	186
4.5.5	Effektgröße	187
4.5.6	Werkzeuge für die Auswertung von Testdaten	190
4.5.7	Zusammenfassung	191
4.6	Evaluierung der UX	191
4.7	Kritische Sicht auf Evaluierungen	195
4.8	Auswertung	196
4.8.1	Strukturierung von Usability Reports	198
4.8.2	Usability Reports aus Sicht der Software-Entwickler	200
4.9	Zusammenfassung	201
5	Styleguides im User Interface Engineering	205
5.1	Firmen- und plattformspezifische Richtlinien	206
5.2	Erstellung von Styleguides	208
5.3	Inhalt und Struktur von Styleguides	211
5.3.1	Strukturierung	211
5.3.2	Richtlinien zur Verwendung von Icons	213
5.4	Validierung und Verifikation	216
5.5	Einführung von Styleguides	217
5.6	Veränderungen von Styleguides	218
5.7	Beispiele	219
5.7.1	Webdesign	219
5.7.2	Medizinische Anwendungen	220
5.7.3	Weitere Anwendungen	223
5.8	UX Styleguides	226
5.9	Zusammenfassung	228
Teil II 3D-Interaktion		
6	Einführung in die 3D-Interaktion	231
6.1	Leitszenarien	233
6.1.1	Touristische Nutzung von 3D-Stadt- und Terrainmodellen	233
6.1.2	Geometrische Modellierung im Design und in der Architektur	235
6.1.3	Komplexe industrielle Planungs- und Entwurfsprozesse	236
6.1.4	3D-Patientenmodelle für die Therapieplanung	237
6.2	Begriffe	237
6.2.1	Ein- und Ausgabegeräte	244
6.2.2	3D Widgets	245
6.2.3	Virtual und Augmented Reality	246
6.2.4	Erfolgsfaktoren	250
6.3	Bibliotheken, Toolkits und Technologien	251
6.3.1	Grafikbibliotheken	252
6.3.2	Tools für die web-basierte 3D-Interaktion	257
6.3.3	Werkzeuge für AR und VR	259

- 6.4 Tiefenhinweise in realen und virtuellen Welten 260
 - 6.4.1 Tiefenhinweise in computergenerierten Bildern 263
 - 6.4.2 Gestalterische Tiefenhinweise 266
 - 6.4.3 Evaluierung von Tiefenhinweisen 270
- 6.5 Orientierung und Navigation 274
 - 6.5.1 Nutzung visueller Informationen 275
 - 6.5.2 Nutzung nicht-visueller Informationen 277
- 6.6 Beidhändige 3D-Interaktion 279
- 6.7 Metaphern für die 3D-Interaktion 280
- 6.8 Zusammenfassung 283

- 7 Ein- und Ausgabegeräte für die 3D-Interaktion 285**
 - 7.1 3D-Eingabegeräte 287
 - 7.1.1 Kriterien 287
 - 7.1.2 3D-Mäuse 289
 - 7.1.3 Tracking-basierte Eingabe 293
 - 7.1.4 Handgehaltene Eingabegeräte 294
 - 7.1.5 Datenhandschuhe und Finger-Tracking 297
 - 7.1.6 Leap Motion 299
 - 7.1.7 Gestenbasierte Eingabe mit der Wiimote 299
 - 7.1.8 Tracking auf Basis von Tiefenkameras 302
 - 7.1.9 Evaluierung von Eingabegeräten 304
 - 7.2 Stereoskopische und autostereoskopische Displays 306
 - 7.2.1 Stereodarstellungen 307
 - 7.2.2 Stereodarstellungen mit dem z-Space-System 310
 - 7.2.3 Autostereoskopische Darstellungen 312
 - 7.2.4 Evaluierung von Stereoeffekten 315
 - 7.2.5 Volumetrische und holografische Displays 315
 - 7.2.6 Zusammenfassung 316
 - 7.3 Force Feedback-Geräte 317
 - 7.4 Semi-Immersive und immersive VR-Umgebungen 322
 - 7.4.1 Semi-Immersive VR-Umgebungen 322
 - 7.4.2 Displays für immersive VR 324
 - 7.4.3 Cave Automatic Virtual Environment 326
 - 7.4.4 Kuppelprojektionen 331
 - 7.4.5 Anwendungen der Kuppelprojektion 333
 - 7.5 Displays für Augmented Reality 335
 - 7.5.1 Optische See-Through Displays 336
 - 7.5.2 Video See-Through Displays 336
 - 7.5.3 Google Glass 337
 - 7.6 Zusammenfassung 337

