

ENTWICKLUNG EINES STRUKTURIERTEN PROZESSES DES  
INTERAKTIONSDESIGNS FÜR NATÜRLICHE  
BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN

FLORIAN KLOMPMAKER



**UNIVERSITÄT PADERBORN**  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

Dissertation

Fakultät für Informatik  
Universität Paderborn

November 2014

Florian Klompmaker: *Entwicklung eines strukturierten Prozesses des Interaktionsdesigns für natürliche Benutzungsschnittstellen*, Dissertation, ©  
November 2014

GUTACHTER:

Prof. Dr. Reinhard Keil

Prof. Dr. Karsten Nebe





“The way to get good ideas is to get lots of ideas, and throw the bad ones away”

– Dr. Linus Pauling

Amerikanischer theoretischer Chemiker und Biologe 1901-1994

Gewinner des Nobelpreises für Chemie 1954

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Die Art und Weise, wie Menschen Computer bedienen, ändert sich seit einiger Zeit rasant. Sogenannte natürliche Benutzungsschnittstellen, realisiert beispielsweise durch Multitouch-Bildschirme, (be-)greifbare oder körpergestenbasierte Interaktionen finden sich bereits in einigen Produkten auf dem Markt. Auch für gemeinsame, koaktive Interaktionen sind diese Technologien häufig gut geeignet.

In den Forschungslaboratorien von zahlreichen Universitäten, Instituten und Firmen werden ständig neue Interaktionsformen konzipiert, in wissenschaftlichen Studien untersucht und die Ergebnisse anschließend veröffentlicht. Die Erkenntnisse von solchen Studien sind häufig, dass eine entwickelte Interaktionsform unter bestimmten Voraussetzungen, besser ist als eine andere. Solche Voraussetzungen können beispielsweise die Aufgabe, die es zu erfüllen gilt, oder der Hardwareaufbau sein.

Derartiges Design-Wissen ist aktuell nur sehr schwer zugänglich, da es meist ausschließlich in wissenschaftlichen Publikationen niedergeschrieben ist. Für Studienergebnisse aus der Interaktionsforschung gibt es kaum einfache Suchmöglichkeiten, die verschiedenen Personengruppen schnell zur Verfügung stehen.

In dieser Arbeit wird daher ein Verfahren zur kriteriengeleiteten Entscheidungsfindung vorgestellt, welches ein einfaches Suchen und Verwalten von Design-Wissen zu sogenannten natürlichen Benutzungsschnittstellen ermöglicht. Es basiert auf einer Taxonomie von Interaktionstechniken, sowie einer strukturierten Vorgehensweise und adressiert Interaktionsdesigner, Softwareentwickler und Interaktionsforscher gleichermaßen.

Das entwickelte Verfahren wurde prototypisch in ein Auswahlwerkzeug implementiert. Des Weiteren wird in dieser Arbeit ein flexibles technisches Framework zum Testen und Bewerten neuartiger Interaktionsformen vorgestellt. Die mit diesem Framework erlangten Forschungsergebnisse können anschließend in das Auswahlwerkzeug integriert werden und stehen somit anderen Personen als Design-Wissen zur Verfügung.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit soll es sein, mit dem erstellten Verfahren einen Beitrag dazu zu leisten, die Entwicklung von Produkten mit natürlichen Benutzungsschnittstellen und hoher Gebrauchstauglichkeit zu erleichtern, in dem die Überführung von Ergebnissen aus der Interaktionsforschung in die Produktentwicklung erleichtert wird.

## ABSTRACT

---

The way humans interact with computers is changing rapidly. So called Natural User Interfaces, provided by multitouch-screens, tangible interaction or body gesture interactions can already be found in several products on the market. These technologies are often also appropriate for collaborative and coactive interactions.

In research laboratories of universities, institutes and companies new kinds of interaction techniques are developed, analyzed in scientific studies and published. The findings of such studies are often, that a newly developed interaction technique is more suitable under certain circumstances than another. Such circumstances could be the task that is to be fulfilled or the available hardware setup.

Such kind of design-knowledge is currently difficult to access since it is solely written in scientific publications. There is no easy possibility for a fast look up of study results from interaction research that is available for different user groups.

Therefore, this thesis introduces a procedure for criteria-conducted decision-making, that enables an easy search and management of design-knowledge in the area of Natural User Interfaces. It is based on a taxonomy of interaction techniques and provides a structured method, addressing interaction designers, software developers and interaction researchers likewise.

The developed procedure was implemented prototypically as a software tool. Further on, this thesis introduces a flexible technical framework for the testing and evaluating of new interaction techniques. The results achieved with this framework can be integrated in the selection tool and therefore provided for other persons as design-knowledge.

The higher aim of this thesis is to facilitate the development of products with Natural User Interfaces that posses great usability. This can be achieved by facilitating the transfer of design-knowledge into the process of product development.

## DANKSAGUNG

---

Ich danke an dieser Stelle allen Personen, die zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben!

Insbesondere danke ich meiner Familie und meiner Lebensgefährtin Dominique Klappauf für die Unterstützung und den besonderen Rückhalt in den vergangenen Monaten.

Des Weiteren danke ich allen Kolleginnen und Kollegen für den Input und den intensiven kritischen Austausch über die inhaltliche Ausrichtung der Arbeit, sowie für die moralische Unterstützung. Besonders danken möchte ich in diesem Zusammenhang Karsten Nebe, Volker Paelke, Holger Fischer, Helge Jung, Christian Geiger, den Kollegen aus dem C-LAB in Paderborn, insbesondere der Forschungsgruppe Usability Engineering, sowie der Arbeitsgruppe Kontextuelle Informatik der Universität Paderborn.

Auch den zahlreichen Forschungspartnern aus verschiedenen Einrichtungen möchte ich für die konstruktive Zusammenarbeit in den letzten Jahren danken. Ein besonderer Dank geht hierbei an das Technische Hilfswerk Detmold.

Schließlich danke ich allen Personen aus meinem Freundes- und Bekanntenkreis für das Verständnis und die motivierenden Gespräche.



## HINWEISE ZUM LESEN DIESER ARBEIT

---

Folgende Hinweise sollen dem Leser beim Verstehen der vorliegenden Arbeit helfen, indem sie die Bedeutung von Struktur und Gestaltung erläutern.

Um die Kapitelhierarchie der Arbeit überschaubar zu halten, werden in dieser Arbeit neue Absätze mit einer Seitennotiz versehen. Dies geschieht immer dann, wenn inhaltlich ein neuer Aspekt aufgegriffen wird. Die Seitennotiz gibt in kürzester Form eine Zusammenfassung des nachfolgenden Textes. Die Seitennotizen können dabei auch verwendet werden, um sich einen schnellen Überblick über den Inhalt eines Kapitels oder Unterabschnitts zu verschaffen.

Kursiver Text wird verwendet, um Originalbezeichnungen und Namen, oftmals in englischer Sprache, zu kennzeichnen. Die kursive Hervorhebung erfolgt jeweils nur beim erstmaligen Auftreten. Eine Ausnahme bilden hier die Eigenbezeichnungen oder Namen von im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzepten oder Komponenten. Diese werden, um sie als solche zu kennzeichnen und vom standardmäßigen Sprachgebrauch zu unterscheiden, stets kursiv dargestellt. Konkrete Umsetzungen von Komponenten werden zusätzlich durch eckige Klammern gekennzeichnet. Dies ist vor allem für die Anhänge dieser Arbeit relevant.

Bei kursivem Text, der sich zusätzlich in Anführungszeichen befindet, handelt es sich stets um ein Zitat, dessen Herkunft am Ende des Zitats als Literaturverweis angegeben ist.





## PUBLIKATIONEN

---

Einige Ideen und Realisierungen der vorliegenden Arbeit wurden bereits in wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht. Bei den meisten Formaten handelte es sich um Konferenzbeiträge, die mit ausführlichen Reviews durch Experten aus dem Fachgebiet, sowie einem Vortrag mit anschließender Diskussion, einhergingen. Aus diesen Veröffentlichungen konnten daher wertvolle Rückmeldungen, Kritik und Ideen zur Fortführung der Forschungsarbeit gewonnen werden.

Die Kernidee dieser Arbeit, die Entwicklung eines strukturierten und kriteriengelenkten Prozesses des Interaktionsdesigns für natürliche Benutzungsschnittstellen wurde erstmals als Ansatz in [Klompmaier and Paelke, 2012] beschrieben und anschließend mit Erweiterungen auf der TEI 2013 als Work-In-Progress veröffentlicht [Klompmaier et al., 2013b]. Schließlich wurde die Idee auf der HCII 2013 als Full Paper veröffentlicht [Klompmaier et al., 2013a].

Des Weiteren wurden zahlreiche Studien zu und mit natürlichen Benutzungsschnittstellen konzipiert, durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse werden im Rahmen des entworfenen Auswahlverfahrens verwendet und zeigen die Umsetzbarkeit des Ansatzes auf. Einen Ansatz zur 3D Interaktion mit mobilen Endgeräten und Tischdisplays findet sich in [Klompmaier et al., 2012c]. In [Klompmaier et al., 2012a] wird eine Studie zur berührungslosen Ganzkörperinteraktion in virtuellen Umgebungen vorgestellt. Auf der HCII 2012 wurde die Möglichkeiten zur koaktiven Gruppenarbeit an Tischdisplays analysiert [Nebe et al., 2011c], während auf der Mensch & Computer 2011 Interaktionen mit Tiefenbildkameras vorgestellt wurden [Klompmaier et al., 2011a]. Dreidimensionale Interaktionstechniken auf Tischdisplays wurden des Weiteren in [Klompmaier and Nebe, 2010] untersucht. [Klompmaier and Ajaj, 2010] beschäftigt sich mit kartenbasierten Interaktionstechniken. Ein spielerischer Ansatz für Kinder ist in [Klompmaier et al., 2010] geschildert.

Auch prototypische technische Realisierungen, die für Interaktionsstudien verwendet wurden, sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit entstanden und veröffentlicht worden. Mit dSensingNI wurde eine umfangreiche Bibliothek zur Realisierung von natürlichen Benutzungsschnittstellen mit Tiefenbildkameras erschaffen [Klompmaier et al., 2012d]. Smartfiducials beschreibt sich ändernde visuelle Muster und die Möglichkeit, dadurch fortgeschrittene (be-)greifbare Interaktionskonzepte umzusetzen [Klompmaier et al., 2011b]. Das Konzept wurde anschließend als Gebrauchsmuster angemeldet [Nebe et al., 2010]. Das Tracking von mehreren Benutzern in einem interaktiven Szenario mit Hilfe von Tiefenbildkameras wurde in [Klompmaier et al., 2012b] und

[Jung et al., 2011] veröffentlicht.

Viele der Interaktionsstudien und -konzepte aus dieser Arbeit basieren auf dem Forschungsprojekt useTable@THW, welches im C-LAB der Universität Paderborn durchgeführt wurde. Hierbei wurden koaktive Szenarien bei der Einsatzlageplanung im Katastrophenschutz betrachtet. Das Projekt fand in Zusammenarbeit mit dem technischen Hilfswerk Detmold statt. Die Konzepte wurden veröffentlicht auf der Mensch und Computer 2011 [Nebe et al., 2011a], der HCII 2011 [Nebe et al., 2011b], der GeoViz 2011 [Paelke et al., 2011], der ACHI 2012 [Paelke et al., 2012], sowie der ISCRAM 2012 [Fischer and Klompmaier, 2012].

Weitere Arbeiten, die im Zusammenhang mit dieser Disserrtation stehen, finden sich in [Klompmaier and Reimann, 2007] (Taxonomie für AR Interaktionstechniken, die im Rahmen des Forschungsprojektes LOMS<sup>1</sup> entstand), [Klompmaier et al., 2013c] (natürliche Benutzungsschnittstellen im eHealth Umfeld, die im Rahmen des Forschungsprojektes OSAMI<sup>2</sup> untersucht wurden), [Müller et al., 2012], [Stöcklein et al., 2010], [Jung et al., 2010], [Klompmaier et al., 2009] und [Nebe et al., 2009].

---

<sup>1</sup> LOMS - Locale Mobile Services, ITEA Projekt 04012, August 2005 - Juni 2008, <https://itea3.org/project/loms.html>

<sup>2</sup> OSAMI-Commons - Open Source Ambient Intelligence Commons, ITEA Projekt 07019, April 2008 - Dezember 2011, <https://itea3.org/project/osami-commons.html>

# INHALTSVERZEICHNIS

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | EINLEITUNG   | 1  |
| 1.1   | Aufbau der Arbeit  | 2  |
| 1.2   | Ausgangssituation und Motivation   | 4  |
| 1.3   | Abgrenzung, abgeleiteter Handlungsbedarf und dreistufiger Ansatz           | 10 |
| 1.3.1 | Abgrenzung zu existierenden Anwendungsgebieten und Forschungsarbeiten      | 10 |
| 1.3.2 | Abgeleiteter Handlungsbedarf   | 11 |
| 1.3.3 | Dreistufiger Lösungsansatz   | 12 |
| 2     | GRUNDLAGEN UND AUFNAHME EIGENER FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN                      | 15 |
| 2.1   | Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion                                 | 16 |
| 2.1.1 | Mensch-Computer-Interaktion  | 16 |
| 2.1.2 | Weitere verwandte Begriffe   | 19 |
| 2.2   | Grundlagen natürlicher Benutzungsschnittstellen                            | 22 |
| 2.2.1 | Benutzungsschnittstellen aus VR und MR                                     | 24 |
| 2.2.2 | Beispiele für natürliche Benutzungsschnittstellen                          | 25 |
| 2.3   | Zusammenfassung und Aufnahme eigener Forschungsaktivitäten                 | 26 |
| 3     | STAND DER FORSCHUNG  | 27 |
| 3.1   | Koaktives, IT-gestütztes Arbeiten  | 28 |
| 3.1.1 | Computer Supported Collaborative Work                                      | 28 |
| 3.1.2 | Koaktivität  | 30 |
| 3.1.3 | Awareness  | 32 |
| 3.1.4 | Entwurf von koaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen | 33 |
| 3.1.5 | Abgrenzung von CSCW zum Themengebiet dieser Arbeit                         | 37 |
| 3.2   | Realisierung von Anwendungen mit nat. Benutzungsschnittstellen             | 39 |
| 3.2.1 | Multitouch-Technologien  | 39 |
| 3.2.2 | Technologien für (be-)greifbare Interaktion                                | 41 |
| 3.2.3 | Realisierung von Hand- und Ganzkörpergesten                                | 43 |
| 3.2.4 | Technologie und Einsatzmöglichkeiten von Tiefenbildkameras                 | 45 |
| 3.2.5 | Möglichkeiten der Anwenderidentifizierung                                  | 45 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.2.6 | Übertragungsprotokolle für Interaktionsdaten und Gestenerkennungs-Bibliotheken     | 48  |
| 3.2.7 | Abschließende Übersicht über Technologien für koaktive Anwendungen                 | 51  |
| 3.3   | Existierende Interaktionskonzepte für nat. Benutzungsschnittstellen                | 54  |
| 3.3.1 | Multitouch-Interaktionskonzepte  | 54  |
| 3.3.2 | (Be-)greifbare Interaktionskonzepte  | 60  |
| 3.3.3 | Interaktionskonzepte für Hand- und Körpergesten                                    | 63  |
| 3.3.4 | Zusammenfassung der Interaktionskonzepte   | 65  |
| 3.4   | Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns für nat. Benutzungsschnittstellen          | 67  |
| 3.4.1 | Taxonomien von Interaktionstechniken   | 69  |
| 3.4.2 | Charakteristika, Test und Evaluierung von Interaktionstechniken                    | 75  |
| 3.4.3 | Weitere relevante Konzepte, Vorgehensweisen und Integration des Interaktionsdesign | 80  |
| 3.4.4 | Abschließende Beurteilung existierender Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns    | 85  |
| 3.5   | Zusammenfassung  | 88  |
| 4     | STRUKTURIERTES VORGEHEN DES INTERAKTIONSDESIGNS                                    | 89  |
| 4.1   | Aufstellen von Charakteristika zur Beschreibung interaktiver Systeme               | 92  |
| 4.1.1 | Charakteristika zur Beschreibung interaktiver Systeme                              | 93  |
| 4.1.2 | Klassifizierung der aufgestellten Charakteristika                                  | 94  |
| 4.1.3 | Übersicht  | 97  |
| 4.2   | Erstellung einer Taxonomie von Interaktionstechniken                               | 99  |
| 4.2.1 | Der Aufbau der Taxonomie   | 100 |
| 4.2.2 | Der Aufbau der Taxonomie anhand eines Fallbeispiels                                | 103 |
| 4.2.3 | Abschließende Bewertung der Taxonomie für das Interaktionsdesign                   | 108 |
| 4.3   | Bewertung von Interaktionstechniken auf Basis von Charakteristika                  | 111 |
| 4.3.1 | Bewertungsschema und -schlüssel  | 111 |
| 4.3.2 | Übersicht über das Bewertungsschema und den Bewertungsschlüssel                    | 117 |
| 4.4   | Technologische Anforderungen   | 118 |
| 4.4.1 | Identifizierte technologische Anforderungen für den Kontext dieser Arbeit          | 118 |
| 4.4.2 | Zusammenfassung der technologischen Anforderungen                                  | 120 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.5   | Ein Auswahlverfahren für Forscher und Interaktionsdesigner            | 123 |
| 4.5.1 | Entwicklung eines Auswahlprozesses                                    | 123 |
| 4.5.2 | Integration in den Prozess des Usability Engineering                  | 128 |
| 4.5.3 | Übersicht über das Auswahlverfahren                                   | 130 |
| 4.6   | Zusammenfassung   | 132 |
| 5     | PROTOTYPISCHE IMPLEMENTIERUNG DES AUFGESTELLTEN KONZEPTE              | 135 |
| 5.1   | coaNUI: Ein Werkzeug zur Realisierung nat. Benutzungsschnittstellen   | 136 |
| 5.1.1 | Komponenten des coaNUI Frameworks                                     | 136 |
| 5.1.2 | Zusammenfassung des coaNUI Frameworks                                 | 141 |
| 5.2   | Realisierung eines Werkzeugs zur Automatisierung des Auswahlprozesses | 143 |
| 5.2.1 | Funktion des Auswahlwerkzeuges  | 143 |
| 5.2.2 | Zusammenfassung des Auswahlwerkzeuges                                 | 144 |
| 5.3   | Fazit der prototypischen Implementierung                              | 146 |
| 6     | BEWERTUNG UND KRITISCHE WÜRDIGUNG                                     | 147 |
| 6.1   | Bewertung des strukturierten Vorgehens beim Interaktionsdesign        | 148 |
| 6.1.1 | Definition von Charakteristika und qualitativen Parametern            | 148 |
| 6.1.2 | Aufstellung der Interaktionstaxonomie                                 | 150 |
| 6.1.3 | Bewertungsschema und -schlüssel                                       | 152 |
| 6.1.4 | Technologische Anforderungen  | 152 |
| 6.1.5 | Das Auswahlverfahren  | 153 |
| 6.1.6 | Zusammenfassung   | 154 |
| 6.2   | Bewertung des Auswahlwerkzeuges                                       | 156 |
| 6.3   | Bewertung des Frameworks coaNUI                                       | 158 |
| 6.4   | Abschließende Bewertung   | 160 |
| 7     | ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK  | 163 |
| 7.1   | Zusammenfassung   | 164 |
| 7.2   | Ausblick  | 166 |
| A     | DURCHGEFÜHRTE STUDIEN   | 169 |
| A.1   | 3D-Multitouch Studie an einem interaktiven Tisch                      | 169 |
| A.2   | Studie zu berührungsloser VR-Interaktion                              | 174 |
| A.3   | Studie zu (be-)greifbaren Interaktionen in 3D                         | 179 |
| A.4   | Fazit zu den durchgeführten Studien                                   | 184 |
| B     | STUDIENERGEBNISSE ZUR VERWENDUNG IM AUSWAHLWERKZEUG                   | 185 |
| B.1   | Studienergebnisse aus eigenen Studien                                 | 185 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| C   | ABBILDUNGEN DES AUSWAHLWERKZEUGES                                 | 199 |
| D   | INTEGRATION EXTERNER STUDIENERGEBNISSE IN DAS ERSTELLTE VERFAHREN | 205 |
| D.1 | Freihand-Selektionstechniken über interaktiven Tischen            | 205 |
| D.2 | Multitouchtechniken zur 3D-Translation, -Rotation und Skalierung  | 209 |
| D.3 | Koaktivität und Kontrolle an einem Tischdisplay                   | 212 |
| D.4 | Koaktive Stiftinteraktion an Tischdisplays                        | 214 |
| D.5 | Handgestenmanipulation von entfernten Objekten                    | 217 |
|     | LITERATURVERZEICHNIS  | 221 |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Abbildung 1  | Schematische Darstellung der Kapitelstruktur   | 2  |
| Abbildung 2  | Beispiel für ein POST-WIMP Interface: Kollaborative Interaktion an einem Multitouch-Bildschirm (Bildquelle: [Gutwein, 2013])   | 4  |
| Abbildung 3  | Immo,Touch: Interaktive Immobilien-Recherche für mehrere Anwender (Bildquelle: <a href="http://apps.aftermouse.com/fiche-produit/immo-touch.html">http://apps.aftermouse.com/fiche-produit/immo-touch.html</a> )                         | 6  |
| Abbildung 4  | Komponenten der Mensch-Computer-Interaktion (eigene Abbildung)   | 17 |
| Abbildung 5  | Definition der Koaktivität   | 31 |
| Abbildung 6  | RNT-Singletouch-Geste, die physikalische Kräfte simuliert [Kruger et al., 2005]  | 56 |
| Abbildung 7  | Pie Menus lassen sich gemäß der Handausrichtung anpassen [Wang and Ren, 2009]  | 57 |
| Abbildung 8  | ARCBALL Rotation - Winkelberechnung (links) und Kombination von verschiedenen Singletouch-Bewegungen (rechts) [Shoemake, 1992]   | 58 |
| Abbildung 9  | Rotate und Scale - Prominente Dualtouch-Geste (Bildquelle: <a href="http://www.touchuserinterface.com/2009/10/thought-on-multi-touch-gestures.html">http://www.touchuserinterface.com/2009/10/thought-on-multi-touch-gestures.html</a> ) | 59 |
| Abbildung 10 | 3D-Rotation mit drei Fingern [Hancock et al., 2009]  | 60 |
| Abbildung 11 | Lumino - Durch Stapelung ergeben sich eindeutige optische Marker [Baudisch et al., 2010]   | 62 |
| Abbildung 12 | ImpAct - Eindrückbarer Stylus [Withana et al., 2010]   | 63 |
| Abbildung 13 | Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210 [9241-210, 2010]  | 68 |
| Abbildung 14 | Taxonomie für Interaktionstechniken nach Moran [Moran, 1981]   | 71 |
| Abbildung 15 | Task-Komponenten der Task Models nach Lecerof und Paterno [Lecerof and Paterno, 1998], Bildquelle: [Lecerof and Paterno, 1998]   | 72 |
| Abbildung 16 | Exemplarisches Task-Model nach Lecerof und Paterno [Lecerof and Paterno, 1998], Bildquelle: [Lecerof and Paterno, 1998]  | 73 |
| Abbildung 17 | Taxonomie für Interaktionstechniken nach Bowman und Hodges [Bowman and Hodges, 1999]   | 74 |
| Abbildung 18 | Taxonomie für den VR Task Travel [Bowman et al., 1997]   | 75 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Abbildung 19 | Guided Design Process für VR Interaktions-<br>techniken auf Basis einer Interaktionstaxono-<br>mie [Bowman and Hodges, 1999]  | 81  |
| Abbildung 20 | Eine geeignete Taxonomie als Kernkomponente<br>des Verfahrens zur kriteriengeleitete Entschei-<br>dungsfindung  | 89  |
| Abbildung 21 | Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete<br>Entscheidungsfindung: Phasen 1 und 2   | 90  |
| Abbildung 22 | Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete<br>Entscheidungsfindung: Phase 3  | 90  |
| Abbildung 23 | Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete<br>Entscheidungsfindung: Phase 4  | 90  |
| Abbildung 24 | Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete<br>Entscheidungsfindung: Phase 5  | 91  |
| Abbildung 25 | Überblick über den Auswahlprozess des Inter-<br>aktionsdesigns  | 94  |
| Abbildung 26 | Klassifizierung der Charakteristika auf Basis<br>von [Poupyrev et al., 1997] und [Bowman and<br>Hodges, 1999]   | 96  |
| Abbildung 27 | Allgemeiner Aufbau der Taxonomie  | 101 |
| Abbildung 28 | Allgemeiner Aufbau der Taxonomie mit Aus-<br>wahlmöglichkeiten  | 102 |
| Abbildung 29 | Beispiel-Taxonomie für den <i>Interaktionstask</i> 2D<br>Rotation - <i>Interaktionstask</i> und <i>Interaktionstech-<br/>niken</i>  | 104 |
| Abbildung 30 | Beispiel-Taxonomie für den <i>Interaktionstask</i> 2D<br>Rotation - Multitouch <i>Interaktionstechniken</i>   | 105 |
| Abbildung 31 | Beispiel-Taxonomie für den <i>Interaktionstask</i> 2D<br>Rotation - <i>Interaktionstechnik</i> für (be-)greifbare<br>Interaktion  | 106 |
| Abbildung 32 | Beispiel-Taxonomie für den <i>Interaktionstask</i> 2D<br>Rotation - <i>Interaktionstechniken</i> für Stift-Interaktion  | 107 |
| Abbildung 33 | Beispiel-Taxonomie für den <i>Interaktionstask</i> 2D<br>Rotation - <i>Interaktionstechnik</i> für Handgesten-<br>Interaktion   | 107 |
| Abbildung 34 | Vollständige Darstellung von RNT - Die Kom-<br>bination von Rotation und Translation  | 108 |
| Abbildung 35 | Pools von <i>Interaktionstechniken</i> (ITQ) bzw. <i>In-<br/>teraction Components</i> (IC), Charakteristika und<br>qualitativer Parameter als Grundlage für be-<br>wertbare Kombinationen | 113 |
| Abbildung 36 | Kombinationsbeispiele für Kombination 1 und<br>Kombination 2 gemäß Tabelle 4 (die unter-<br>schiedlichen Linienarten repräsentieren je eine<br>Kombination)                               | 114 |



|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Abbildung 37 | Einfache Übersicht des Prozesses des Interaktionsdesigns   | 125 |
| Abbildung 38 | Erweiterte Übersicht des Prozesses des Interaktionsdesigns mit Taxonomie und Bewertungen                               | 126 |
| Abbildung 39 | Um eine Komponente des Interaktionsdesigns erweitertes Verfahrensmodell nach EN ISO 9241-210                           | 129 |
| Abbildung 40 | Auswahlprozess und Rollen  | 130 |
| Abbildung 41 | Der useTable - Ein interaktiver Tisch (eigene Fotografien, Montage aus [Fast, 2011])                                   | 137 |
| Abbildung 42 | Smart Fiducials - Fortgeschrittene (be-)greifbare Interaktionen durch dynamische Marker                                | 138 |
| Abbildung 43 | Screenshot des <i>coaNUI User Tracker</i>  | 140 |
| Abbildung 44 | Das <i>coaNUI Framework</i> mit Quell- und Zielkomponenten   | 141 |
| Abbildung 45 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Eingabemaske zum Suchen nach Design Alternativen                                     | 144 |
| Abbildung 46 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Darstellung der Ausgabe (Design Alternative mit der besten Bewertung)                | 145 |
| Abbildung 47 | Fünf Phasen des Vorgehens beim Interaktionsdesign  | 148 |
| Abbildung 48 | Übersicht über den gesamten Auswahl- und Entwicklungsprozess mit beteiligten Personen und Werkzeugen                   | 160 |
| Abbildung 49 | 3D-Multitouchtechniken (v.l.n.r.) - Docking Task, 3D-Widget zur Translation, 3D-Widget zur Rotation und 3-Touch-Widget | 170 |
| Abbildung 50 | Aufbau des <i>Interaktionstasks</i> zur Multitouchinteraktion mit dreidimensionalen Daten                              | 171 |
| Abbildung 51 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> 6 DOF Multitouch   | 171 |
| Abbildung 52 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> 3D Translation/Rotation Widgets  | 172 |
| Abbildung 53 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> 3-Touch Translation/Rotation Widget  | 172 |
| Abbildung 54 | Ergebnisse der Zeitmessung der 3D-Multitouch Studie  | 173 |
| Abbildung 55 | Berührungslose VR-Interaktion (v.l.n.r.) - Slalom Parcours, Sortieraufgabe und Türme von Hanoi                         | 175 |
| Abbildung 56 | Aufbau des <i>Interaktionstasks</i> zur berührungslosen VR-Navigation und Manipulation                                 | 175 |
| Abbildung 57 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> Hands Free Camera Control  | 175 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Abbildung 58 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> Hands Free Object Manipulation  | 176 |
| Abbildung 59 | Ergebnisse der Zeitmessung der berührungslosen Travektechniken (Angaben in Sekunden)  | 177 |
| Abbildung 60 | Ergebnisse der Fehlermessung beim berührungslosen Slalom-Parcours   | 177 |
| Abbildung 61 | Ergebnisse der Zeitmessung der berührungslosen 6DOF Manipulation (Angaben in Sekunden)  | 178 |
| Abbildung 62 | Ergebnisse der Fehlermessung bei der berührungslosen Sortieraufgabe   | 178 |
| Abbildung 63 | Aufbau des <i>Interaktionstasks</i> zur Studie mit (be-)greifbaren Interaktionstechniken  | 180 |
| Abbildung 64 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> [6DOF Multitouch] (Nur die durch die Opposable Thumbs Technik neu hinzugefügten <i>Interaction Components</i> werden visualisiert, weitere siehe in Abbildung 51)           | 180 |
| Abbildung 65 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> [2x3DOF Surface Object]   | 181 |
| Abbildung 66 | Aufbau der <i>Interaktionstechnik</i> [2x3DOF 3D Orientation]   | 181 |
| Abbildung 67 | Koaktive Innenearchitekturgestaltung mit Smartphones  | 183 |
| Abbildung 68 | Ergebnisse der Zeitmessung der Translations- und Rotationstasks mit begreifbaren Interaktionstechniken  | 183 |
| Abbildung 69 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Details zu einer Design Alternative bestehend aus zusätzlich benötigten Charakteristika, technischen Anforderungen, Referenzen, Diskussionen und in eingeflossene Evaluierungen | 199 |
| Abbildung 70 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Diskussionen zu einer der Design Alternative zu Grunde liegenden Bewertung  | 199 |
| Abbildung 71 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Details zu einer der Evaluierung zu Grunde liegenden Referenz   | 199 |
| Abbildung 72 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Details zu einer Evaluierung  | 200 |
| Abbildung 73 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Detailliertes Ergebnis mit technischen Anforderungen und zusätzlich erforderlichen Charakteristika  | 200 |
| Abbildung 74 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Vollständige Darstellung eines Ergebnisses bestehend aus einer empfohlenen und einer ungeeigneten Design Alternative  | 201 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Abbildung 75 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Bearbeiten einer Taxonomie (1)   | 202 |
| Abbildung 76 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Bearbeiten einer Taxonomie (2)   | 202 |
| Abbildung 77 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Editieren von Charakteristika  | 203 |
| Abbildung 78 | Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Eine Bewertung hinzufügen  | 204 |
| Abbildung 79 | 2D + Entfernungs - Visualisierung von Objekten und Cursor, Bildquelle: [Pyryeskin et al., 2012]                    | 206 |
| Abbildung 80 | Taxonomie zur Studie von Freihand-Selesktionstechniken über einem Tischbildschirm (Teil 1)                         | 207 |
| Abbildung 81 | Taxonomie zur Studie von Freihand-Selesktionstechniken über einem Tischbildschirm (Teil 2)                         | 207 |
| Abbildung 82 | Taxonomie zur Studie von Freihand-Selesktionstechniken über einem Tischbildschirm (Teil 3)                         | 208 |
| Abbildung 83 | tBox Rotation via Multitouch, Bildquelle: [Cohé et al., 2011]  | 210 |
| Abbildung 84 | Taxonomie der [tBox-Interaktionstechnik]   | 211 |
| Abbildung 85 | Koaktive spielerische Verwendung von (be-)greifbaren Objekten, Bildquelle: [Olson et al., 2011]                    | 212 |
| Abbildung 86 | Taxonomie der Manipulation der Menuleiste  | 213 |
| Abbildung 87 | Koaktive Stiftinteraktion bei <i>SketchTop</i> , Bildquelle: [Clifton et al., 2011]                                | 215 |
| Abbildung 88 | Taxonomie der [ <i>SketchTop</i> ] Interaktionstechnik zum Kopieren von Notizzetteln                               | 216 |
| Abbildung 89 | Selektion und Translation von entfernten Grafikobjekten bei <i>Pointable</i> , Bildquelle: [Banerjee et al., 2011] | 218 |
| Abbildung 90 | Taxonomie der Pointable-Technik  | 218 |

## TABELLENVERZEICHNIS

---

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabelle 1  | Anforderungen an koaktive Anwendungen auf interaktiven Tischen  | 34  |
| Tabelle 2  | Übersicht über Technologien zur Realisierung koaktiver Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen (MT = Multitouch, BI = (be-)greifbare Interaktion, S = Stiftinteraktion, G = Hand- oder Körpergesten). Legende: ++ = sehr gut, + = gut, o = mittelmäßig, - = schlecht | 53  |
| Tabelle 3  | Allgemeingültige Charakteristika für den Kontext dieser Arbeit  | 93  |
| Tabelle 4  | Kombinationsmöglichkeiten von <i>Interaktionstechniken</i> bzw. <i>Interaction Components</i> , Charakteristika und qualitativer Parameter  | 113 |
| Tabelle 5  | Bewertungsschlüssel für die Kombinationen von <i>Interaktionstechniken/Interaction Components</i> , Charakteristika und qualitativer Parameter  | 115 |
| Tabelle 6  | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertung (fiktiv) gemäß Kombination 1 aus Tabelle 4  | 116 |
| Tabelle 7  | <i>Interaction Component</i> -Bewertung (fiktiv) gemäß Kombination 2 aus Tabelle 4  | 116 |
| Tabelle 8  | <i>Interaction Component</i> zu <i>Interaction Component</i> -Bewertung (fiktiv) gemäß Kombination 3 aus Tabelle 4  | 116 |
| Tabelle 9  | Technologische Basisanforderungen für koaktive Systeme  | 119 |
| Tabelle 10 | Technologische Anforderungen für koaktive Systeme aus durchgeführten Studien  | 121 |
| Tabelle 11 | Weitere technologische Anforderungen für koaktive Systeme   | 122 |
| Tabelle 12 | Anforderungen an den Auswahlprozess   | 124 |
| Tabelle 13 | Technologische Anforderungen für den Kontext dieser Arbeit und zugehörige <i>coaNUI</i> Komponenten, die diese Anforderungen erfüllen   | 142 |
| Tabelle 14 | Adressierte Anforderungen an den Auswahlprozess (Anforderungen siehe Tabelle 12, Seite 124)   | 145 |
| Tabelle 15 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen der 3D-Multitouch Studie, siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169, Quelle: [Klompmaier and Nebe, 2010]  | 186 |

|            |  |
|------------|--|
| Tabelle 16 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der 3D-Multitouch Studien, siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klomp-maker and Nebe, 2010], [Klomp-maker et al., 2012c] 187                                 |
| Tabelle 17 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der 3D-Multitouch Studien (Fortsetzung 1), siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klomp-maker and Nebe, 2010], [Klomp-maker et al., 2012c] 188                 |
| Tabelle 18 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der 3D-Multitouch Studien (Fortsetzung 2), siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klomp-maker and Nebe, 2010], [Klomp-maker et al., 2012c] 189                 |
| Tabelle 19 | <i>Interaction Component</i> zu <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der 3D-Multitouch Studien, siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klomp-maker and Nebe, 2010], [Klomp-maker et al., 2012c] 189 |
| Tabelle 20 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen der VR-Studie, siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012a] 190  |
| Tabelle 21 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der VR-Studie, siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012a] 191  |
| Tabelle 22 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der VR-Studie (Fortsetzung 1), siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012a], HGR = Hand Gesture Recognition 192  |
| Tabelle 23 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der VR-Studie (Fortsetzung 2), siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012a] 193  |
| Tabelle 24 | <i>Interaction Component</i> zu <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der VR-Studie, siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174 193   |
| Tabelle 25 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen zur Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion, siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012c] 194   |
| Tabelle 26 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion, siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012c] 195   |
| Tabelle 27 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion (Fortsetzung 1), siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klomp-maker et al., 2012c] 196   |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabelle 28 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen der Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion (Fortsetzung 2), siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klompaker et al., 2012c] | 197 |
| Tabelle 29 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen zur 3D-Selektion über horizontalem Tischdisplay  | 209 |
| Tabelle 30 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen zur tBox-Technik   | 211 |
| Tabelle 31 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen zur tBox-Technik   | 211 |
| Tabelle 32 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen zur Manipulation der Menuleiste  | 214 |
| Tabelle 33 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen zum Kopieren bei SketchTop   | 217 |
| Tabelle 34 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen zum Kopieren bei SketchTop   | 217 |
| Tabelle 35 | <i>Interaktionstechnik</i> -Bewertungen zu Pointable   | 219 |
| Tabelle 36 | <i>Interaction Component</i> -Bewertungen zu Pointable   | 220 |

## EINLEITUNG

---

Lange Zeit haben nur IT-Enthusiasten mit Computern gearbeitet. Sie bedienten sich meist Kommandozeilenprogrammen, die über eine angeschlossene Tastatur bedient werden konnten. Zu dieser Zeit bestand kaum Interesse für Interaktionsdesign und Usability und die Notwendigkeiten dieser Disziplinen waren nicht bekannt.

1969 stellte Douglas Engelbart auf einer Konferenz in San Francisco einen Holzkasten vor, der später als Computermaus in die Geschichte eingehen sollte [Süddeutsche Zeitung 04.07.2013]. Der Ansatz wurde Ende der 70er Jahre von verschiedenen Forschern weiterentwickelt und später von mehreren Computerherstellern, unter anderem Microsoft, aufgegriffen und in zahlreichen Produkten verwendet. Heute ist diese Erfindung nicht mehr wegzudenken, dient sie doch der Steuerung von grafischen Benutzungsoberflächen (englisch *Graphical User Interfaces*, GUI), die es uns ermöglichen auf einfache Art und Weise mit einem Computer zu interagieren. Die Entwicklung und Forschung an grafischen Benutzungsoberflächen und der Computermaus fanden nahezu parallel statt. Die ersten Computersysteme für den Massenmarkt, die grafische Benutzungsoberflächen besaßen, waren 1983 der Xerox Star/Alto, sowie Apples Lisa.

Heute befindet sich die Art und Weise, wie Menschen mit Computern interagieren erneut im Umbruch. Bedingt durch neue technologische Möglichkeiten sind Computer nicht mehr nur graue Kästen in den Büros, sondern ständiger mobiler Begleiter des Menschen geworden. Laptops, Smartphones und Tablets, sowie der Ausbau der mobilen Kommunikationsinfrastruktur ermöglichen die Verwendung kleinster Hochleistungsprozessoren an beliebigen Orten. Es entstanden neue Forschungsfelder wie Ubiquitous Computing (auch Pervasive Computing), Wearable Computing oder Mobile Augmented Reality, die sich mit Fragestellungen rund um die Technologie solcher Geräte beschäftigen. Auch die neuen Möglichkeiten der Interaktion stehen dabei im Fokus der Betrachtung. In dieser Arbeit wird die Gestaltung solcher Interaktionsformen untersucht. Hierzu wird ein Verfahren des Interaktionsdesigns entwickelt, prototypisch umgesetzt und evaluiert. In diesem Kapitel wird zunächst die Kapitelstruktur der Arbeit beschrieben. Anschließend wird die Ausgangssituation und damit der allgemeine Kontext der Forschungsaktivitäten beschrieben und es wird die Motivation auf Basis existierender Probleme der Interaktionsforschung präsentiert. Darauf aufbauend wird schließlich ein konkreter Handlungsbedarf extrahiert und der entwickelte Ansatz skizziert.

## 1.1 AUFBAU DER ARBEIT

Nachfolgend wird der Aufbau der vorliegenden Arbeit beschrieben, um den Leser schrittweise auf die Inhalte und Argumentationskette vorzubereiten.

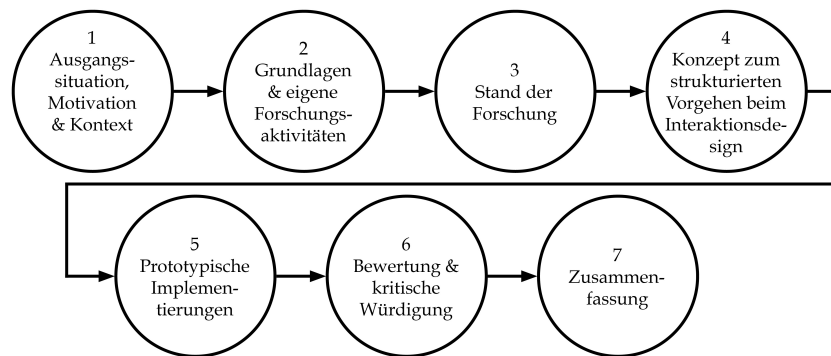


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kapitelstruktur

Zunächst werden im Verlauf dieses ersten Kapitels Ausgangssituation, Motivation und der allgemeine Kontext der Arbeit beschrieben. Darauf aufbauend wird ein Handlungsbedarf extrahiert und ein dreistufiger Lösungsansatz vorgestellt.