8	Grundlegende 3D-Interaktionen	339
8.1	Entwurf von 3D Widgets	340
8.1.1	Visuelle Gestaltung	341
8.1.2	Platzierung und Sichtbarkeit von 3D Widgets	342
8.2	Selektion	343
8.2.1	Erweiterungen des Raycastings	345
8.2.2	Erweiterungen der Selektion in VR-Umgebungen	348
8.2.3	Feedback	352
8.2.4	Evaluierung von Selektionstechniken	353
8.3	Objektplatzierung	353
8.3.1	Arten der Objektplatzierung	354
8.3.2	Eingeschränkte Objektplatzierung	355
8.3.3	Anwendungen	359
8.4	Skalierung und Rotation von Objekten	364
8.5	Rotation der virtuellen Kamera	366
8.5.1	Virtueller Trackball	367
8.5.2	Rotation mit dem Two-Axis Valuator	369
8.5.3	Vergleich der Methoden	370
8.5.4	Orientierungsanzeige	373
8.6	Touch-basierte Platzierung und Rotation von 3D-Objekten	373
8.7	Navigation in virtuellen Welten	375
8.7.1	Navigationsaufgaben	378
8.7.2	Navigationshinweise	380
8.7.3	Geschwindigkeitssteuerung	384
8.7.4	Beschränkte Navigation	386
8.7.5	Automatische Tourgenerierung	388
8.7.6	Selbstdefinierte Pfade	389
8.8	3D Widgets zur Systemsteuerung	390
8.8.1	Kommandoingabe	390
8.8.2	Texteingabe in virtuellen Umgebungen	391
8.8.3	3D-Menüs	391
8.8.4	Kreisförmige Menüs	393
8.9	Zusammenfassung	396
9	Fortgeschrittene 3D-Interaktionen und Anwendungen	399
9.1	Exploration von 3D-Daten	400
9.1.1	Einfügen und Manipulieren von Schnittebenen	401
9.1.2	Linsen, Cutaways und Ghostviews	404
9.1.3	Explosionsdarstellungen	408
9.2	Erstellung komplexer Objektformen	409
9.2.1	Modellierung mit Bezier- und Splineflächen	410
9.2.2	Sketching	414
9.2.3	Architektonische Modellierung	419
9.2.4	Virtuelle Resektion	422
9.3	Anwendungen der Navigation	425

- 9.3.1 Navigation in 3D-Stadtmodellen 425
- 9.3.2 Navigation in der virtuellen Endoskopie 427
- 9.3.3 Navigation in VR 430
- 9.4 Annotation von 3D-Modellen 434
 - 9.4.1 Annotation von 3D-Stadt- und Terrainmodellen 437
 - 9.4.2 Dynamische Anpassungen 439
 - 9.4.3 Annotation in immersiven VR-Umgebungen 441
- 9.5 Interaktive Vermessung in virtuellen Welten 443
 - 9.5.1 Distanzmessung 444
 - 9.5.2 Größenabschätzung 445
 - 9.5.3 Winkelmessung 446
 - 9.5.4 Vermessung in VR 448
- 9.6 Fallbeispiele 448
 - 9.6.1 Medizinische Lern- und Trainingssysteme 449
 - 9.6.2 VR-Anwendungen 451
- 9.7 Zusammenfassung 455

Teil III Natural User Interfaces

- 10 Natürliche und gestische Interaktion 461**
 - 10.1 Natural User Interfaces: Einführung und Motivation 463
 - 10.1.1 Grenzen von Fenstern, Icons, Menüs und Mauszeigern 466
 - 10.1.2 Die natürliche Nutzererfahrung 470
 - 10.1.3 Meilensteine der Entwicklung 473
 - 10.1.4 Post-WIMP UIs: Ausprägungen und Konzepte 479
 - 10.1.5 Ein konzeptueller Rahmen: Realitätsbezogene Interaktion .. 484
 - 10.2 Gesten in der menschlichen Kommunikation 488
 - 10.2.1 Grundlagen: Gesten im Alltag 489
 - 10.2.2 Typisierung und Klassifikation von Gesten 491
 - 10.2.3 Aufbau und Aspekte von Gesten 494
 - 10.3 Gestenbasierte Mensch-Computer-Interaktion 496
 - 10.3.1 Begriffsbestimmungen und eine Taxonomie 496
 - 10.3.2 In welchen Formen werden Gesten genutzt? 500
 - 10.3.3 Gesten als Teil natürlicher Benutzungsschnittstellen 507
 - 10.3.4 Anwendungsgebiete und -beispiele für Freihandgesten 512
 - 10.4 Designaspekte und Herausforderungen beim Gestenentwurf 520
 - 10.4.1 Attribute und Freiheitsgrade von Gesten 520
 - 10.4.2 Designrichtlinien und -herausforderungen 522
 - 10.4.3 Weitere Herausforderungen 525
 - 10.5 Prozess und Verfahren der Gestenerkennung 528
 - 10.5.1 Grundsätzliche Probleme und Herausforderungen 529
 - 10.5.2 Merkmalserschaffung (Feature Detection) 530
 - 10.5.3 Merkmalsverfolgung (Tracking) 533
 - 10.5.4 Gestenklassifikation (Classification) 534
 - 10.5.5 Weiterführende Literatur und Ausblick 536