Im anschließenden Kapitel 2 wird zunächst auf wichtige Grundlagen eingegangen. Hierfür werden relevante Begriffe aus den Bereichen der Mensch-Computer-Interaktion (Abschnitt 2.1) und der natürlichen Benutzungsschnittstellen (Abschnitt 2.2) vorgestellt und - sofern erforderlich - für den Kontext dieser Arbeit abgegrenzt. Abschnitt 2.3 fasst die Grundlagen zusammen und begründet die Durchführung eigener Forschungsarbeiten.

Das Kapitel 3 stellt im Detail den Stand der Forschung im Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen vor. Hierzu werden insbesondere gemeinsame, koaktive Interaktionsformen (Abschnitt 3.1) sowie die technische Realisierung von natürlichen Benutzungsschnittstellen (Abschnitt 3.2) beschrieben. Des Weiteren werden existierende Forschungsaktivitäten an neuartigen Interaktionskonzepten in Abschnitt 3.3, sowie Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns zur Konzeption, Realisierung und Evaluierung dieser Konzepte in Abschnitt 3.4 erläutert. Das Kapitel endet mit der Zusammenfassung zum Stand der Forschung.

Kapitel 4 stellt das entworfene Konzept zum strukturierten Vorgehen beim Interaktionsdesign mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vor, welches aus fünf Phasen besteht. Es basiert auf der Extraktion von Anwendungs-Charakteristika (Abschnitt 4.1), einer Taxonomie von Interaktionstechniken (Abschnitt 4.2) sowie einem Bewertungsschema für Komponenten einer Interaktionstechnik (Abschnitt 4.3). Gemeinsam mit qualitativen Parametern und technologischen Anforderun-



gen (Abschnitt 4.4) können diesen Daten verwendet werden, um ein Auswahlverfahren beziehungsweise Suchwerkzeug für existierendes Design-Wissen im Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen aufzustellen. Ein solches Auswahlverfahren wird in Abschnitt 4.5 vorgestellt und in Abschnitt 4.6 noch einmal zusammengefasst.

Im nachfolgenden Kapitel 5 werden zwei prototypische Software-Implementierungen vorgestellt. Zum Einen ein Software-Framework zum schnellen Entwurf und Test von neuartigen Interaktionsformen (coaNUI, Abschnitt 5.1), das verwendet werden kann, um Szenarien gemäß Kapitel 4 nachzustellen, sowie Studien durchzuführen, deren Ergebnisse mit Hilfe des entwickelten Bewertungsschemas in das Auswahlverfahren überführt werden können. Zum Anderen wird die Realisierung des zuvor in Abschnitt 4.5 beschriebenen Auswahlverfahrens als ein Software-Werkzeug vorgestellt (Abschnitt 5.2). Abschnitt 5.3 enthält ein Resümee der prototypischen Implementierungen.

In Kapitel 6 werden das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren (Abschnitt 6.1), sowie die beiden prototypischen Implementierungen (Abschnitte 6.2 und 6.3) bewertet und kritisch gewürdigt. Viele der Bewertung zu Grunde liegenden eigenen Arbeiten, evaluierten Interaktionstechniken und Studien Dritter wurden in den Anhang ausgelagert, um einen guten Lesefluss im Kapitel zu ermöglichen. Kapitel 7 enthält eine abschließende Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit.

Diese Arbeit enthält vier Anhänge. In diesen werden eigene durchgeführte Studien zu Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen (Anhang A), daraus resultierende Bewertungen auf Basis des in Kapitel 4 vorgestellten Vorgehens (Anhang B) und Abbildungen des erstellten Auswahlwerkzeuges (Anhang C) dargestellt. Schließlich wird in Anhang D aufgezeigt, dass Forschungsergebnisse und Studien Dritter in das aufgestellte Verfahren integriert werden können.

## 1.2 AUSGANGSSITUATION UND MOTIVATION

In diesem Abschnitt wird die Motivation der Arbeit beschrieben. Hierzu soll zunächst ein Überblick über die Entstehung von POST-WIMP-Interfaces gegeben werden.

Da die Verwendung von herkömmlichen Computer-Eingabegeräten wie Maus und Tastatur beispielsweise mit mobilen Systemen wenig sinnvoll ist, entstanden in den vergangenen Jahren zahlreiche neuartige Interaktionsformen. Diese werden als *POST-WIMP Interfaces* bezeichnet, da sie zeitlich nach den WIMP (Windows Icons Menus and Pointers) Benutzungsschnittstellen entwickelt wurden. Zunächst waren viele der Geräte mit Stiften direkt auf dem Bildschirm zu bedienen, später reichte der menschliche Finger auf Touch-Bildschirmen aus. Interaktionen, die an einem Computer zuvor mit der Maus getätigt wurden, konnten nun direkt mit dem Finger durchgeführt werden. Die Entwicklung von *Multitouch*, die technische Möglichkeit, mehrere Fingerberührungen auf einem Bildschirm zu registrieren, ermöglichte immer neue Interaktionsformen. Grafikelemente konnten von nun an scheinbar direkt auf dem Bildschirm bewegt werden. Dabei wurde und wird oft versucht, das Verhalten von realen physikalischen Gegenständen nachzubilden. Grafikelemente können sich beispielsweise wie ein Stück Papier auf einem Tisch verhalten. Sie können bewegt und gedreht werden und gehorchen physikalischen Gesetzmäßigkeiten.



Abbildung 2: Beispiel für ein POST-WIMP Interface: Kollaborative Interaktion an einem Multitouch-Bildschirm (Bildquelle: [Gutwein, 2013])

*Geschichtliche  
Entwicklung  
POST-WIMP  
Interfaces*

Die geschichtliche Entwicklung von Multitouch und anderen neuartigen Interaktionsformen reicht jedoch bis in die 60er Jahre zurück. 1965 stellte Johnson einen Touch-Bildschirm vor, der kapazitive Sensorik verwendete [Johnson, 1965], ähnlich wie sie heute noch eingesetzt wird. 1982 wurde durch das Flexible Machine Interface von Mehta ein

Prototyp vorgestellt, der einen großflächigen Bildschirm besaß und optische Erkennungsverfahren mit Projektorausgabe kombinierte [Mehta, 1982]. In den 90er Jahren verfolgte die Forschung die Integration von Touch-Erkennung durch kleine Endgeräte, zum Beispiel Mobiltelefone. 1992 brachten IBM & Bell South das Simon auf den Markt, das als erstes Smartphone bezeichnet wird [Buxton, 2007]. Auch wenn sich in den Folgejahren vieles an der Technologie verbesserte, dauerte es doch bis zum Jahr 2007, bis Multitouch es in den Endgeräte-Massenmarkt schaffte. In diesem Jahr kamen sowohl das iPhone von Apple als auch der Multitouch-Tisch Surface von Microsoft auf den Markt.

Da Multitouch-Technologie nur die Eingabe einer Interaktion abdeckt, wurde parallel an zugehörigen Ausgabemethoden geforscht. Die passive haptische Rückkopplung (nachfolgend wird der englische Begriff *Feedback* verwendet), die ein Anwender erfährt, wenn er mit seinen Fingern einen Bildschirm berührt, wird von Forschern stets als Vorteil dieser Technologie angesehen. Dadurch können häufig präzisere Eingaben getätigt werden und es ist keine vollständige visuelle Aufmerksamkeit des Anwenders erforderlich. Bereits 1981 wurde mit dem Tactile Array Sensor for Robotics ein Gerät vorgestellt, das über eine aktive haptische Ausgabe verfügt, indem kleine Stifte aus dem Eingabegerät herausgefahren werden können, um dem Benutzer Feedback-Informationen zu übermitteln [Wolfeld, 1981]. Aus dieser und anderen Entwicklungen entstand später das Forschungsgebiet *Tangible Interaction*, im deutschen als (be-)greifbare Interaktion beschrieben. Es werden Interaktionsformen untersucht, bei denen herkömmliche physikalische Gegenstände zur Kommunikation mit Computersystemen verwendet werden.

Im Gegensatz dazu fanden in den vergangenen Jahren auch zahlreiche berührungslose Interaktionstechnologien ihren Weg auf den Markt. Microsofts Spielecontroller Kinect<sup>1</sup>, der Ganzkörperinteraktionen über eine Tiefenbildkamera erkennt und LEAP Motion<sup>2</sup> zur Erkennung Präziser Hand- und Fingerbewegungen vor einem Bildschirm seien als prominente Beispiele genannt. Während die physische Anstrengung dieser Eingabeformen oft als Nachteil genannt wird, haben zahlreiche Forschungsarbeiten und Produkte auf dem Markt gezeigt, dass diese Technologien in der Lage sind intuitiv bedienbare Systeme zu entwickeln. Vor allem die niedrige Instrumentierung<sup>3</sup> kann als entscheidender Vorteil angesehen werden.

Die zuvor vorgestellten Interaktionsmöglichkeiten haben unlängst die Forschungslabore verlassen und finden sich bereits in zahlreichen Produkten auf dem Markt wieder. Einige Produkte und die dafür erforderlichen Technologiekomponenten sollen im Folgenden beschrieben werden.

*Großflächige  
Bildschirme für  
Multi-User  
Anwendungen*

<sup>1</sup> <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>

<sup>2</sup> <https://www.leapmotion.com>

<sup>3</sup> Instrumentierung = Technologischer Aufwand. Eine detailliertere Beschreibung erfolgt in Kapitel 2.

Während Anwendungen häufig für Einzelanwender konzipiert sind (zum Beispiel Anwendungen auf Smartphones oder Tablets), zielen andere Produkte auch auf Anwendergruppen ab. Der bereits erwähnte Surface von Microsoft bietet unter Anderem Anwendungen für Beratungssituationen. Die Anwendung Immo Touch ermöglicht es Immobilienberatern, potentiellen Kunden interessante Objekte zu präsentieren. Sie lädt dabei Berater und Kunden zum gemeinsamen Interagieren auf dem großflächigen Bildschirm ein (siehe Abbildung 3). Microsofts Kinect bietet die Möglichkeit, gemeinsam spielerisch in 3D-Umgebungen zu interagieren. Während das Forschungsgebiet Virtual Reality solche Interaktionsformen bereits seit langer Zeit untersucht, ist diese Technologie aufgrund der hohen Instrumentierung, des damit verbundenen Anschaffungspreises und der speziellen Anwendungsszenarien kaum für den Massenmarkt geeignet. Es ist daher von großer Bedeutung, das in den vergangenen Jahren erworbene Wissen über Interaktionsformen in die nun auf den Markt kommenden Produkte einfließen zu lassen. Auf diese Art und Weise können die Akzeptanz beim Anwender und die Effektivität der Anwendungen gesteigert und der Erfolg der Produkte gewährleistet werden.



Abbildung 3: Immo Touch: Interaktive Immobilien-Recherche für mehrere Anwender (Bildquelle: <http://apps.after-mouse.com/fiche-produit/immo-touch.html>)

*Von der Theorie in  
die Praxis*

In den vergangenen Jahren und Jahrzehnten sind zahlreiche wissenschaftliche Konferenzen im Bereich der Interaktionstechniken entstanden, die noch immer steigendes Interesse erfahren. CHI<sup>4</sup>, TEI<sup>5</sup>,

<sup>4</sup> ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems

<sup>5</sup> International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (ACM & SIGCHI)

ITS<sup>6</sup> und HCII<sup>7</sup> seien hier nur vier prominente Beispiele. Auf diesen Konferenzen werden regelmäßig neue Interaktionsformen vorgestellt, deren Anwendbarkeit in aufwändigen Studien untersucht wird und die durch die vorgestellten neuen Technologien erst ermöglicht werden. Ergebnis solcher Studien ist häufig, dass eine Interaktionstechnik unter bestimmten Voraussetzungen besser geeignet ist als eine andere. Solche Voraussetzungen können die Anzahl der Anwender, die Displaygröße oder die erforderliche Eingabegenauigkeit der Anwendung sein. Hier zeigt sich, dass es keine Interaktionstechnik geben kann, die stets die beste ist. Es muss vielmehr auf den gesamtheitlichen Anwendungskontext geachtet werden. Das Forschungsgebiet Interaktionsdesign (englisch *Interaction Design*) beschäftigt sich mit der Gestaltung interaktiver Systeme. Dabei wird der Anwendungskontext jeweils genau untersucht, um Produkte zu entwickeln, die auf die Bedürfnisse des Anwenders zugeschnitten sind [Lowgren, 2013].

In dieser Arbeit soll das Interaktionsdesign von POST-WIMP Interfaces genauer untersucht werden. Seit Jahrzehnten wird an solchen Interaktionsformen geforscht, doch erst in den letzten Jahren kamen auch Produkte auf den Markt, die diese Interaktionen technisch zuverlässig bei gleichzeitiger niedriger Instrumentierung ermöglichen. Diese sind meist für einen sehr speziellen Anwendungsfall entwickelt, beispielsweise für Spiele oder Beratungssituationen.

Design-Wissen aus der Forschung ist außerdem für Produktentwickler nur schwer zugänglich und umsetzbar. Dies liegt zum Einen daran, dass die Ergebnisse in wissenschaftlichen Veröffentlichungen niedergeschrieben sind, die nicht frei zugänglich sind. Des Weiteren bedarf diese Art der Recherche einen hohen zeitlichen Aufwand. Die Suche nach für eine konkrete Fragestellung passenden Ergebnissen ist schwierig, da es neben wenigen Stichworten und gegebenenfalls groben Klassifizierungen wie dem *ACM Computing Classification System*<sup>8</sup> keine einheitlichen Suchkriterien und daher auch keine für eine solche Suche angepassten Suchmaschinen gibt.

Diese Umstände resultieren in der Tatsache, dass existierendes Design-Wissen nur schwer in Produkte übertragen werden kann. Stattdessen wird auf altbewährten Techniken, die von marktführenden Unternehmen eingeführt wurden, festgehalten. Innovative und effektive Neuerungen bleiben so die Seltenheit.

Peissner und Hipp motivieren in Ihrem Artikel zu Potentialen der Mensch-Technik Interaktion, dass „ein modernes HMI-Design [...] auch immer multimodale Möglichkeiten jenseits der etablierten graphisch-manuellen Bedienung in Betracht ziehen [sollte]. Insbesondere sollten alternative Ein- und Ausgabemechanismen dann eingesetzt werden, wenn bereits ohne großen technischen Aufwand ein deutli-

*Motivation dieser Arbeit*

*Ziele dieser Arbeit*

<sup>6</sup> ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces

<sup>7</sup> International Conference on Human-Computer Interaction

<sup>8</sup> <http://www.acm.org/about/class/1998>

cher Mehrwert entstehen kann“ [Peissner and Hipp, 2013]. Um solche multimodalen Alternativen jedoch sinnvoll einsetzen zu können, sind Studien notwendig, die einen Einsatz genau untersuchen. Da solche Studien schon in sehr großer Anzahl existieren, sollte vor allem auf existierende Ergebnisse zurückgegriffen und auf Basis dieser weiter geforscht werden. Dazu ist es notwendig, existierende Studien einfach auffinden zu können und enthaltene Ergebnisse übersichtlich und leicht verständlich darzustellen. Kompakt zusammengefasst sind daher aufgrund existierender Forschungslücken die Ziele dieser Arbeit:

- existierendes Design-Wissen zu POST-WIMP Interfaces einfach zugänglich zu machen,
- Design-Wissen zu strukturieren, so dass eine schnelle und einfache Suche möglich ist,
- Design-Wissen so beschreiben zu können, dass es von den beteiligten Personengruppen (Forscher und Interaktionsdesigner) verwendet werden kann, und
- einen Beitrag dazu zu leisten, dass existierendes Design-Wissen aus der Forschung in aktuelle Produktentwicklungen überführt werden kann und somit qualitativ hochwertigere Interaktionskonzepte entstehen.

Durch diese Punkte soll letztlich dazu beigetragen werden, dass im Bereich der POST-WIMP Interfaces Produkte mit sehr guter Gebrauchstauglichkeit (englisch *Usability*) entstehen können.

Die vorliegende Arbeit untersucht somit konkret die Fragestellung, ob Design-Wissen systematisiert werden kann und ob ein Verfahren abgeleitet werden kann, welches die genannten Punkte adressiert.

Das Anwendungsgebiet der Arbeit begrenzt sich auf sogenannte natürliche Benutzungsschnittstellen, die in Abschnitt 2.2 dieser Arbeit näher definiert werden und zu den POST-WIMP Interfaces gehören. Die Begrenzung auf dieses Fachgebiet erfolgt, da

- dieses Forschungsgebiet seit längerem intensiv erforscht wird und folglich hohe Relevanz aufweist,
- es vielversprechende Einsatzszenarien gibt,
- es noch kaum Standards oder etablierte Interaktionsformen gibt, beziehungsweise diese nicht grundsätzlich am geeignetsten für eine Anwendung sind,
- der technologische Wandel kontinuierlich anhält und stets neue Möglichkeiten der Interaktion entstehen.

Wie im Verlauf der Arbeit gezeigt wird, ist jedoch die Übertragbarkeit des gewählten Ansatzes auch über das spezielle Anwendungsgebiet hinaus gegeben.

Im folgenden Unterabschnitt wird aus den beschriebenen Problemen ein konkreter Handlungsbedarf extrahiert und es wird ein Ansatz vorgestellt, mit dem die hier beschriebenen Ziele der Arbeit erreicht werden sollen.

### 1.3 ABGRENZUNG, ABGELEITETER HANDLUNGSBEDARF UND DREI-STUFIGER ANSATZ

In diesem Abschnitt wird zunächst eine Abgrenzung zu Anwendungsgebieten und bereits existierenden Forschungsarbeiten präsentiert. Anschließend wird ein konkreter Handlungsbedarf auf Basis der im vorigen Unterabschnitt beschriebenen Probleme extrahiert. Hieraus entsteht ein dreistufiger Ansatz zur Erreichung der vorgestellten Ziele der Arbeit, der im weiteren Verlauf der Arbeit detailliert beschrieben und untersucht wird.

#### 1.3.1 *Abgrenzung zu existierenden Anwendungsgebieten und Forschungsarbeiten*

Da es weder möglich noch sinnvoll ist, einen Prozess für das Interaktionsdesign zu erstellen, der für alle interaktiven IT-Anwendungen geeignet ist, werden im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich Anwendungsfälle berücksichtigt,

- bei denen Daten visualisiert werden (zwei- oder dreidimensional) und mit diesen interagiert werden kann,
- bei denen natürliche Benutzungsschnittstellen für die Interaktion verwendet werden, deren technologische Realisierung in Abschnitt 3.2 und deren konzeptionelle Ansätze in Abschnitt 3.3 beschrieben werden,
- bei denen eine niedrige Instrumentierung auf Anwenderseite herrscht (Begriffsdefinition erfolgt in Abschnitt 2.2),
- bei denen mehrere Anwender gleichzeitig interagieren können, und
- die einen Arbeitsprozess unterstützen, wie zum Beispiel eine gemeinsame Entscheidungsfindung, ein Navigieren in Datensätzen oder eine Gestaltungsaufgabe.

Der vorgestellte Anwendungsbereich weist viele Überschneidungen zu Forschungsbereichen wie *Computer Supported Collaborative Work*, *Virtual Reality* und *interaktiven Displays* auf, ist in der Kombination der Eigenschaften aber durch keinen dieser Forschungsbereiche ausreichend abgedeckt. Es existieren jedoch zahlreiche vielversprechende, mehrwertschaffende Anwendungsszenarien. Daher ist für diesen Anwendungsbereich ein Ansatz in Anlehnung an existierende Ansätze aus diesen Bereichen sinnvoll, um künftig auf einfache Art und Weise Anwendungen mit hoher Gebrauchstauglichkeit zu erstellen.

In dieser Arbeit wird nur der Eingabeteil einer Interaktion, also die Interaktionstechnik (siehe Unterabschnitt 2.1.1), betrachtet. Die Ausgabe



oder auch die damit verbundenen Konzepte (zum Beispiels Shneidermans Visual Information Seeking Mantra [Shneiderman, 1996]) werden nicht berücksichtigt. Wie am Ende der Arbeit jedoch aufgezeigt wird, entstehen Anknüpfungspunkte, die motivieren das Vorgehen dorthingehend zu erweitern.

### 1.3.2 *Abgeleiteter Handlungsbedarf*

Es ist derzeit noch unklar, in welchen Szenarien und unter welchen Grundvoraussetzungen interaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen geeignet sind und wie diese Systeme idealerweise gestaltet werden sollen. Hier existiert Handlungsbedarf, um eine einfache Entwicklung von Systemen mit hoher Gebrauchstauglichkeit zu ermöglichen. Diese ist derzeit von den Erfahrungen involvierter Entwickler und Designer abhängig, insbesondere die Qualität eines Erstentwurfs beeinflusst den Entwicklungsprozess dramatisch, da von ihm die Anzahl der Entwicklungszyklen im Rahmen eines nutzerzentrierten Vorgehens abhängt. In diesem Unterabschnitt wird der konkrete Handlungsbedarf der Arbeit aufgezeigt. Es werden die existierenden Probleme identifiziert und hierzu im nachfolgenden Unterabschnitt ein Lösungsansatz aufgestellt, der aus drei Stufen besteht. Wie in Abschnitt 3.3 noch aufgezeigt wird, sind natürliche Benutzungsschnittstellen oftmals gut geeignet für interaktive Anwendungen. Zahlreiche Studien zu Interaktionstechniken haben jedoch gezeigt, dass es alternative Interaktionskonzepte für einen spezifischen Anwendungsfall geben kann, die gegebenenfalls bereits beim Entwurf zu berücksichtigen sind. Diese Studien beziehen sich immer auf einen konkreten Testfall, der sich durch eine Vielzahl von Charakteristika von anderen unterscheidet und sich nicht zwangsläufig auf andere Fälle übertragen lässt. Auch werden alle Studien nur bezüglich bestimmter weniger qualitativer Parameter untersucht, beispielsweise die Zeit, die für eine Interaktionsaufgabe benötigt wird. Beim Interaktionsdesign müssen also zunächst die Charakteristika der zu erstellenden Anwendung definiert und die wichtigen qualitativen Parameter festgelegt werden. Auch gehört zur ersten Aufgabe eines Interaktionsdesigners die Festlegung von Interaktionstasks, also von Aufgaben, die ein Anwender mit dem interaktiven System ausführen können soll, beziehungsweise muss. Hier zeigt sich eine entscheidende Parallele zur menschenzentrierten Gestaltung (vergleiche Abbildung 13 auf Seite 68), auch hier beginnt der Prozess mit der Analyse des Anwendungskontextes und dem Aufstellen der Anforderungen bezüglich des Anwenders. Dieses Thema wird bei der Produktentwicklung und Erstellung noch häufig ignoriert, da es an objektiven Kriterien zur Bewertung der Usability fehlt [Bevan and Curson, 1997]. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, diesen Zustand zu verbessern.

*Die Schwierigkeit  
des Auffindens von  
Forschungsergebnis-  
sen*

Wie bereits im vorhergehenden Unterabschnitt beschrieben wurde, sind existierende Studien und daraus resultierendes Design-Wissen nur schwer zu finden, da die zur Verfügung stehenden Suchparameter sich meist nicht auf die Interaktionsergebnisse beziehen. Als Beispiel sei hier der Artikel „*Understanding Multi-touch Manipulation for Surface Computing*“ genannt [North et al., 2009]. In diesem werden verschiedene Multitouch-Interaktionstechniken zum Sortieren von 2D Objekten auf einem Bildschirm untersucht und miteinander verglichen. Hierzu müssen von den Anwendern jeweils unterschiedlich viele Finger von einer oder von zwei Händen verwendet werden. Es wird das Nutzerverhalten, die Akzeptanz und Performanz der Techniken in einer Studie untersucht. Es handelt sich also für diesen konkreten Anwendungsfall um äußerst hilfreiche Ergebnisse.

Sucht nun ein Interaktionsdesigner oder Entwickler existierendes Design-Wissen für den Anwendungsfall des 2D Sortierens auf Multitouch-Bildschirmen, so ist unwahrscheinlich, dass er schnell auf diese Studie aufmerksam wird. Weder im Titel, noch in den im Artikel angegebenen Keywords „*Surface, Multi-touch, Gestures, Tabletop*“ ist angegeben, dass es sich um Interaktionstechniken für das Sortieren von 2D Objekten handelt. Da Titel und Keywords also nicht auf das Sortieren hindeuten, ist fraglich, ob der genannte Artikel bei einer zeitlich begrenzten Suche gefunden und als relevant eingestuft wird. Dieser Zustand zeigt die Notwendigkeit der Strukturierung von Design-Wissen auf, die ein einfacheres Auffinden von Forschungsergebnissen ermöglicht.

Sobald Design-Wissen strukturiert ist, können Teile der Struktur miteinander verglichen werden. Hierzu müssen auf Basis von Studien Bewertungskriterien für Interaktionstechniken gefunden werden. Gemäß Lecerof und Paterno gibt es wichtige Gründe für die Evaluierungen von Benutzungsschnittstellen. Hierzu gehört vor allem die Möglichkeit, alternative Interaktionsformen zu erforschen, um die bestmögliche Variante zu realisieren [Lecerof and Paterno, 1998]. Des Weiteren entsteht so die Möglichkeit, die Funktionalität des interaktiven Systems in der realen Welt zu erproben [Lecerof and Paterno, 1998]. Bewertungen von Interaktionstechniken oder von Komponenten dieser, bieten die Möglichkeit fundierte Entscheidungen zugunsten einer speziellen Interaktionstechnik zu treffen.

Aus dem hier beschriebenen Handlungsbedarf wird im folgenden Unterabschnitt ein dreistufiger Lösungsansatz erstellt.

### 1.3.3 Dreistufiger Lösungsansatz

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es, den Gestaltungsprozess beim Interaktionsdesign zu verbessern, so dass die Erstellung von Anwendungen mit hoher Gebrauchstauglichkeit erleichtert wird. Dieses Ziel

soll in einem dreistufigen Lösungsansatz erreicht werden, der nachfolgend beschrieben wird.

Die Problematik der Überführung von existierendem Design-Wissen in die Praxis soll verbessert werden, indem existierende Ergebnisse aus der Forschung verwendet werden, um einen strukturierten, einfachen und schnellen Prozess des Interaktionsdesigns zu ermöglichen. Auf Basis der aus Anwenderstudien extrahierten Gestaltungsrichtlinien wird daher ein kriteriengeleitetes Auswahlverfahren zum Interaktionsdesign für interaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen aufgestellt und evaluiert. Dabei werden existierende Ansätze des Interaktionsdesigns berücksichtigt und erweitert. Es wird eine Taxonomie von Interaktionstechniken für das spezifische Anwendungsgebiet aufgestellt, auf deren Basis unter Verwendung von Charakteristika ein Bewertungs- und Auswahlverfahren möglich ist. Im ersten Schritt wird dabei untersucht, inwieweit sich existierende Studienergebnisse in ein Evaluierungsschema übertragen lassen.

**Stufe 1:**

Ein Schema für eine Interaktionstaxonomie soll erstellt werden, mit dem sich alle natürlichen Interaktionstechniken strukturieren und darstellen lassen. Die Komponenten dieser Taxonomie sollen in Kombination mit qualitativen Parametern und Anwendungscharakteristika eine Bewertungsmöglichkeit auf Basis von Studien aus der Interaktionsforschung bieten.

Die innerhalb der Taxonomie heruntergebrochenen Interaktionstechniken sind für verschiedene, durch eine Menge an Charakteristika definierte Szenarien unterschiedlich gut geeignet. Anhand des aufzustellenden Bewertungsschemas soll daher ein Auswahlverfahren entwickelt werden, das für alle in Unterabschnitt 1.3.1 eingegrenzten Anwendungsfälle gültig ist. Dieses ist kriteriengeleitet, da es auf Basis von vorgegebenen Kriterien in Form von Charakteristika und qualitativen Parametern nach passenden Ergebnissen sucht.

**Stufe2:**

Es soll ein allgemeines Auswahlverfahren zur kriteriengeleiteten Erstellung von interaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen entwickelt werden, das für beliebige Anwendungsszenarien aus dem in dieser Arbeit untersuchten Anwendungsgebiet geeignet ist.

Dieses Auswahlverfahren wird im Verlauf dieser Arbeit exemplarisch erprobt und die Anwendbarkeit wird nachgewiesen. Anschließend wird die Möglichkeit der Erweiterung und damit eine allgemeine Anwendbarkeit des Ansatzes aufgezeigt. Das Verfahren kann als Werkzeug für Interaktionsdesigner und auch als Nachschlagewerk für Forscher verwendet werden. Dabei sollen Diskussionen zwischen Anwendern ermöglicht werden, um unterschiedliche Meinungen und

widersprüchliche Ergebnisse zu berücksichtigen.

Da unterschiedliche Anwendungsszenarien, Charakteristika und Interaktionstasks unterschiedliche technologische Anforderungen an ein koaktives System mit natürlichen Benutzungsschnittstellen stellen, soll des Weiteren untersucht werden, wie diesen bestmöglich begegnet werden kann. Dabei sollen alle in Abschnitt 3.2 beschriebenen Technologien einsetzbar sein und über ein gemeinsames Protokoll miteinander interagieren.

**Stufe 3:**

Es soll ein Technologie-Framework entwickelt werden, welches alle aus dem Auswahlverfahren resultierenden Anforderungen an ein koaktives System mit natürlichen Benutzungsschnittstellen adressiert und die Interaktionsdaten dem Entwickler gegenüber transparent zur Verfügung stellt. Durch die Verwendung wiederverwendbarer Softwarekomponenten kann dieses Framework als Testbed zum schnellen Entwurf und Testen von Interaktionstechniken verwendet werden.

*Zusammenfassung*

Zusammenfassend beschrieben soll in dieser Arbeit das Problem adressiert werden, dass es heterogene Konzepte zur Entwicklung von natürlichen Benutzungsschnittstellen gibt (siehe Abschnitt 3.2), dass unterschiedliche Anwendungsklassen existieren (wie durch verschiedene Anwendungsbeispiele in diesem Kapitel dargelegt) und es eine Vielzahl methodischer Ansätze des Interaktionsdesigns gibt (siehe Abschnitt 3.3). Hieraus resultiert ein unstrukturiertes Design-Wissen und Vorgehen beim Interaktionsdesign. Der in dieser Arbeit entwickelte Lösungsansatz besteht aus einem dreistufigen Verfahren in dem zunächst Interaktionstechniken in ein einheitliches Schema überführt werden. Komponenten der resultierenden Taxonomie werden in Kombination mit Anwendungscharakteristika bewertbar. Hierdurch ist es möglich, auf Basis der Bewertungen fundierte Entscheidungen zugunsten der verschiedenen sich bietenden Auswahlmöglichkeiten beim Interaktionsdesign zu treffen. Diese Arbeit enthält des Weiteren die Beschreibung der prototypischen Umsetzung des Lösungsansatzes. Mit diesen Prototypen lässt sich der Ansatz schließlich evaluieren. Bevor das Verfahren im Detail beschrieben wird, werden im nachfolgenden Kapitel zunächst erforderliche Grundlagen für den Kontext der Arbeit beschrieben, sowie die Motivation eigener Forschungsaktivitäten. In Kapitel 3 erfolgt anschließend eine Beschreibung des aktuellen Stands der Forschung.

## GRUNDLAGEN UND AUFNAHME EIGENER FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

---

In diesem Kapitel werden erforderliche Grundlagen für den Kontext der Arbeit beschrieben. Dazu werden verwendete Begriffe definiert und voneinander abgegrenzt. Zunächst werden die Grundlagen der Mensch-Maschine-Interaktion eingeführt, anschließend die besondere Form der natürlichen Benutzungsschnittstellen. Der dritte Abschnitt in diesem Kapitel fasst die wichtigsten Aussagen zusammen, beschreibt und begründet das Vorgehen in dieser Arbeit auf Basis eigener Forschungsaktivitäten und -ergebnisse.

## 2.1 GRUNDLAGEN DER MENSCH-COMPUTER-INTERAKTION

Die Interaktion mit Computern fand in den frühen 60er Jahren ausschließlich über Kommandozeilenwerkzeuge statt, mit denen der Anwender Befehle an einen Computer übermittelte und anschließend Textausgaben als Antwort erhielt, die für Laien meist unverständlich waren. Dieses simple Beispiel zeigt, dass die Interaktion mit einem Computer eine Form des Informationsaustausches ist. Für einen solchen Informationsaustausch war lange das Erlernen einer spezifischen Sprache erforderlich. Die Mensch-Computer-Interaktion (MCI)<sup>1</sup> kann folglich eine Form der Kommunikation oder Handlung sein, wobei nicht strikt zwischen diesen beiden Ausprägungen unterschieden werden muss [Herczeg, 2006]. Die Interaktion erfolgt bidirektional, da zunächst Befehle vom Anwender an den Computer übermittelt werden (Eingabe, englisch *Input*) und anschließend eine Rückmeldung (englisch *Feedback*) über den Bildschirm erfolgt (Ausgabe, englisch *Output*). Bei der MCI gibt es folglich einen Handlungs-, sowie einen Wahrnehmungsraum.

Auch heute besteht die Mensch-Computer-Interaktion noch immer aus diesen Grundelementen, sie erfolgt jedoch fortgeschrittener. Entwickler von Computerprogrammen und Betriebssystemen haben dafür gesorgt, dass die Befehle, die ein Anwender an den Computer sendet nicht mehr über komplizierte Texteingaben erfolgen müssen. Durch das Klicken grafischer Icons oder Textbeschreibungen können solche Befehle deutlich einfacher und auch von Laien durchgeführt werden. Durch ansprechende visuelle Darstellungen erfolgt die Ausgabe nicht mehr nur textlich, sondern auf Anwender und Anwendungsfall zugeschnitten.

### 2.1.1 Mensch-Computer-Interaktion

Abbildung 4 zeigt die Kernkomponenten einer Mensch-Computer-Interaktion. Komponenten können Hard-, oder Softwarekomponenten sein, aber auch konzeptionelle Realisierungen.

Die Abbildung zeigt, dass sowohl der Computer, als auch der Mensch und seine Umgebung Sender von Information sein können. Dabei kann die Information ein kurzes elektronisches Signal oder aber auch ein komplexer Datensatz sein. Der Begriff Information entspricht hier nicht dem, wie er in der menschlichen Kommunikation verwendet wird. Information von Mensch oder Umgebung wird über eine Sensorik (geht die Information direkt vom Menschen aus, spricht man von einem Eingabegerät) an den Computer übertragen. Dieser bedient sich eines Ausgabegerätes, beispielsweise eines Bildschirmes, um seinerseits Informationen an den Menschen zurückzusenden.

<sup>1</sup> Englisch Human-Computer-Interaction - HCI, im Deutschen auch Mensch-Maschine-Interaktion oder Mensch-Maschine-Wechselwirkung

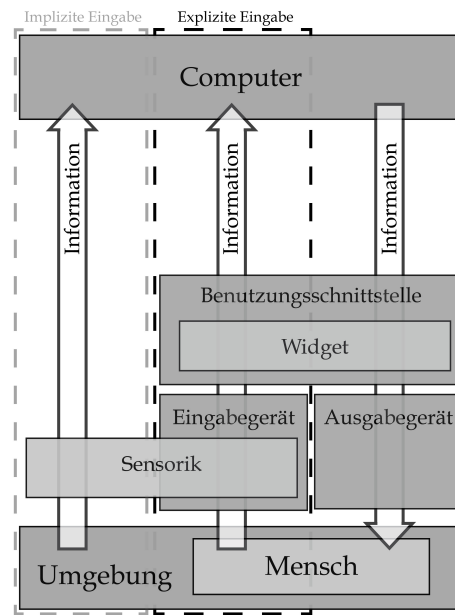


Abbildung 4: Komponenten der Mensch-Computer-Interaktion (eigene Abbildung)

Eine häufig verwendete Differenzierung unterscheidet explizite und implizite MCI (siehe explizite und implizite Eingabe in Abbildung 4). Die explizite Interaktion beschreibt dabei die bewusste Interaktion mit dem Computer durch den Menschen. Hier wird in der Regel ein hohes Maß an Aufmerksamkeit auf Benutzerseite verlangt. Die implizite Interaktion hingegen meint ein automatisches Reagieren des Computers auf äußere Einflüsse. Dieses hat unmittelbare Auswirkung auf die Interaktion mit dem Anwender. Beispiele sind die automatische Anpassung von Lautstärke oder Bildschirmhelligkeit während der Benutzung eines Computers. Die implizite Mensch-Computer-Interaktion findet sich daher vor allem in den Forschungsgebieten Context-Aware und Ubiquitous Computing wieder.

In dieser Arbeit werden natürliche Benutzungsschnittstellen untersucht, die zur expliziten MCI gehören, sowie solche Formen der impliziten Interaktion, die durch Körperbewegung des Anwenders verursacht werden. In vielen Virtual und Augmented Reality Szenarien verändert sich beispielsweise die Kameraperspektive automatisch bei Bewegung des Kopfes. Diese implizite Form der Interaktion ist wichtiger Bestandteil vieler natürlicher Benutzungsschnittstellen.

Die Schnittstelle, durch welche Information zwischen Mensch und Computer übertragen und gegebenenfalls übersetzt wird, nennt man Benutzungsschnittstelle (englisch *User Interface*). Prominentestes Beispiel ist das bereits erwähnte Graphical User Interface, welches sich der visuellen Wahrnehmungskraft des Menschen bedient und Eingabeoptionen grafisch darstellt, sowie die Ausgabe angemessen visualisiert. Des Weiteren sind jedoch auch auditive oder haptische Benutzungs-

schnittstellen verbreitet. Benutzungsschnittstellen verwenden oftmals sogenannte Widgets, die auf abstrakte Art und Weise helfen, Daten zu manipulieren und somit Befehle an den Computer zu senden. Hilfsmittel zum Bearbeiten grafischer 2D- oder 3D-Objekte sind prominente Beispiel solcher Widgets. Sie zeichnen sich durch ihre Einfachheit aus, sind aber nicht immer selbsterklärend und benötigen häufig einen expliziten Lernprozess. Metaphern können verwendet werden, um das Wiedererkennen von Funktionalität durch den Anwender zu erleichtern. Sie können auf Erfahrungen und Prozessen aus der physikalischen Realität basieren und symbolisieren durch Objekte oder Handlungsweisen die Funktion, die die Benutzungsschnittstelle anbietet. Die Schreibtisch- oder Papierkorb-Visualisierung aus vielen Desktop-Betriebssystemen ist ein Beispiel für eine solche Metapher. Auch das Verhalten von Grafikobjekten auf einem Touch-Bildschirm nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten bezeichnet man als Metapher. Metaphern und Widgets müssen nicht zwangsweise in jeder MCI enthalten sein und können in ihrer Ausprägung stark unterschiedlich sein.

Die Schnittstelle, über die Information zwischen Mensch und Computer übertragen wird, bezeichnet man als **Benutzungsschnittstelle** (englisch User Interface). Sie kann sowohl aus Hardware, als auch aus Softwarekomponenten bestehen. Ihre konzeptionelle Umsetzung kann Widgets und Metaphern verwenden, die die Benutzung und das Wiedererkennen von Funktionalität erleichtert.

Die Definitionen zur MCI in der Literatur gehen jedoch noch über die vorgestellten Komponenten hinaus und beinhalten abstrakte Vorgehensweisen und Modelle. Nach Hix und Hartson tritt die MCI immer dann auf, wenn ein menschlicher Anwender mit einem Computersystem Aufgaben lösen möchte [Hix and Hartson, 1993]. Hierbei ist neben den Benutzungsschnittstellen aus Hard- und Software auch Wissen aus der Psychologie und der Arbeitswissenschaft notwendig, um die Prozesse der Informationsaufnahme und der Reaktion des Menschen optimal verstehen und adressieren zu können. Es werden ein fundiertes Wissen über menschliche Faktoren, empirische Studien und Methodologien benötigt [Hix and Hartson, 1993].

*Interaktions-  
techniken und  
Gesten*

Der Begriff Interaktionstechnik wurde bereits zuvor ohne weitere Definition verwendet. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, entspricht der Begriff einer expliziten MCI mit allen abgebildeten Komponenten oder einer durch Körperbewegung verursachten impliziten MCI. Zur weiteren Verwendung ist es jedoch erforderlich, diesen Begriff, der die Verhaltensweise eines Menschen zur Übertragung von Information an einen Computer beschreibt, näher zu betrachten. Nach Bowman et al. beschreibt eine Interaktionstechnik eine Methode, die es einem Anwender erlaubt, eine Aufgabe mit einem Computer mit Hilfe einer Benutzungsschnittstelle zu erledigen [Bowman et al., 2004].