10.6	Möglichkeiten und Grenzen gestischer Interaktion	537
10.6.1	Vorteile	537
10.6.2	Nachteile	538
10.7	Zusammenfassung und Ausblick	540
11	Interaktive Oberflächen	545
11.1	Interaktive Oberflächen: Einführung & Grundlagen	547
11.1.1	Wenn Eingabe und Ausgabe verschmelzen	548
11.1.2	Meilensteine der Entwicklung	550
11.1.3	Formfaktoren und Gerätevielfalt	558
11.2	Gestische Multitouch-Eingabe	567
11.2.1	Ein einführendes Beispiel: Multitouch-Layout	567
11.2.2	Charakteristik von Multitouch-Eingabe	570
11.2.3	Multitouch-Gesten	576
11.3	Designaspekte und Herausforderungen bei Multitouch-Interaktion	580
11.3.1	Fat-Finger-Problem	581
11.3.2	Geeignetes Feedback	585
11.3.3	Feedforward als Ergebnisvorschau	588
11.3.4	Erlernen von Touch-Gesten	589
11.3.5	Multiuser-Aspekte	590
11.3.6	Nutzeridentifikation	594
11.3.7	Erkennung von Gesten in Hard- und Software	595
11.4	Der Entwurf eines Gestenvokabulars	597
11.4.1	Von (technischen) Experten allein entworfene Gesten	598
11.4.2	Ein benutzerzentrierter Gesten-Entwicklungsprozess	598
11.4.3	Von Nutzern vorgeschlagene Gesten	600
11.4.4	Individualisierte und selbst definierte Gesten	606
11.5	Erfolgreiche Anwendungsgebiete	607
11.5.1	Tabletops in Museen und Ausstellungen	608
11.5.2	Lehr-/Lernanwendungen	610
11.5.3	Schauräume und Verkaufsanwendungen	612
11.5.4	Kollaborative Informationsvisualisierung	613
11.5.5	Strategie, Planung und Koordination	614
11.6	Aktuelle Trends und Herausforderungen	615
11.6.1	Neue Formfaktoren, Materialien und Haptik	615
11.6.2	Erweiterter Interaktionsraum vor und um Oberflächen	619
11.6.3	Abstandsabhängige und entfernte Interaktion	621
11.6.4	Multi-Display-Umgebungen	624
11.7	Zusammenfassung	626
12	Tangible User Interfaces	629
12.1	Einführung, Grundlagen und Historie	630
12.1.1	Einführende Beispiele	632
12.1.2	Was sind Tangible User Interfaces?	634
12.1.3	Eigenschaften und Kernaspekte von TUIs	637

- 12.1.4 Historie und Entwicklung 640
- 12.2 Anwendungsklassen und -beispiele 643
 - 12.2.1 Architektur-, Raum- und Landschaftsplanung 644
 - 12.2.2 Informationsvisualisierung, -suche und -filterung 646
 - 12.2.3 Musik und Kunst 651
 - 12.2.4 Tangible Programming 654
 - 12.2.5 Lehr-/Lernanwendungen 656
 - 12.2.6 Spiele und Edutainment 659
- 12.3 Klassifikation von TUIs und konzeptionelle Frameworks 663
 - 12.3.1 Grundlegende TUI-Klassen 664
 - 12.3.2 Begriffe und ein Framework: Token und Constraints 668
 - 12.3.3 Kopplung des Gegenständlichen und Digitalen 669
 - 12.3.4 Soziale Interaktion und User Experience 672
- 12.4 Designaspekte, Vorteile und Grenzen 673
 - 12.4.1 Herausforderungen 674
 - 12.4.2 Stärken und Vorteile von TUIs 677
 - 12.4.3 Nachteile und Beschränkungen von TUIs 679
- 12.5 Aktuelle Trends 680
 - 12.5.1 Touch+Tangibles kombiniert 680
 - 12.5.2 Tangibles auf Mobilien Endgeräten 681
 - 12.5.3 Tangibles jenseits von kleineren horizontalen Oberflächen .. 682
 - 12.5.4 Größerer Ausdrucksreichtum 683
 - 12.5.5 Smarte und Augmentierte Objekte 684
 - 12.5.6 Aktuierte Tangibles und Oberflächen 685
 - 12.5.7 Formveränderliche Oberflächen und Tangibles 687
- 12.6 Zusammenfassung 689
- Literaturverzeichnis 695
- Definitionen 752
- Index 753
- Personen 765