Dabei bietet die Benutzungsschnittstelle dem Anwender Möglichkeiten zur Verwendung an (sogenannte *Affordances*), kann aber auch gezielt Zwangsbedingungen enthalten (sogenannte *Constraints*), um die Erfüllung der Aufgabe effizient zu ermöglichen. Herndon et al. beschreiben eine (3D) Interaktionstechnik als aufgabenabhängige Ad-hoc Implementierung [Herndon et al., 1994]. Oftmals besteht dabei eine abstrakte Verbindung zwischen der menschlichen Aktion und der auszulösenden Computeraktion. Im Rahmen dieser Arbeit meint eine Interaktionstechnik eine Abfolge von Kleinstinteraktionen, die zusammen eine Geste bilden. Diese Abfolge wird über die Eingabensensorik des Computersystems erkannt und führt zu einer Aktion. Als Geste sei daher eine Körperbewegung bezeichnet, die Informationen beinhaltet [Kurtenbach and Hultheen, 1990]. Gesten können sehr kurze Bewegungsabfolgen (zum Beispiel das Berühren des Bildschirms mit der Fingerspitze) oder komplexere Bewegungsabläufe sein (zum Beispiel eine kreisförmige Bewegung mit der Hand in der Luft).

Eine **Interaktionstechnik** besteht aus Handlungsabfolgen, die zusammen eine Geste bilden. Sie resultiert in der Regel in einer Ausgabe. Gesten können explizite Eingaben sein, aber auch durch Körperbewegung verursachte implizite Eingaben.

**Gesten** sind Bewegungsabfolgen eines Anwenders, die sich in Komplexität und Dauer unterscheiden können.

### 2.1.2 Weitere verwandte Begriffe

Es gibt im Zusammenhang mit der MCI, Interaktionstechniken und Gesten eine Vielzahl verwandter Begriffe, die oft synonym verwendet werden, oder die eine besondere Ausprägung einer Interaktion beschreiben. Ein Beispiel für den zweiten Punkt sind 3D User Interfaces und 3D Interaktionstechniken, die die Interaktion in dreidimensional dargestellten Benutzungsschnittstellen beschreiben. Diese bringen besondere Anforderungen mit sich, da die eigentliche Visualisierung meist auf 2D Oberflächen (Bildschirmen) erfolgt und die Eingabe oft über Hardware erfolgt, die für 2D Benutzungsschnittstellen entwickelt wurde, zum Beispiel die Maus. In diesem Fall müssen die wenigen zur Verfügung stehenden Daten auf mehrere Dimensionen übertragen werden. Man bezeichnet daher die Anzahl der Werte, die mit einem Eingabegerät unabhängig voneinander verändert werden können, als Freiheitsgrade (englisch *Degrees of Freedom*, DOF). Eine Computermaus erlaubt die Veränderung von x- und y-Position, verfügt daher über zwei Freiheitsgrade. Eine 3D Benutzungsschnittstelle kann beispielsweise die Manipulation von sechs Freiheitsgraden eines Grafikobjektes ermöglichen (x-, y- und z-Position, sowie x-, y- und z-Rotation). Hier wird ersichtlich, dass die Übertragung der Werte

nicht eins-zu-eins erfolgen kann, da ansonsten nicht alle Freiheitsgrade bedient werden können.

Um solche Herausforderungen zu bewältigen sind daher besonders gute Metaphern erforderlich, die den Anwendern helfen, ihre Erfahrungen und Aktionen in der realen Welt in die synthetische Welt des Computers zu übertragen [Herndon et al., 1994]. Im genannten Beispiel ist der getrennte Handlungs- und Wahrnehmungsraum von Nachteil, da Computermaus und 3D-Bildschirmvisualisierung zusammenhangslos sind. Fortgeschrittenere Interaktionstechnologien aus dem Forschungsgebiet Virtuelle Realität (englisch *Virtual Reality*, VR) oder auch Multitouch und (be-)greifbare Interaktion können hier vorteilhaft sein, da Wahrnehmungs- und Handlungsraum verschmelzen. Auf diese Technologien und die entstehenden Vorteile wird im weiteren Verlauf der Arbeit noch gezielt eingegangen.

#### Usability

Usability, im Deutschen häufig mit Gebrauchstauglichkeit übersetzt, beschreibt das „Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ [9241-210, 2010]. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der englische Begriff verwendet. Gute Usability zeichnet sich dabei vor allem durch Effektivität und Effizienz<sup>2</sup> bei der Verwendung einer Benutzungsschnittstelle aus. Auch die Intuitivität ist ein häufig in diesem Zusammenhang verwendeter und kontrovers diskutierter Begriff. Unter Intuitivität sei im Rahmen dieser Arbeit eine Verwendung einer Benutzungsschnittstelle mit sehr geringem Lernaufwand und geringer Erfahrung verstanden. Usability ist Teil der nicht-funktionalen Anforderungen im Rahmen des Software-Engineering und wird als diejenige Anforderung mit dem größten Einfluss auf die Akzeptanz beim Endverbraucher angesehen [Cysneiros et al., 2005]. Dennoch wird das Thema bei der Produktentwicklung und Erstellung noch häufig ignoriert, da es an objektiven Kriterien zur Bewertung der Usability fehlt [Bevan and Curson, 1997].

Während der Begriff Usability im Zusammenhang mit interaktiven Systemen schon viele Jahre existiert, ist in den letzten Jahren auch vermehrt von *User Experience* gesprochen und geschrieben worden. User Experience meint eine Erfahrung, die der Anwender macht und die durch Technologie erzeugt wird [Hassenzahl, 2013]. Es geht dabei nicht um das industrielle Design, sondern über das materielle Produkt hinaus, in dem eine Erfahrung durch ein Gerät erzeugt wird [Hassenzahl, 2013]. Effektivität und Effizienz spielen hierbei nicht notwendigerweise eine Rolle. Jedoch ist es vom zu entwickelnden Produkt abhängig, ob auf die User Experience oder eher auf die klassische Usability Wert gelegt werden sollte.

<sup>2</sup> Die Begriffe Effektivität und Effizienz werden oft synonym verwendet und bezeichnen meist die Wirksamkeit einer Aktion. Die Effizienz bezieht dabei jedoch noch den zur Wirksamkeit notwendigen Aufwand mit in Betracht, steht also auch synonym für die erforderliche Leistung oder Wirtschaftlichkeit.

Die Disziplin des Usability Engineering betrachtet den gesamten Prozess einer Produktentwicklung. Hierbei wird versucht, regelmäßig vor und während der Produktion die künftige Gebrauchstauglichkeit zu testen, um frühstmöglich gegensteuern zu können, falls sich Aspekte als ungünstig für die Usability herausstellen.

Nebe beschreibt in seiner Dissertation, wie der Prozess des Usability Engineering in das *Software Engineering* integriert werden kann. Das Ergebnis ist ein systematisch planbares Vorgehen beim Software Engineering, das relevante Anknüpfungspunkte zum Usability Engineering beinhaltet und somit in der Lage ist während der Softwareentwicklung auch stets die Usability des Endproduktes zu berücksichtigen [Nebe, 2009].

Unter dem Begriff **Interaktionsdesign** versteht man den gesamten Gestaltungsprozess eines interaktiven Systems mit dem Fokus auf Interaktionstechniken und dem Ziel einer guten Usability.

Eng verwandt mit dem Usability Engineering ist das Interaktionsdesign. Dabei geht es um die Gestaltung interaktiver Systeme mit dem Fokus auf Interaktionstechniken mit dem Ziel einer guten Usability [Lowgren, 2013]. Das Interaktionsdesign kann daher als Teil des Usability Engineering angesehen werden. Beim Usability Engineering werden jedoch noch weitere Aspekte neben den Interaktionstechniken betrachtet, beispielsweise der allgemeine Dialogablauf einer Anwendung oder die Ergonomie des Gesamtsystems. Auf das Interaktionsdesign wird in Abschnitt 3.4 detailliert eingegangen.

Im Rahmen des Interaktionsdesigns werden mit der Entstehung neuer technologischer Möglichkeiten stets die Vor- und Nachteile neuartiger Interaktionstechniken untersucht. In letzter Zeit waren vor allem die sogenannten natürlichen Benutzungsschnittstellen von Interesse, die im nachfolgenden Abschnitt beschrieben werden.

*Interaktionsdesign*

## 2.2 GRUNDLAGEN NATÜRLICHER BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN

Natürliche Benutzungsschnittstellen (englisch *Natural User Interface*, NUI) gehören zu den POST-WIMP Interfaces, die im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden. Die Definitionen in der Literatur unterscheiden sich dabei teilweise in der Ausprägung der Natürlichkeit einer Benutzungsschnittstelle.

Oft wird die Ähnlichkeit zu Interaktionen in der physikalischen Realität für die Definition einer natürlichen Mensch-Computer-Interaktion aufgeführt. Solche Techniken, in der Literatur häufig nach Jacob et al. als *Reality Based Interaction* [Jacob et al., 2008] bezeichnet, gehören zweifelsohne zu den POST-WIMP Interfaces und verfügen über ein hohes Maß an Natürlichkeit. „Sie nutzen Themen der Realität, wie z.B. das Verständnis eines Nutzers von natürlicher Physik [...], des eigenen Körpers, der Umgebung, sowie anderer Personen. Sie versuchen dabei, die Mensch-Computer-Interaktion mehr wie die Interaktion mit der realen, nicht-digitalen Welt, zu gestalten. [...] Diese Interaktion reduziert oft den *Gulf of Execution*, die Differenz zwischen den Aktionszielen eines Nutzers und den zur Verfügung stehenden Mitteln, diese Ziele auszuführen“ [Jacob et al., 2008].

Bowman unterscheidet zwei spezifische Ausprägungen der natürlichen Benutzungsschnittstellen: Solche, die auf direkter physikalischer Berührung basieren und solche, die auf einer dreidimensionalen räumlichen Eingabe basieren [Bowman, 2013]. Auch wenn die reale physikalische Welt durch den Menschen visuell dreidimensional wahrgenommen wird, ist dies nicht zwingend für natürliche Benutzungsschnittstellen erforderlich. Aktuelle Trends der mobilen Benutzungsschnittstellen bei Smartphones gehen beispielsweise zurück zur flachen, zweidimensionalen Gestaltung. Da sie über berührungsempfindliche Bildschirme verfügen, erfüllen sie demnach den ersten Punkt der Differenzierung nach Bowman und gehören ebenfalls zu den natürlichen Benutzungsschnittstellen.

Natürlichkeit vs.  
Realität

Es ist jedoch nicht immer die beste Entscheidung, Schnittstellen anhand physikalischer Gesetzmäßigkeiten zu gestalten und die Affordances und Constraints aus der physikalischen Realität zu übernehmen. Oftmals sind magische, physikalisch unmögliche Interaktionen deutlich vorteilhafter für die MCI. Und dennoch lassen sie sich als natürlich bezeichnen, da sie bekannte Metaphern verwenden, leicht verständliche Widgets anbieten oder auf bekannte Techniken der Mensch-Computer-Interaktion aufbauen. Bowman beschreibt dies in einem Beispiel aus der Stadtplanung, in dem in einer 3D Umgebung Gebäude entfernt werden [Bowman, 2013]. Dies kann einfach über ein Icon oder eine Geste erfolgen, was in der physikalischen Realität unmöglich ist. Näher an der Realität wären virtuelle Bagger, die das Gebäude abreißen. Dies würde jedoch der Effizienz der Benutzungsschnittstelle widersprechen. Auch die Fähigkeiten, die physikalische Erreichbarkeit

von Objekten entgegen der physikalischen Realität zu vergrößern, wie bei der dreidimensionalen Go-Go Technik [Bowman and Hodges, 1997], ist ein gutes Beispiel für natürliche Benutzungsschnittstellen, die nicht realitätsbasiert sind. Multitouch-Techniken, die virtuelle Papierdokumente oder Fotos durch Auseinanderziehen vergrößern, sind ein Beispiel aus der zweidimensionalen Welt. Sind all diese Interaktionen zwar physikalisch unmöglich, so basieren sie dennoch auf bekannten Interaktionsparadigmen. Im ersten Beispiel auf bekannten Interaktionsformen der Mensch-Computer-Interaktion und im zweiten und dritten Beispiel auf bekannten Materialeigenschaften aus der Realität, die jedoch an Körpern verwendet werden, an denen sie in der Realität nicht vorhanden sind.

Bei natürlichen Benutzungsschnittstellen verschmelzen Handlungs- und Wahrnehmungsraum. Oftmals werden sie daher auch als unsichtbare Schnittstellen bezeichnet [Wigdor and Wixon, 2011]. Da zuvor bereits visuelle Widgets beschrieben wurden, die bei natürlichen Benutzungsschnittstellen ebenfalls vorhanden sein können, passt diese Definition jedoch nicht immer. Ein weiterer wichtiger Faktor ist eine niedrige Instrumentierung, da ein hoher Installationsaufwand einer natürlichen Benutzung widersprechen würde. Nachfolgend wird eine für diese Arbeit gültige Definition einer natürlichen Benutzungsschnittstelle vorgestellt, die auf den beschriebenen Definitionen und Abgrenzungen basiert.

Eine **natürliche Benutzungsschnittstelle** ist entlang der physikalischen Realität gestaltet, in dem sie die menschliche Wahrnehmung gemäß dieser anspricht. Es können jedoch auch Erfahrungen aus der Mensch-Computer-Interaktion oder aus anderen Bereichen der physikalischen Realität mit eingebunden werden ohne die Natürlichkeit zu zerstören. Natürliche Benutzungsschnittstellen sind ad-hoc verwendbar, sie verfügen über ein sehr geringes Maß an Instrumentierung. Bei ihnen verschmelzen Handlungs- und Wahrnehmungsraum.

**Instrumentierung** beschreibt im Rahmen dieser Arbeit, wie viel technologischer Aufwand betrieben werden muss, um ein System zu bedienen. Dazu gehören das Anlegen von Technik am Anwender, sowie erforderliche Konfiguration und Kalibrierung.

Viele fortgeschrittene Interaktionsformen sind indirekt. Beispielsweise wenn mit einer Computermaus (zwei Freiheitsgrade) ein dreidimensionales Objekt positioniert und rotiert werden soll (sechs Freiheitsgrade), dann müssen abstrakte Hilfsmittel für die Übertragung der Hardware-Sensorwerte an den Computer sorgen. Das 3D-Objekt bewegt und dreht sich nicht genau so, wie es die Maus tut, also liegt eine indirekte Interaktion vor. Für die Natürlichkeit einer Benutzungsschnittstelle ist

*Direktheit und  
Intuitivität*

die Direktheit ein wichtiges Kriterium. Verhalten sich Grafikobjekte so, wie es die Eingabegeräte beziehungsweise die Körperteile des Anwenders tun, so herrscht automatisch ein hohes Maß an Natürlichkeit. Das in der Definition erwähnte reale Ansprechen der menschlichen Wahrnehmung gilt gleichermaßen für die Eingabe in das System, also für die Sensorik und somit Wahrnehmung des Computers.

Die Intuitivität einer Benutzungsschnittstelle wurde bereits durch eine Lernphase und geringen Lernaufwand beschrieben. Für natürliche Benutzungsschnittstellen ist zwar eine ad-hoc Benutzbarkeit erforderlich, die Intuitivität muss aber gemäß dieser Definition nicht zwangsläufig in hohem Maße gegeben sein. Wenn beispielsweise eine kurze Lernphase zu Beginn zu einer signifikanten Performanzsteigerung in der MCI führt, so ist dies als positiv und auch praktikabel zu bezeichnen [Bowman, 2013], ohne dass es die Natürlichkeit der Benutzungsschnittstelle zerstört.

### 2.2.1 Benutzungsschnittstellen aus VR und MR

Viele der angesprochenen Eigenschaften und Vorteile natürlicher Benutzungsschnittstellen haben auch für dreidimensionale Benutzungsschnittstellen, wie sie in *Virtual und Mixed Reality* (VR / MR) eingesetzt werden, Gültigkeit. Insbesondere Erkenntnisse zur direkten Interaktion und zur haptischen Wahrnehmung entstammen zu großen Teilen diesen Forschungsrichtungen. Da in VR und MR bereits seit deutlich längerer Zeit geforscht wird (bereits in den 80er Jahren wurde intensiv an der technologischen Realisierung gearbeitet), als bei den natürlichen Benutzungsschnittstellen, existiert hier bereits eine große Menge an gestalterischem Wissen, das auch für die natürlichen Benutzungsschnittstellen und somit für die vorliegende Arbeit relevant ist. Der entscheidende Unterschied zu natürlichen Benutzungsschnittstellen ist zum einen die Instrumentierung, die in der VR durch *Head Mounted Displays*<sup>3</sup>, Tracking-Installationen und komplexe Eingabegeräte sehr hoch ist. Zum Anderen werden in der VR ausschließlich dreidimensionale grafische Benutzungsschnittstellen verwendet, während die Dimensionen der visuellen Ausgabe bei natürlichen Benutzungsschnittstellen beliebig sein können. Für MR gelten die größtenteils auch, obwohl sich bei MR auch zweidimensionale Schnittstellen und durch mobile Anwendungen, zum Beispiel auf dem Smartphone, auch sehr niedrige Instrumentierungen wiederfinden. MR kann also in bestimmten Ausprägungen natürliche Benutzungsschnittstellen gemäß der hier geltenden Definition anbieten.

---

<sup>3</sup> Am Kopf befestigte, sich unmittelbar vor den Augen befindliche Bildschirme.

### 2.2.2 Beispiele für natürliche Benutzungsschnittstellen

Es wurden im Verlauf dieses Kapitels bereits einige Beispiele für natürliche Benutzungsschnittstellen gegeben. Eine Benutzungsschnittstelle setzt sich laut Definition sowohl aus Hard-, als auch aus Softwarerekomponenten zusammen. Daher lässt sich weder eine bestimmte Technologie noch eine bestimmte Informationsvisualisierung bei der Interaktion als als per se natürlich bezeichnen. Erst das Zusammenspiel und die Erfüllung der Kriterien laut Definition (Seite 23) ermöglichen dies.

Dennoch gibt es prominente Vertreter und Forschungsdisziplinen, die in diesem Zusammenhang immer wieder genannt werden. Dazu gehören Multitouch und die (be-)greifbare Interaktion. Beide Technologien ermöglichen das reale Berühren und Ertasten der Benutzungsschnittstelle durch den Bildschirm oder andere physikalische Objekte, deren Bewegung vom Computer registriert wird. Die Verschmelzung von Handlungs- und Wahrnehmungsraum, von Ein- und Ausgabe, resultieren bei beiden Technologien in einem hohen Maß an Direktheit. Auch bei Hand-, Arm- oder Ganzkörpergesten herrscht oft eine solche Direktheit. Alle genannten Technologien eignen sich auch, um Benutzungsschnittstellen zu entwerfen, die von mehreren Personen gleichzeitig verwendet werden und somit beispielsweise von Anwendungen im Bereich des *Computer Supported Collaborative Work* (CSCW) eingesetzt werden können. Auf solche Benutzungsschnittstellen wird in Abschnitt 3.1 detailliert eingegangen, da sie im Rahmen dieser Arbeit mit berücksichtigt werden sollen.

In den letzten Jahren wurden des Weiteren viele prototypische Interaktionstechniken und Visualisierungsformen erschaffen, deren wissenschaftliche Untersuchungen auf eine effektivere oder intuitivere Bedienbarkeit hindeuten als dies bei klassische Formen der MCI der Fall ist. Dennoch haben es wenige dieser Interaktionsformen bereits in reale Produkte auf den Massenmarkt geschafft (beispielsweise die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Interaktionstechniken in Anhang D). Dies liegt zum Einen daran, dass sie für einen sehr speziellen Anwendungsfall konzipiert wurden oder für einen Anwendungskontext, der bei den meisten Produkten zu selten auftritt. Weitere Gründe sind, dass solche Forschungsergebnisse von der Wirtschaft kaum zugänglich sind. Dieser Punkt soll in dieser Arbeit besonders adressiert werden indem existierendes Design-Wissen zu natürlichen Benutzungsschnittstellen einfacher zugänglich gemacht wird.

### 2.3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUFNAHME EIGENER FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

In den beiden vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels wurde eine Einführung in die MCI und in die natürlichen Benutzungsschnittstellen im Speziellen gegeben. Es wurden für den Kontext dieser Arbeit relevante Begriffe definiert und voneinander abgegrenzt. Es wurde aufgezeigt, dass es zahlreiche wichtige Forschungsfelder und -aktivitäten rund um natürliche Benutzungsschnittstellen gibt, es jedoch für Interaktionsdesigner und Entwickler schwierig ist, existierendes Design-Wissen aufzufinden und anzuwenden.

Die Entstehung der vorliegenden Arbeit geht auf Studien im Bereich der 3D-Interaktion mit natürlichen Benutzungsschnittstellen zurück. Insbesondere wurden Multitouch-, (be-)greifbare und Körpergesten-Interaktionen untersucht, häufig wurden Szenarien betrachtet, bei denen mehrere Personen gleichzeitig mit einem System interagieren. Einige dieser Studien und die resultierenden Ergebnisse befinden sich in Anhang A, die technischen Realisierungen sind in Kapitel 5 beschrieben. Aus diesen Studien, sowie aus in wissenschaftlichen Publikationen festgehaltenen Ergebnissen Dritter, entstand die Forschungsfrage, wie das Design-Wissen aus diesen Ergebnissen strukturiert und einfach zugänglich gemacht werden kann. Bevor der in Unterabschnitt 1.3.2 skizzierte Ansatz hierzu im Detail beschrieben wird, wird im folgenden Kapitel noch tiefer auf den aktuellen Stand der Forschung im Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen eingegangen, um ein besseres Verständnis der Konzepte und Technologien zu vermitteln. Es werden Grundlagen dieser Schnittstellen beschrieben, um daraus den konkreten Handlungsbedarf weiter zu begründen.



## STAND DER FORSCHUNG

---

Bisher wurden einleitend die Vorteile und die Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion hin zu natürlichen Benutzungsschnittstellen beschrieben. In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Forschung in den relevanten Gebieten dargestellt. Hierzu zählt zunächst kollaboratives, IT-gestütztes Arbeiten, welches oftmals durch natürliche Benutzungsschnittstellen positiv beeinflusst werden kann. Des Weiteren werden domänenunabhängige Technologien und Konzepte für natürliche Benutzungsschnittstellen mit zwei- und dreidimensionalen Repräsentationen sowie Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns vorgestellt. Es wird dabei gezeigt, dass der Großteil der existierenden Arbeiten Einzelnutzerszenarien betrachtet und jeweils sehr spezifische Anwendungsbereiche untersucht.

Abschließend wird in diesem Kapitel erneut der existierende Handlungsbedarf aufgezeigt und mit den Resultaten aus dem Stand der Forschung weiter untermauert.

### 3.1 KOAKTIVES, IT-GESTÜTZTES ARBEITEN

IT-Systeme sind schon lange keine Einzelbenutzer-Werkzeuge mehr. Im Zuge zunehmender Vernetzung gewann auch das Forschungsgebiet CSCW - *Computer Supported Collaborative Work* zunehmend an Bedeutung. Resultierende Computersysteme sind in der Lage, Gruppen in ihren Arbeitsprozessen zu unterstützen sofern sie angemessen bezüglich ihrer Aufgabe und den Anwendern gestaltet werden. Auch hat sich gezeigt, dass natürliche Benutzungsschnittstellen für CSCW-Anwendungen entscheidende Vorteile mit sich bringen können. In diesem Kapitel werden die historische Entwicklung, Einsatzgebiete und Grenzen von CSCW beschrieben. Dabei werden vor allem die Bereiche betrachtet, die Anknüpfungspunkte zum Themengebiet dieser Arbeit aufweisen. Viele weitere Aspekte des Forschungsgebietes CSCW werden nicht oder nur am Rande beschrieben. Ferner werden die Begriffe Koaktivität und Awareness eingeführt und definiert. Abschließend werden Vorteile und erste Gestaltungsrichtlinien für koaktive IT-Systeme, die natürliche Benutzungsschnittstellen verwenden, geschildert.

#### 3.1.1 *Computer Supported Collaborative Work*

Um das Themengebiet Computer Supported Collaborative Work (CSCW) hat sich seit fast drei Jahrzehnten eine Interessengemeinschaft aus Verhaltensforschern und System-Entwicklern gebildet. Ziel der Forschungsaktivitäten ist es, ein besseres Verständnis vom Verhalten einer Arbeitsgruppe und von der zu verwendenden Technologie zu erlangen [Grudin and Poltrock, 2012]. Eine Arbeitsgruppe kann dabei aus wenigen Einzelpersonen bestehen, aber auch ein sehr großes Team sein. Die Technologie beinhaltet vor allem Netzwerklösungen, wie Nachrichtenaustausch, Video- und Audiokonferenzsysteme, Dokumentenmanagementsysteme, soziale Netzwerke oder auch verteilte virtuelle Welten. Es wird allgemein zwischen Echtzeit-Kollaboration und asynchroner Kollaboration unterschieden [Grudin and Poltrock, 2012], die jeweils technologische Herausforderungen mit sich bringen. In beiden Fällen ist die Zielgruppe geografisch verteilt. Es geht beim CSCW vorrangig um Netzwerklösungen, die eine Kollaboration verteilter Personen mit je einem eigenen Endgerät ermöglicht. Kollaborative Arbeitsszenarien, bei denen mehrere Personen gleichzeitig am selben Ort und mit denselben Endgeräten arbeiten, werden eher selten als CSCW-Anwendung kategorisiert. In diesem Abschnitt werden die geschichtliche Entwicklung, die Einsatzgebiete sowie die Grenzen von CSCW dargestellt.

*Geschichtliche  
Entwicklung*

Der Begriff CSCW wurde 1984 von Greif und Cashman erstmals für einen Workshop verwendet. Zunächst standen Netzwerke von Computern im Mittelpunkt sowie auf diese Technologie aufbauende

Konzepte der Kollaboration und des Informationsaustausches. Für die entstehenden Softwarelösungen wurde auch der Begriff *Groupware* verwendet. Nach anfänglicher Technik-Fokussierung wurden Aspekte des Gruppenverhaltens intensiver Forschungsgegenstand. McGrath definierte 1991 die drei Basis-Funktionen und Ziele bei CSCW: "*Production, Team Well Being and Member Support*" [McGrath, 1991]. 1994 stellten Greenberg und Marwood wichtige technische Aspekte des netzwerkbasierenden Informationsaustausch auf [Greenberg and Marwood, 1994]. So schilderten sie insbesondere Probleme, die durch Zeitverzögerungen auftreten, die gleichzeitige Zugriffe auf Daten durch mehrere Personen verursachen (*Concurrency Control*), sowie tolerierbare Darstellungsunterschiede von Daten bei verschiedenen Benutzern. Seit Kurzem stellen vor allem schnellere Netze und größer werdende Datenmengen die Entwickler von CSCW-Systemen vor große Herausforderungen, da diese Daten in Echtzeit interpretiert, verteilt und gespeichert werden müssen. Neben Sicherheit und Transparenz gilt es auch neue Endgeräte, insbesondere mobile, zu berücksichtigen, die neue Formen der HCI mit sich bringen.

IT-Systeme, die CSCW ermöglichen, finden überall dort Anwendung, wo Arbeitsgruppen gemeinsam Informationen austauschen, Datenbestände editieren oder Probleme lösen müssen. Jankowsky et al. stellten 1997 beispielsweise ein GIS<sup>1</sup>-Werkzeug vor, das bei der Entscheidungsfindung in Arbeitsgruppen helfen soll, wobei der Fokus auf eine geeignete Visualisierung und übersichtliche Arbeitsabläufe gelegt wurde [Jankowski et al., 1997]. In selbiger Arbeit werden auch die potenziellen Anwendungsgebiete kooperatives Planen, Produktentwicklung und die Erstellung von Marktstrategien diskutiert. Komplexere Interaktions- und Visualisierungsmöglichkeiten werden von Schafer und Bowman in ihrem Ansatz zu *Spatial Collaboration* beschrieben [Schafer and Bowman, 2005]. *Spatial Collaboration* adressiert die Unterstützung mehrerer Akteure beim Problemlösen in einer verteilten virtuellen Welt. Ein weiteres Themenfeld von CSCW sind *Distributed User Interfaces*, die insbesondere in Verbindung mit mobilen Endgeräten ihren Einsatz finden und eine Systemkontrolle durch unterschiedliche verteilte Endgeräte ermöglichen. Auch hier gilt es zukünftig Fragen der Zugriffsrechte und der Informationstransparenz zu beantworten.

Isenberg et al. weisen darauf hin, dass neben geographisch verteilten CSCW-Systemen, auch das *Co-Located Collaborative Problem Solving*, also das gemeinsame Lösen eines Problems an einem Ort, von großer Bedeutung ist [Isenberg et al., 2012]. Dabei gilt es zu eruieren, wie eine erfolgreiche IT-Unterstützung in solchen Fällen aussehen kann. Hiltz et al. stellten bereits 1986 für ein verteiltes Szenario mit Textnachrichten fest, dass eine Face-to-Face Kommunikation am selben Ort nicht einfach durch IT-Systeme ersetzt werden kann [Hiltz et al., 1986].

Einsatzgebiete von  
CSCW

Berücksichtigung  
ko-lokaler Entschei-  
dungsprozesse

1 GIS = Geoinformationssystem, englisch Geographical Information System

Verbale Kommunikation ist für ein gemeinsames Problemlösen und gemeinsames Arbeiten an Datenbeständen äußerst wichtig [Isenberg et al., 2012] und wird auch von den Akteuren gegenüber IT-basierten Lösungen bevorzugt [Chin Jr. et al., 2009]. In ko-lokalen Entscheidungsprozessen ist daher stets auf eine optimale Unterstützung der verbalen Kommunikation zwischen den Anwendern zu achten. Des Weiteren sind nicht alle Arbeitsabläufe besser, wenn sie in der Gruppe bewältigt werden. So ist es oftmals sinnvoller, kreative Aufgaben zunächst durch Einzelpersonen bearbeiten zu lassen, um sicherzustellen, dass sich alle Mitglieder der Arbeitsgruppe an der Ideenfindung beteiligen [Stangor, 2004]. Hier spielen auch soziale Aspekte und Hierarchien in einer Arbeitsgruppe eine entscheidende Rolle, die es zu berücksichtigen gilt.

Beurteilung der  
existierenden CSCW  
Aktivitäten

Da sich die meisten Aktivitäten aus dem Bereich CSCW auf vernetzte Einzelarbeitsplätze sowie klassische Endgeräte mit einfachen WIMP-Interfaces beziehen, lassen sich kaum Ergebnisse für den Anwendungsbereich der ko-lokalen Entscheidungsfindung sowie der Interaktion mit natürlichen Benutzungsschnittstellen aus diesen extrahieren. Es muss daher erst noch spezifischer untersucht werden, welche Aspekte für derartige interaktive Anwendungen berücksichtigt werden müssen. Arbeiten, die in der jüngeren Vergangenheit im Themenfeld der Interaktion mit großflächigen Bildschirmen getätigt wurden, weisen viele Gemeinsamkeiten zu den Aktivitäten der CSCW-Forschung auf. Diese beinhalten Ansätze für Gestaltungsrichtlinien, die für den Kontext dieser Arbeit relevant sind und in Unterabschnitt 3.1.4 vorgestellt werden. Bestimmte kollaborative Arbeitsprozesse, die auch natürliche Benutzungsschnittstellen für ko-lokale Arbeitsumgebungen anbieten können, werden im Folgenden als *koaktiv* bezeichnet.

### 3.1.2 Koaktivität

CSCW-Systeme erlauben eine Kollaboration, Kooperation und Kommunikation verschiedener Mitglieder einer Arbeitsgruppe. Sie haben aber vor allem durch Netzwerke verbundene, verteilte Anwender als Zielgruppe. Ko-lokale Anwendungsszenarien, bei denen mehrere Personen am selben Ort interagieren, werden seltener betrachtet. In diesem Unterabschnitt werden für das Themengebiet CSCW relevante Begriffe vorgestellt und voneinander abgegrenzt.

Kollaboration und  
Kooperation

Das Präfix *Ko* "drückt in Bildungen mit Substantiven, Adjektiven und Verben ein partnerschaftliches Verhältnis, ein Mit- oder ein Nebeneinander aus" [Duden, 2012]. Gängige Bezeichnungen für ein gemeinsames Vorgehen, eine gemeinsame Arbeit oder einen gemeinsamen Prozess sind Kollaboration und Kooperation. Kollaboration ist ein militärisch geprägter Begriff, der eine Zusammenarbeit mit einem Kriegsgegner bezeichnet, auch wenn diese gegen die Interessen des eigenen Landes gerichtet ist [Duden, 2012]. Die Kooperation hingegen be-

schreibt im klassischen Wortsinne eine wirtschaftliche und politische Zusammenarbeit [Duden, 2012], wurde aber auch auf das allgemeine Zusammenwirken von Lebewesen, Personen oder Systemen übertragen. Beide Begriffe werden in der deutschen Sprache oft synonym verwendet und meinen eine Zusammenarbeit mehrerer Akteure, die ein gemeinsames Ziel hat, welches nur durch Beteiligung aller Akteure zu erreichen ist. Akteure können dabei Lebewesen, Computer oder Gruppen aus Lebewesen und Computern sein. Von allen Akteuren ist für eine Zusammenarbeit Arbeitsaufwand, bei Lebewesen oft auch Kreativität erforderlich um das gemeinsame Ziel zu erreichen.

Der Begriff *Koaktivität* findet sich in der Literatur im Gegensatz zu Kollaboration oder Kooperation verhältnismäßig selten. Keil und Selke beschreiben Koaktivität folgendermaßen: *"we summarize the different forms of communication, cooperation, collaboration, coordination, etc. under the term co-active use."* [Keil and Selke, 2011]. Hierbei ist nicht entscheidend, ob das vorliegende Szenario eine Kommunikation, Kooperation, Kollaboration oder Koordination beinhaltet. Sofern eine dieser Ausprägungen in Kombination mit einer interaktiven Anwendung vorliegt, liegt Koaktivität vor.

Auf dieser Definition aufbauend und für den Kontext der vorliegenden

Der Begriff  
*Koaktivität*

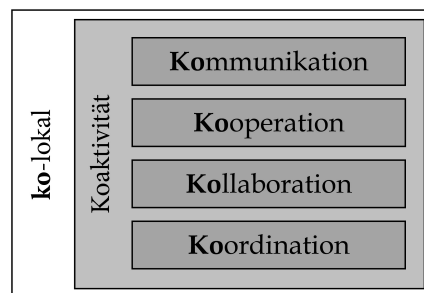


Abbildung 5: Definition der Koaktivität

Arbeit auf Interaktionen an einem gemeinsamen Ort bezogen, wird mit Koaktivität im weiteren Verlauf eine **ko-lokale Kommunikation**, **Kooperation**, **Kollaboration** oder **Koordination** in einer interaktiven Arbeitsumgebung mit einem gemeinsamen Ziel bezeichnet. Das Ziel wird durch einen Prozess erreicht. Dieser kann eine gemeinsame Entscheidungsfindung oder das Erzeugen eines vorher nicht näher definierten Endzustandes sein. Die Einschränkung ko-lokal meint nicht nur die physikalische Präsenz der Beteiligten am selben Ort, sondern die Tatsache, dass alle Akteure denselben Handlungs- und Wahrnehmungsraum bezogen auf die zwischenmenschliche Kommunikation und Interaktion sowie auf die HCI haben. Da sich bei ko-lokalen Anwendungen aber unterschiedliche Wahrnehmungseffekte in Abhängigkeit der Positionen und Personenanzahl ergeben können, ist dieser Punkt bei der Gestaltung zu berücksichtigen.

**Koaktivität** bezeichnet eine ko-lokale Kommunikation, Kooperation, Kollaboration oder Koordination in einer interaktiven Arbeitsumgebung.

*Abgrenzung zum  
Themengebiet CSCW*

Die Definition von Koaktivität in diesem Kapitel verdeutlicht den Unterschied zu CSCW, bei der Anwender geografisch verteilt sind, also nicht ko-lokal interagieren. Viele technische Probleme des CSCW existieren bei koaktiven Anwendungen nicht (beispielsweise lassen sich Synchronisationsprobleme sehr viel leichter lösen, da keine geografische Verteilung des Handlungsraumes vorliegt). Koaktive Systeme benötigen in der Regel weniger IT-Unterstützung und sollten insbesondere darauf achten, die zwischenmenschliche Kommunikation (Face-to-Face) zu unterstützen. Es wurde an einfachen Beispielen gezeigt, dass koaktive, computermedierte Prozesse in Kombination mit verbaler Kommunikation vorteilhaft gegenüber rein computermedierten oder rein verbalen Prozessen sind [Greenberg and Marwood, 1994], zum Beispiel beim semantischen Positionieren auf 2D Flächen [Erren and Keil, 2006] oder beim gemeinsamen Untersuchen einer Webseite [Lowry et al., 2006]. Ein Vorteil solcher Arbeitsumgebungen ist es, dass Anwender bedingt durch den gemeinsamen Wahrnehmungsraum über das Geschehen um sie herum stets sehr gut informiert sind. Dieser Zustand wird nachfolgend als *Awareness* bezeichnet.

### 3.1.3 *Awareness*

Der Begriff *Awareness* bezeichnet allgemein das Gewahrsein beteiligter Personen einer Arbeitsumgebung über den Status ihrer Umwelt. In der Literatur wird dabei zwischen *Workspace Awareness* und *Situation Awareness* unterschieden. Die *Workspace Awareness* fasst das Wissen der beteiligten Personen über die anderen Gruppenmitglieder im Kontext der Gruppenarbeit zusammen [Gutwin and Greenberg, 2002]. Diese *Awareness* ist nicht das primäre Ziel einer Gruppenarbeit, aber für diese förderlich, da sie den Arbeitsprozess voranbringt [Gutwin and Greenberg, 2002]. Da dies von beteiligten Akteuren schnell erkannt wird, versuchen diese, sie hoch zu halten. Die *Situation Awareness* bezieht sich hingegen nicht auf die anderen Gruppenmitglieder und den Arbeitsprozess, sondern auf die Wahrnehmung der Umgebung im Allgemeinen, die auch in nicht-koaktiven Anwendungen von Bedeutung ist. Diese geschieht in drei Stufen [Endsley, 1995]:

1. Die Wahrnehmung der Umwelt
2. Das Verstehen des Wahrgenommenen und die Interpretation auf Basis vorhandenen Wissens
3. Die Vorhersage der zukünftigen Situation auf Basis von 2.

Nur durch die Interpretation (1. und 2.) und das Vorhersehen (3.) ist Akteuren ein sinnvolles, dem gemeinsamen Ziel dienendes Handeln möglich.

Unter **Awareness** versteht man das Gewahrsein von beteiligten Personen in einer interaktiven Arbeitsumgebung, sowie von der Arbeitsumgebung selbst.

In vielen Studien wurden bereits die Vorteile von natürlichen Benutzungsschnittstellen bezüglich der Situation und Workspace Awareness in koaktiven Szenarien aufgezeigt. Wenn beispielsweise gemeinsam an großflächigen Multitouch-Bildschirmen gearbeitet wird, können alle Akteure leicht sehen, wer zu welchem Zeitpunkt welche Aktionen ausführt (im gemeinsamen Handlungsraum) und wie sich das auf den Status des Gesamtsystems (visualisiert im gemeinsamen Wahrnehmungsraum) auswirkt, siehe zum Beispiel in [Ha et al., 2006] und [Hornecker et al., 2008]. Ein Nachteil von natürlichen Benutzungsschnittstellen in koaktiven Szenarien ist das von Ha beschriebene gegenseitige Blockieren und Zusammenstoßen von Anwendern [Ha et al., 2006]. Hornecker et al. beschreiben aber auch, dass solche Probleme schnell von koaktiven Anwendern behoben werden können [Hornecker et al., 2008]. Ein Umstand, der vor allem der hohen Awareness zugeschrieben werden muss. Im Rahmen dieser Arbeit soll unter dem Begriff Awareness der Aspekt des Gewahr sein von beteiligten Personen und der Arbeitsumgebung verstanden werden. Beim Entwurf ko-aktiver Anwendungen sollte darauf geachtet werden, dass Information so repräsentiert wird, dass die Awareness gefördert wird.

*Die Awareness bei natürlichen Benutzungsschnittstellen*

#### 3.1.4 Entwurf von koaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen

Bisher wurden die Vorteile von koaktiven IT-gestützten Systemen, die Verbindung mit natürlichen Benutzungsschnittstellen und die daraus resultierende hohe Awareness beschrieben. In diesem Abschnitt werden für dieses Themengebiet relevante Forschungsergebnisse geschildert. Zunächst wird ein Überblick über Anforderungsanalysen bezüglich koaktiver Systeme mit interaktiven Tischbildschirmen gegeben. Anschließend werden allgemeine Gestaltungsrichtlinien für koaktive Benutzungsschnittstellen wie die Anordnung von Arbeitsbereichen, die Gestaltung von Menüs oder die Auswirkung von unterschiedlichen Anwenderpositionen an einem Bildschirm erläutert. Dabei wird deutlich, dass sich Anwendungsgebiete bezüglich vieler Parameter voneinander unterscheiden und unterschiedliche Gegebenheiten Vor- oder Nachteile für ein koaktives System haben können.

*Anforderungen an  
ein System zur  
koaktiven Arbeit an  
interaktiven Tischen*

Bezüglich koaktiver Anwendungsszenarien mit natürlichen Benutzungsschnittstellen wurde bisher vor allem im Bereich der interaktiven Tischbildschirme geforscht. Diese bieten oft Multitouch- und auch (be-)greifbare Interaktion an. Tabelle 1 fasst aus der Literatur extrahierte Anforderungen an solche Systeme zusammen. Diese beziehen sich vorrangig auf die Affordances und Constraints von Anwenderhandlungen. Die praktische Umsetzbarkeit solcher Anforderungen

| Anforderung  | Quelle   |
|--|--|
| Der Übergang zwischen verschiedenen Interaktionstechnologien muss einfach möglich sein   | [Müller et al., 2012]                                |
| Ein gleichzeitiger Zugang zu Daten bzw. Objekten muss möglich sein, Objekte sollen inkrementell zugänglich und manipulierbar sein, Interferenzen bei der Interaktion mit Objekten müssen minimiert werden. | [Müller et al., 2012]                                |
| Konkurrierende Zugriffe auf Objekte müssen berücksichtigt werden.  | [Müller et al., 2012], [Greenberg and Marwood, 1994] |
| Der Übergang zwischen Einzel- und Gruppenarbeit muss einfach möglich sein.   | [Tang et al., 2006], [Morris et al., 2006b]          |
| Private und öffentliche Informationen müssen integriert werden.  | [Morris et al., 2006b]                               |
| Unterschiedliche Objektorientierungen müssen berücksichtigt werden.  | [Morris et al., 2006b]                               |
| Die Gruppendynamik muss beachtet werden.   | [Morris et al., 2006b]                               |
| Physikalische Interaktionsobjekte sollten unterstützt werden.  | [Scott et al., 2003]                                 |
| Ein nahtloser Übergang zu externen Arbeitsplätzen muss möglich sein.   | [Scott et al., 2003]                                 |
| Die Face-to-Face Kommunikation muss möglich sein.  | [Scott et al., 2003]                                 |

Tabelle 1: Anforderungen an koaktive Anwendungen auf interaktiven Tischen

und Gestaltungsrichtlinien wird beispielsweise in der in Unterabschnitt 3.4.3 erwähnten Mustersammlung von Borchers beschrieben [Borchers, 2001]. Hier finden sich zahlreiche konkrete Designentscheidungen für interaktive Museums-Exponate, die eine Gruppe von Be-



suchen adressiert. Die Ergebnisse der hier beschriebenen Forschungsarbeiten sind oft nicht nur für Szenarien mit interaktiven Tischen von Bedeutung, sondern lassen sich auch auf andere Systeme übertragen. Sie sind daher für den Kontext dieser Arbeit von großer Bedeutung und sollten bei der Gestaltung koaktiver Systeme Beachtung finden. Nachfolgend werden weitere konkrete Gestaltungsrichtlinien aus der Literatur vorgestellt. Diese dienen als Motivation und Begründung, auch bei der in dieser Arbeit vorliegenden Problemstellung eine konkrete Umsetzbarkeit anzugehen.

Wie bereits erwähnt wurde ist es oft sinnvoll für koaktive Arbeitsprozesse sowohl private als auch öffentliche Arbeitsbereiche zu ermöglichen. Dies fördert die Awareness, sofern die Arbeitsbereiche sichtbar voneinander getrennt sind und ersichtlich wird, in welchem Bereich ein Anwender agiert. Private Arbeitsbereiche dienen vor allem der Organisation persönlicher Daten [Isenberg et al., 2012]. Allerdings gilt es Maßnahmen zum Schutz der Privatsphäre und des Datenschutzes bestmöglich einzuhalten, sie aber auch nur dort einzusetzen, wo sie unabdingbar sind [Scott et al., 2003]. Öffentliche Arbeitsbereiche müssen für alle Anwender einfach zugänglich sein [Müller et al., 2012]. Dies ist bei großflächigen Bildschirmen aufgrund der begrenzten Armreichweite der Benutzer ein Problem. Auf der anderen Seite haben diese Bildschirme den Vorteil leichter und dynamischer aufgeteilt werden zu können [Ryall et al., 2004]. Besitzrechte von Datenobjekten sollten leicht änderbar sein. Dazu werden in [Morris et al., 2006a] verschiedene Vorgehensweisen vorgeschlagen.

Distributed User Interfaces sind eine Möglichkeit Sicherheitsaspekten und Platzproblemen in koaktiven Szenarien zu begegnen. Private Arbeitsbereiche können auf externe Bildschirme oder mobile Endgeräte ausgelagert werden [Forlines et al., 2006]. Bei weniger kritischen Daten, die nur von einer Person benötigt werden oder bei persönlichen Menüs ist es akzeptabel, sie auf dem gemeinsam genutzten Bildschirm einzublenden, da dies die Awareness fördert und den Arbeitsprozess meist nicht stört [Forlines et al., 2006]. Bei Tischanordnungen werden bevorzugt die Randbereiche zu privaten Arbeitsbereichen und die mittleren Bereiche zu öffentlichen Arbeitsbereichen [Morris et al., 2006a].

Insbesondere bei großflächigen Bildschirmen ist die Art der Informationsvisualisierung maßgeblich für deren Aufnahme und Verständnis beim Anwender verantwortlich. Waagerechte Tischbildschirme haben dabei den Nachteil, dass Objekte nicht für alle Positionen der Anwender passend orientiert sind und somit verschieden gute Ansichten existieren [Kruger et al., 2004]. Forlines und Lilien schlagen daher die Auslagerung bestimmter Visualisierungen auf externe Bildschirme mit vertikaler Ausrichtung vor [Forlines and Lilien, 2008]. Sind externe Bildschirme ebenfalls interaktiv, so kann dies komplexe Aktionen vereinfachen, indem diese in sequentielle Manipulationen mit jeweils

*Private und  
öffentliche  
Arbeitsbereiche*

*Informationsvisuali-  
sierung*

wenigen Freiheitsgraden zerteilt wird [Martinet et al., 2009] [Martinet et al., 2010]. Auch sind verschiedene Ansichten auf ein Objekt möglich, die gleichzeitig auf einem Bildschirm dargestellt werden. Dies verringert allerdings den insgesamt zur Verfügung stehenden Platz abhängig von der Anzahl der Ansichten unter Umständen erheblich. Die gleichzeitige Darstellung von unterschiedlichen Perspektiven kann insgesamt jedoch wieder zu einem einfacheren Verständnis führen, insbesondere bei räumlichen Daten [Roberts et al., 1998]. Darüber hinaus helfen geeignete Visualisierungsformen in koaktiven Szenarien auch, die Besitzanzeige von Daten bzw. Objekten zu vereinfachen. Dies wurde bereits exemplarisch durch farbliche Markierungen [Everitt et al., 2004] oder Verbindungslinien und -kegel [Shen et al., 2005] bewiesen.

Anzahl der  
Anwender,  
Positionen und Bild-  
schirmausrichtung

Es wurde gezeigt, dass die Anzahl der Anwender in einem koaktiven Szenario direkten Einfluss auf die Effektivität der Arbeitsprozesse haben kann [Ryall et al., 2004]. Dies ist natürlich eng an die Art der Aufgabe gekoppelt, es scheint jedoch für jede Aufgabe eine optimale Größe sowie eine maximale Obergrenze zu geben. Abhängig von der Gruppengröße unterscheiden sich auch typische Strategien, mit denen versucht wird, die Aufgabe zu lösen [Ryall et al., 2004].

Wie bereits beschrieben, haben unterschiedliche Anwenderpositionen unterschiedliche Wahrnehmungen von visualisierten Daten zur Folge. Während Personen, die sich an einem waagerechten Tischbildschirm gegenüber stehen ungünstige Positionen bzgl. der Wahrnehmung haben, haben sie in dieser Konstellation einen insgesamt guten Überblick über das Gesamtszenario (Situation Awareness), da ihnen weniger entgeht, als wenn alle Anwender ähnliche Positionen am Bildschirm haben [Morris et al., 2006b]. Generell gilt es Abstände (*The Impact of Proxemics* [Morris et al., 2006b]) und Ausrichtungen von Anwendern zu berücksichtigen, damit übliche Umgangsformen eingehalten und Privatsphären nicht verletzt werden. Anderenfalls ist es Aufgabe des interaktiven Systems, dieses zu kompensieren und angemessen gegenzusteuern, beispielsweise durch automatische Adaption der Visualisierung, die eine Kollision von Körperteilen der Nutzer verhindert. Besondere Vorteile von waagerechten Bildschirmen ergeben sich, wenn Rollen in der Gruppenarbeit schnell gewechselt werden sollen, was eine höhere Dynamik und effektivere Arbeit nach sich ziehen kann [Rogers and Lindley, 2004]. Rogers und Lindley stellen fest, dass in einem solchen Fall von den Benutzern mehr Fragen gestellt und mehr Meinungen geäußert werden [Rogers and Lindley, 2004]. Dies ist ein Aspekt, der ausschließlich der zwischenmenschlichen Kommunikation und dem Geräteaufbau zuzuschreiben ist und der kaum durch IT-Unterstützung geplant oder forciert werden kann. Aber auch vertikale Bildschirme können in koaktiven Umgebungen Vorteile haben. So sind sie bei der Visualisierung komplexer Daten oft von Vorteil, um allen Anwesenden eine bestmögliche Ansicht zu gewährleisten.

[Forlines and Lilien, 2008]. Die Parameter Anwenderanzahl, Position und Bildschirmausrichtung weisen also eine stark kontextabhängige Eignung für koaktive Szenarien auf. In jedem Fall muss die Technik den Anforderungen der Aufgabe und vor allem den Anforderungen der Anwender genügen.

### 3.1.5 *Abgrenzung von CSCW zum Themengebiet dieser Arbeit*

CSCW-Systeme bieten geografisch voneinander getrennten Mitgliedern von Arbeitsgruppen, die über eigene Endgeräte verfügen, die Möglichkeit, gemeinsam Daten zu manipulieren und Informationen auszutauschen. Ko-lokale IT-Systeme hingegen beziehen sich auf ein gemeinsames Arbeiten am gleichen Ort. Hier finden nicht immer vorrangig computermedierte Prozesse statt, sondern es gilt auch die Mensch-Mensch-Interaktion zu unterstützen. Es wurde bereits in zahlreichen Arbeiten gezeigt, dass sorgfältig gestaltete natürliche Benutzungsschnittstellen diesbezüglich Vorteile mit sich bringen können. Dies liegt vor allem an der hohen Awareness, die durch die Verschmelzung von Handlungs- und Wahrnehmungsraum entsteht. Dies unterstützt zusätzlich die verbale Kommunikation. Generell scheinen diese Schnittstellen sehr gut geeignet, um soziale Protokolle der Mensch-Mensch-Interaktion in Arbeitsgruppen bestehen zu lassen. Durch diese Förderung der zwischenmenschlichen Interaktion und Kommunikation kann zum Beispiel die Anzahl der sogenannten *Freerider* (sich nicht beteiligende Personen) vermindert werden [Morris et al., 2006a].

Allerdings sind natürliche Benutzungsschnittstellen noch ein relativ neues Forschungsgebiet. Es ist an vielen Stellen noch unklar, wann genau sie wie eingesetzt einen Vorteil für koaktive Arbeitsumgebungen liefern. Fundiertes gestalterisches Wissen sowie Vorgehensweisen für ein Interaktionsdesign existieren noch nicht. Gutes Design hängt dabei von vielen Parametern ab, wie in diesem Kapitel bereits angedeutet wurde. Neben menschlichen Faktoren scheinen vor allem technische, wie Bildschirmgröße, Aufteilung von Arbeitsbereichen, Bildschirmausrichtung und Komplexität der Daten von Bedeutung zu sein. Solche Faktoren gilt es zu extrahieren, um ein systematisches Interaktionsdesign zu ermöglichen, wie im weiteren Verlauf dieser Arbeit gezeigt wird. In Abschnitt 3.4 werden existierende Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns beschrieben, auf denen diese Arbeit im weiteren Verlauf aufbaut. Um von existierenden Lösungen lernen zu können, wird nachfolgend zunächst ein Überblick über den Stand der Technik zur Realisierung von Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen, die insbesondere auch für koaktive Anwendungen einsetzbar sind, gegeben. Anschließend wird die Konzeption von verschiedenen Interaktionstechniken vorgestellt. Die daraus re-

sultierenden Grenzen bei der Umsetzung sind entscheidend für die Gestaltung von koaktiven Systemen.

### 3.2 REALISIERUNG INTERAKTIVER ANWENDUNGEN MIT NATÜRLICHEN BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN

In Abschnitt 2.2 wurden natürliche Benutzungsschnittstellen definiert und bereits erste Beispiele gegeben. Wichtigste Merkmale dieser Schnittstellen sind eine niedrige Instrumentierung und eine Gestaltung entlang der physikalischen Realität oder auf Basis von Erfahrungen auf Anwenderseite. Es wurde in Unterabschnitt 3.1.3 bereits angedeutet, dass natürliche Benutzungsschnittstellen aufgrund des identischen Handlungs- und Wahrnehmungsraumes eine hohe Awareness bezüglich beteiligter Personen einer Arbeitsumgebung und über den Status der Umwelt mit sich bringen können und sie daher prinzipiell für koaktive Szenarien geeignet sind. In diesem Abschnitt werden Technologien vorgestellt, mit denen sich natürliche Benutzungsschnittstellen für interaktive Anwendungen realisieren lassen. Dies ist erforderlich, um die Einsatzmöglichkeiten, die jeweiligen Vor- und Nachteile und insbesondere die technologischen Grenzen von natürlichen Benutzungsschnittstellen zu verstehen. Es werden nachfolgend Technologien zur Umsetzung von Multitouch-, (be-)greifbarer Interaktion, Stiftinteraktion sowie Hand- und Ganzkörperinteraktion vorgestellt.

#### 3.2.1 Multitouch-Technologien

Multitouch-Systeme sind in der Lage mehrere Berührungspunkte auf der Bildschirmoberfläche zu erkennen und an ein Betriebssystem oder eine Middleware, welche anschließend die Übersetzung in eine Geste übernimmt, weiterzuleiten. Dabei existieren verschiedenste technologische Realisierungen.

Bereits 1965 wurde die erste berührungsempfindliche Oberfläche auf Basis kapazitiver Sensoren vorgestellt [Johnson, 1965]. 1972 folgte mit dem *Plato IV* das erste Touch-Screen Terminal, bei dem erstmals die visualisierte Fläche als Eingabegerät fungierte [Buxton, 2007]. Mit dem *Flexible Machine Interface* folgte 1982 das erste Multitouch-System. Bei diesem wurden Finger-Berührungen auf einer Milchglasscheibe durch eine dahinter montierte Kamera erkannt [Mehta, 1982]. Nur zwei Jahre später erschien der erste Multitouch-Bildschirm von Bell Labs auf dem Markt. Seitdem wird die Technologie vor allem platzsparender, so dass sie sich auch in Kleinstgeräte integrieren lässt, die jedoch nicht Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sind.

Die gängigsten Varianten von Multitouch-Bildschirmen sind kapazitive und resistive Bauvarianten. Bei resistiven Bildschirmen wird der Abstand zwischen elektrisch geladenen, durchsichtigen Folien durch den Druck eines aufgelegten Fingers verändert. Sobald sich die Folien bedingt durch den Fingerdruck berühren, fließt ein Strom, der sich über Abnehmer an den Folienrändern messen lässt. Über

*Geschichtliche  
Entwicklung von  
Multitouch*

*Kapazitive und  
resistive Bildschirme*

die Stromstärke lassen sich die 2D Koordinaten des Berührungspunktes berechnen. Resistive Bildschirme sind günstig in der Produktion und daher häufig in preiswerten Produkten verbaut. Kapazitive Bildschirme gelten als präziser bei der Berührungserkennung, erfordern jedoch einen höheren Produktionsaufwand und sind kostenintensiver. Bei dieser Technologie wird eine Wechselspannung an eine beschichtete, transparente Folie angelegt, die ein gleichmäßiges elektrisches Feld erzeugt. Wird diese Folie von einem Finger berührt, lässt sich aus dem resultierenden Strom, der an den Ecken der Folie gemessen wird, auf die Berührungsposition schließen. Der Nachteil dieser Technologie ist, dass die Oberflächen nur auf leitfähige Materialien, wie die menschliche Haut oder spezielle leitfähige Stifte reagieren. Apple hält das US-Patent 7,966,578 [Tolmasky et al., 2011], welches die Funktionsweise dieser Technologie beschreibt. Für koaktive Szenarien sind solche Bildschirme gut geeignet, da sie sich auch großflächig herstellen lassen. Auf dem Markt findet man beispielsweise kapazitive Bildschirme von ideum (MT65 Presenter, 65" Bildschirmdiagonale), evoluce (I-VOLUCE M, bis zu 82" Bildschirmdiagonale), Perceptive Pixel (LCS Multitouch Display, 82" Bildschirmdiagonale) oder ein kapazitiver Auflegerahmen für beliebige Bildschirme von Displax (Skin Multitouch, bis zu 100" Bildschirmdiagonale).

#### *Optische Multitouch-Erkennung*

Optische Erkennungsverfahren für Multitouch-Bildschirme basieren auf verschiedenen Beleuchtungsverfahren und der Bildaufnahme über Kameras. Die gängigsten Verfahren arbeiten mit Infrarotlicht, welches Berührungspunkte von einer semi-transparenten Oberfläche reflektiert. Beispiele für solche Verfahren sind DI, DSI und FTIR [NUI-Group]. Der Vorteil von DI und DSI ist, dass nicht nur Fingerpunkte, sondern auch Objekte anhand der Kontur oder Anhand von Markern erkennbar sind, wie im weiteren Verlauf dieses Abschnitts noch erläutert wird. Für die Extraktion von Finger-Berührungspunkten aus einem Kamerabild existieren verschiedene Software-Werkzeuge, wie beispielsweise CCV [CCV], welches als Open Source Anwendung zur freien Verfügung steht. Weitere optische Technologien arbeiten mit Laser oder LED-Lichtstrahlen, welche über einem Bildschirm ein Lichtgitter bilden. Wird ein Lichtstrahl des Gitters unterbrochen, wird dies von der Sensorik bemerkt und der Berührungspunkt kann ermittelt werden. Solche Systeme können als kompakte Auflagerahmen erstellt werden, während DI, DSI und FTIR Platz für die Kamera und den Lichtweg hinter dem Bildschirm erfordern. Solche Technologien kommen daher vor allem bei projektorbasierten Bildschirmen zum Einsatz. Ebenfalls kompakt und auf optischer Erkennung basierend ist das *ThinSight* Prinzip [Izadi et al., 2009]. Es basiert auf optoelektronischen Sensoren, die aufgrund ihrer extrem kleinen Bauweise innerhalb einer LCD-Pixelkomponente Platz finden. So wird jedes Bildschirm-Pixel zu einer Kamera. Auf dieser Technologie basiert der SUR40 (auch

bekannt als *Microsoft Surface 2*<sup>2</sup> oder *PixelSense*<sup>3</sup>), ein 40" großer berührungsempfindlicher Bildschirm, der waagrecht sowie senkrecht eingesetzt werden kann. Im Gegensatz zu seinem Vorgängermodell, dem *Microsoft Surface*, ist er nur zehn Zentimeter dick.

Wie bereits erwähnt, eignen sich alle hier vorgestellten Technologien der Multitouch-Erkennung gut zur Realisierung koaktiver Szenarien. Resistive und kapazitive Bildschirme sind zwar nur bis zu einer bestimmten Größe im Handel erhältlich, jedoch bieten optische Auflagerahmen oder optische Trackingverfahren wie DI, DSI und FTIR die Möglichkeit, auf sehr großen Bildschirmen zahlreiche Fingerberührungen verlässlich zu erkennen. Gegenstand der Forschung sind derzeit Multitouch-Bildschirme, die eine haptische Rückkopplung an den Anwender ermöglichen. Dies kann beispielsweise über Elektrovibration [Bau et al., 2010] oder gezielt angesteuerte Elektromagneten [Jansen et al., 2010] geschehen.

*Eignung der  
Multitouch-  
Technologien*

### 3.2.2 Technologien für (be-)greifbare Interaktion

In Verbindung mit Multitouch-Bildschirmen ist die (be-)greifbare Interaktion mit physikalischen Objekten seit längerem Gegenstand der technischen Forschung. Die erwähnte optoelektronische Erkennungstechnologie, die u.a. im SUR40 verbaut ist, ermöglicht beispielsweise die Erkennung von Objektkonturen oder schwarz/weiss Mustern auf einer Bildschirmoberfläche. Auch die optischen Technologien DSI und DI sind dazu in der Lage. Diese drei Varianten eignen sich besonders zur Realisierung von (be-)greifbarer Interaktion, da sie ebenfalls Fingerberührungen erkennen können und somit mit Multitouch koexistieren können. Die Verwendung von Markern auf Objekten erweist sich dabei als Vorteil, da auch die Orientierung von kreisrunden oder quadratischen Objekten erkannt wird, was ohne Muster aufgrund der symmetrischen Geometrie dieser Objekte nicht möglich ist. Für die Markererkennung stehen zahlreiche frei verfügbare Werkzeuge und Bibliotheken zur Verfügung, wie beispielsweise D-TOUCH [Costanza et al., 2003], reacTIVision [reacTIVision] oder die openFramework Erweiterung ofxFiducialFinder [ofxFiducialFinder]. Der Nachteil solcher Systeme ist, dass Objekte nur erkannt werden sofern die Markerfläche sich unmittelbar auf der Bildschirmoberfläche oder aber wenige Millimeter davon entfernt befindet. Dies ist vor allem für horizontale Bildschirme leicht realisierbar, mit etwas mehr technischem Aufwand auch für vertikale, wie im *Geckos*-Projekt [Leitner and Haller, 2011], bei dem magnetische Objekte auf einem vertikalen Bildschirm verwendet werden. Mit Markern versehene Objekte können mit den erwähnten Technologien bezüglich ihrer x- und y-Position auf dem Bildschirm

<sup>2</sup> Unter der Bezeichnung Surface 2 vertreibt Microsoft neben einem Tischdisplay auch ein Tablet

<sup>3</sup> <http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/default.aspx>

Vor und über dem  
Bildschirm

und ihrer Orientierung um die Bildschirmnormale analysiert werden. Sie verfügen somit über drei Freiheitsgrade.

Für die Erkennung von Objektinteraktionen vor oder über einem Bildschirm kann auf VR-Trackingtechnologie zurückgegriffen werden. Während die meisten dieser Technologien aber der Anforderung an niedrige Instrumentierung nicht erfüllen (z.B. elektromechanisches, elektromagnetisches oder akustisches Tracking), sind optische Trackingverfahren prinzipiell gut geeignet, da beliebige, nicht mit Technologie ausgestattete, Objekte verwendet werden können. Die Herausforderung besteht darin, die 3D-Position und ggf. auch die 3D-Orientierung (sechs Freiheitsgrade) zu erkennen. Aus dem Forschungsgebiet Mixed Reality (MR) stehen dafür markerbasierte Technologien wie das ARToolkit [Kato and Billinghurst, 1999], ARTag [ARTag], ARToolkitPlus [Wagner and Schmalstieg, 2007] oder der Studierstube Tracker [Schmalstieg and Wagner, 2007] zur Verfügung. Die letzten beiden Systeme wurden ursprünglich für mobile Endgeräte mit geringer Rechenleistung konzipiert. Die Nachteile der markerbasierten Lösung sind eine verhältnismäßig hohe Berechnungszeit (eine Ausnahme bilden hier die für mobile Endgeräte erstellten Konzepte), die stark von der Anzahl der Objekte und der verwendeten Kameraauflösung abhängig ist, ihre Anfälligkeit bezüglich sich ändernden Lichtverhältnissen und die Verdeckung des Markers. Insbesondere der letzte Aspekt ist relevant, da bereits eine partielle Verdeckung zum Verlust der Erkennung führt. Des Weiteren bieten nicht alle physikalischen Objekte eine einfache Möglichkeit, Marker an ihnen zu befestigen. Neuerdings sind auch 3D-Trackingsysteme auf Basis von RGB-Kameras verfügbar, die ohne explizite Markierung auskommen und Features auf Basis von Formen und Farben im Bild wiedererkennen, wie beispielsweise Metaio [metaio]. Eine Alternative bieten auch Tiefenbildkameras, die Objekte anhand ihrer Form und ihres Volumens erkennen können. Zwar ist die Objekt-Orientierung im dreidimensionalen Raum abhängig von der Objektform nur sehr schwer zu ermitteln, die 3D-Position kann jedoch verhältnismäßig einfach berechnet werden. Wilson beschreibt, wie Tiefenbildkameras für derartige Erkennungen und für die 3D-Interaktionen in Kombination mit interaktiven Tischbildschirmen verwendet werden können [Wilson, 2007]. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Framework *dSensingNI* verwendet ebenfalls Tiefenbildkameras zur Realisierung fortgeschrittener (be-)greifbarer Interaktionen. Es wird in Unterabschnitt 5.1.1 im Detail beschrieben.

Eignung der  
(be-)greifbaren  
Technologien

Die vorgestellten Technologien eignen sich zur Realisierung koaktiver Anwendungen insofern gut, als dass die Erkennung von Objekten auf einer Bildschirmoberfläche robust realisiert werden kann und auch fortgeschrittene Interaktionstechniken, beispielsweise mit Tiefenbildkameras, umgesetzt werden können. Objekte können in einem koaktiven Szenario so gestaltet werden, dass sie einem einzelnen Nutzer zu-



zuordnen sind. Dies erhöht die Awareness und erlaubt individuelle Interaktions- und Visualisierungsmöglichkeiten. Der Aufwand für die technische Realisierung bei optischen Verfahren ist niedrig, da mit dem heutigen Stand der Technik weitgehend auf Objektmarkierungen verzichtet werden kann, bzw. diese für die Interaktion auf einer Oberfläche einfach umsetzbar und nicht störend sind.

Stiftinteraktion als besondere Form der (be-)greifbaren Interaktion erlaubt eine natürliche und präzise Eingabe für Punkte, Linien oder Text. Viele Bildschirme verfügen über eigene Stifte, deren Eingabedaten aufgrund der kleinen Berührungsfläche präziser als die von Fingern sind. Eine andere Möglichkeit bieten Stifte mit eingebauter optischer Erkennung, wie der Anoto Digital Pen [Anoto]. Er ermöglicht es, auf einer mit einem speziellen Muster versehenen Oberfläche seine exakte Position mit einer Genauigkeit von 600 dpi zu ermitteln. Durch ein von der FH Hagenberg entwickeltes SDK<sup>4</sup> ist auch eine Übertragung dieser Daten in Echtzeit per Bluetooth an einen Rechner möglich [Brandl et al., 2008]. Zusätzlich werden 22 Werte, wie z.B. der Anpressdruck, der Winkel des Stiftes und der exakte Zeitpunkt zu jeder Stiftposition übertragen. Dies ermöglicht Funktionen wie eine automatische Texterkennung. Das benötigte Muster lässt sich auf reguläres Papier, aber auch auf semi-transparente Projektionsfolien drucken, was einen Einsatz in projektorbasierten Bildschirmsystemen erlaubt. Die Anoto-Technologie wird beispielsweise beim FLUX-Tisch [Leitner et al., 2009] oder auch beim useTable (siehe Unterabschnitt 5.1.1) eingesetzt. Stifte wie der Anoto Digital Pen haben eine eindeutige ID und lassen sich daher für individuelle Interaktionen verwenden, sind aufgrund der zusätzlich benötigten Technologie für die Erkennung und Übertragung aber mit höherem technischen Aufwand verbunden. Dieser Nachteil wird oft aber durch die resultierende Präzision in der Eingabe und die intuitive Bedienung kompensiert.

*Stiftbasierte  
Interaktion*

### 3.2.3 Realisierung von Hand- und Ganzkörpergesten

Hand- und Ganzkörpergesten erlauben die Steuerung einer interaktiven Anwendung durch Bewegungen ohne explizite Verwendung eines Eingabegerätes. Genau wie für die (be-)greifbare Interaktion mit Objekten gilt für Hand- und Ganzkörpergesten, dass für diese bereits Erkennungssysteme aus dem Bereich VR zur Verfügung stehen, diese aber oft die Anforderung der niedrigen Instrumentierung nicht erfüllen. Eine Ausnahme bilden wiederum optische, markerlose Erkennungsverfahren, die nach der outside-in Methode arbeiten, bei der Kameras in der Umgebung den Anwender beobachten und seine Bewegungen analysieren. Appenrodt et al. verglichen dazu verschiedene Kameratechnologien bezüglich ihrer Eignung für die Gestenerkennung [Appenrodt et al., 2009]. Dabei stellten sich vor

<sup>4</sup> SDK = Software Development Kit

allem Tiefenbildkameras als geeignet heraus, da die Separation von Vorder- und Hintergrund durch die im Bild enthaltenen Tiefeninformationen besonders einfach ist. Je nach Auflösung lassen sich so auch einzelne Körperteile eines Menschen erkennen [Klompaker et al., 2012a]. Auch für Hand- und Armgesten wurde dies bereits mehrfach umgesetzt [Benko and Wilson, 2010] [Hilliges et al., 2009] [Wilson and Benko, 2010]. Eine weitere Möglichkeit zur Erkennung von Hand- und Körpergesten ist die Verwendung von Lage- oder Beschleunigungssensoren. Sofern diese in für die Interaktion bedeutsame (be-)greifbare Objekte implementiert werden, widerspricht dies, ähnlich wie bei digitalen Stiften, wie zuvor beschrieben, nicht der erforderlichen niedrigen Instrumentierung von natürlichen Benutzungsschnittstellen. Diese Sensoren sind aber lediglich in der Lage relative Bewegungen zu erkennen und eignen sich nicht zur zuverlässigen Analyse von 3D Positionen [Bowman, 2013].

*Vor- und Nachteile  
der  
Gestenerkennung*

Die Herausforderung bei der Erkennung von Freihand- und Ganzkörpergesten ist, dass das Erkennungssystem in der Lage sein muss, den Anfang und das Ende einer Geste zu bemerken. Da die Verwechslungsgefahr bei komplexen Gesten hoch ist, ist dies nicht trivial. Aus diesem Grund und aufgrund der fehlenden taktilen Rückmeldung im Vergleich zu den bisher vorgestellten Technologien, sind diese Gesten oft fehleranfällig und weniger präzise [de la Rivière et al., 2008]. Auch ist eine Interaktion außerhalb des Blickfeldes des Anwenders durch die fehlende Haptik kaum möglich [Mine et al., 1997]. Für Interaktionen, die keine sehr präzise Eingabe benötigen, kann die Gestensteuerung durch die Propriozeption<sup>5</sup> des menschlichen Körpers sowohl intuitiv als auch ohne visuelle Fokussierung erfolgen. Aufgrund der verhältnismäßig niedrigen Auflösung heutiger Tiefenbildkameras ist es meist nicht möglich Ganzkörper- und Hand- bzw. Fingergesten über eine Kamera zu erkennen. Hier helfen Mehrkamera-Systeme, die außerdem das Problem der optischen Verdeckung teilweise kompensieren können.

*Bewertung der  
Hand- und  
Körpergesten*

Insbesondere für koaktive Szenarien sind solche Gesten-Interaktionen gut geeignet, da das System neben der eigentlichen Geste auch die zugehörige Person erkennen und von anderen abgrenzen kann. Die Instrumentierung ist bei Kamerasystemen niedrig, Marker oder Sensorik am Körper des Anwenders sind nicht erforderlich. Hand- und Ganzkörpergesten erlauben es, viele dem Anwender aus der physikalischen Realität bekannte Gesten auszuführen wie beispielsweise das Fortbewegen, Greifen oder Zeigen.

<sup>5</sup> Propriozeption bezeichnet das blinde Wissen eines Menschen über die Lage und Ausrichtung seiner Körperteile

### 3.2.4 *Technologie und Einsatzmöglichkeiten von Tiefenbildkameras*

In den vorangehenden Abschnitten wurde mehrfach erwähnt, dass Tiefenbildkameras gute Hardwarewerkzeuge bei der Realisierung von natürlichen Benutzungsschnittstellen für koaktive Szenarien sein können. Sie liefern im Gegensatz zu RGB-Kameras kein Farbbild der aufgenommenen Umgebung, sondern zu jedem Bildpunkt gehörende Tiefeninformationen, also den Abstand vom Bildsensor zum physikalischen Objekt. Der Vorteil dieser Technologie liegt vor allem darin, dass Objekte gut voneinander separiert werden können. Während eine Handerkennung mit RGB-Kameras auf Basis der Hautfarbe sehr fehleranfällig ist, ist sie mit Tiefenbildkameras einfacher möglich, da eine Hand sich mit dieser Technologie aufgrund ihrer Form und des Abstandes zur Umgebung aus dem Kamerabild extrahieren lässt. Der grundsätzliche Nachteil solcher Interaktionsformen ist vor allem die bereits erwähnte fehlende haptische Rückkopplung und die damit zusammenhängende fehlende Möglichkeit zur Realisierung von diskreten Eingaben, zum Beispiel durch Push-Buttons [Bowman, 2013]. Technologisch lässt sich ein Tiefenbild auf verschiedene Art und Weise ermitteln. Viele ältere Ansätze verwenden Stereoalgorithmen und zwei RGB-Kameras, die eine Szene aus verschiedenen Blickwinkeln aufnehmen. Dieser Ansatz ist jedoch fehleranfällig in Regionen, die nicht oder nur wenig texturiert sind [Wilson, 2007]. Systeme mit der *Time of Flight*-Methode verwenden pulsierendes Infrarotlicht und messen zu jedem zum Kamerabild korrespondierenden Raumpunkt die Laufzeit des Lichtes, um auf die Distanz zum Raumpunkt schließen zu können. Kameras mit der *Structured Light Technology* verwenden hingegen ein Infrarotlicht-Muster aus Punkten oder Linien, das - für das menschliche Auge unsichtbar - in den Raum projiziert und über eine IR-Kamera aufgenommen wird. Aus der Musterverzerrung im aufgenommenen Bild kann das Tiefenbild berechnet werden. Diese Technologie ist auch in der Kinect von Microsoft verbaut und somit zu einem sehr günstigen Preis erhältlich. Die Kinect arbeitet in einem Tiefenbereich von 1,2 bis 3,5 Metern und kodiert die Tiefeninformation eines jeden Pixels mit 16 Bit. Die Auflösung des Kinect-Tiefenbildes beträgt 640 x 480 Pixel und die Bildwiederholrate bis zu 30 Bilder pro Sekunde. Es kann bei dieser aus der Entwicklung rund um die Spielekonsole XBOX stammenden Technologie jedoch zu Interferenzen durch das Infrarotlicht-Muster kommen, wenn mehrere der Kameras den gleichen Bereich einer Szene abfilmen.

### 3.2.5 *Möglichkeiten der Anwenderidentifizierung*

Für koaktive Anwendungen kann es von Vorteil sein, zwischen einzelnen Nutzern sowie Körperteilen zu unterscheiden. So kann es einen großen Unterschied machen, ob zwei Fingerberührungen auf einem

Multitouch-Bildschirm von einer Hand derselben Person oder von zwei Händen unterschiedlicher Personen stammen [Buxton, 2007]. Eine solche Anwender- und Handunterscheidung dient dem interaktiven System, um die richtige Interaktionstechnik auszuwählen. Zwei Finger derselben Hand resultieren bei Multitouch-Interaktionen beispielsweise oft in einer *Rotate and Scale* Geste (nähere Informationen zu Multitouch-Gesten finden sich in Unterabschnitt 3.3.1), während zwei Finger verschiedener Personen in zwei unabhängige Translationen oder eine *Collaborative Gesture* [Morris et al., 2006a] [Stock et al., 2008] resultieren könnten. Ist es einem System zusätzlich möglich, einen Nutzer zu erkennen (Anwenderauthentifizierung), so können beispielsweise individuelle Benutzungsschnittstellen angeboten werden oder es kann ein Rechtsmanagement greifen, welches nur Funktionen zur Verfügung stellt, die diesem Anwender erlaubt sind auszuführen. Tabelle 2 auf Seite 53 enthält Informationen darüber, inwieweit die bisher vorgestellten Technologien zur Anwenderauthentifizierung geeignet sind.

Während typische VR Hardware sich eindeutig identifizieren und einem Anwender zuordnen lässt, kann auch ein tiefenkamerabasiertes System wie die Microsoft Kinect verwendet werden, um Nutzer anhand ihrer Gliedmaßen zu erkennen. Die Kinect ist ein hybrides System, das zusätzlich eine RGB-Kamera verwendet, um Anwender anhand ihrer Kleidung, Gesichtsgröße und -struktur zu authentifizieren [Leyvand et al., 2011]. Kapazitive, resistive und optoelektronische Bildschirme sind lediglich in der Lage, Berührungspunkte zu erkennen. Eine Anwenderidentifizierung ist mit ihnen nicht möglich. Eine Ausnahme bildet der *DiamondTouch* Multitouch-Tisch, der als kommerzielles Produkt von MERL erhältlich war. Hier sitzen alle Anwender auf Stühlen, die mit leitenden Sitzmatten ausgestattet sind und bei Berührung des Fingers eines Anwenders für einen geringen Stromfluss zwischen Stuhl und Tisch sorgen [Dietz and Leigh, 2001]. Sofern dem System bekannt ist, welcher Anwender sich auf welchem Stuhl befindet, kann es eine Anwenderauthentifizierung durchführen. Optische Erkennungsverfahren wie DI, DSI oder FTIR erkennen lediglich Fingerberührungen oder Objekte, bzw. Markierungen. Ohne zusätzliche Technologie ist keine Identifizierung der Anwender möglich. Die (be-)greifbaren Erkennungstechnologien auf Basis von optischem Tracking wären generell in der Lage, aus dem Kamerabild auch die Anwender zu extrahieren. Allerdings ist es in den meisten Fällen nicht gegeben, dass sich Anwender und zu beobachtende Objekte vollständig im Kamerabild befinden. Auch die Identifizierung von Anwendern allein mit Hilfe von RGB-Informationen ist schwierig. Dies gilt insbesondere für koaktive Szenarien, in denen sich Anwender um oder unmittelbar vor einem Bildschirm befinden und somit ein hoher Grad an Verdeckung herrscht. Sich überlagernde Körper oder Körperteile sind ein weiterer Nachteil dieser Erkennung. Alle bisher vorgestellten

Systeme zur Anwenderidentifizierung sind aufgrund der technischen Einschränkungen beziehungsweise Ihrer speziellen Anforderungen an den Anwender und das System kaum alltagstauglich.

Es existieren jedoch auch zahlreiche Ansätze zur Hardware- beziehungsweise Objektbasierten Anwenderidentifizierung. Aktive Interaktionsobjekte wie digitale Stifte, verfügen über eine eingebaute Anwenderidentifizierung, da sich einzelne Stifte voneinander unterscheiden lassen. Da solche Objekte aber weitergereicht und von mehreren Personen nacheinander verwendet werden, ist die Erkennung zwar nie eindeutig, die technische Implementierung ist jedoch deutlich robuster und somit durchaus für viele Anwendungen in der Praxis geeignet.

Insbesondere für interaktive Tischbildschirme wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Ansätze zur Hand- und Anwenderunterscheidung, bzw. Anwenderauthentifizierung vorgestellt. *Medusa* [Annett et al., 2011] verwendet Näherungssensoren im Tischrahmen um die Position von Nutzern neben dem Tisch, sowie die Position von Armen über dem Tisch zu erkennen. So können Multitouch- oder Objektinteraktionen auf dem Tisch auf eine Anwenderposition zurückgeführt werden. Probleme entstehen allerdings bei eng nebeneinander stehenden Anwendern oder sich kreuzenden Armen. Dieses System erlaubt folglich eine Anwender- und Handunterscheidung, jedoch keine Anwenderidentifizierung. *IdWristBands* [Meyer and Schmidt, 2010] verwendet Handgelenksbänder mit eingebauter Infrarotlicht-Quelle. Diese senden ein eindeutig dem Nutzer zuzuordnendes, pulsierendes Lichtsignal welches vom Trackingsystem erkannt wird. Diese Technologie ist für Multitouch, (be-)greifbare Interaktion und auch für Hand- oder Körpergesten anwendbar. Durch die Armbänder ist die Instrumentierung hier etwas höher. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Marquardt et al. mit ihren *Fiduciary Tagged Gloves* [Marquardt et al., 2010]. Hier tragen die Anwender Handschuhe, deren Fingerspitzen, Handgelenke und Handrücken mit Markern versehen sind. Multitouchinteraktionen lassen sich so auf eine Handregion und einen Anwender zurückführen. So gelingt bei bekannter Handschuhverteilung eine sehr zuverlässige Anwenderauthentifizierung. Jedoch müssen jedes Mal Handschuhe angelegt werden, des Weiteren ist der Ansatz auf Touch-Interaktionen auf Bildschirmen, die Muster erkennen können, limitiert. *HandsDown* [Schmidt et al., 2010] führt eine Analyse der Handkontur auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm aus. In Kombination mit einer über dem Bildschirm angebrachten Kamera kann so eine einmal über dem berührungsempfindlichen Bildschirm identifizierte Hand verfolgt werden. Auch Ramakers et al. realisieren in ihrem *Carpus* System durch eine zusätzliche Kamera über dem Tisch eine Nutzeridentifizierung [Ramakers et al., 2012]. Hier wird die Form des Handrückens erkannt, es ist also kein Auflegen der Handfläche erforderlich. Die Erkennung ist dadurch weniger robust, dafür erlauben Carpus und HandsDown prinzipiell auch (be-)greifbare Interaktion

*Aktive  
Interaktionsobjekte*

*Anwenderauthentifi-  
zierung für  
Multitouch-  
Tischbildschirme*

Bewertung der Identifizierungsansätze

und Gesten, sobald eine Hand einmal identifiziert wurde. *See me, see you* analysiert die Ausrichtung von Händen und Fingern, um auf die Position eines Anwenders am Tisch zu schließen [Zhang et al., 2012]. Da die Anwender zuvor Avatare an Ihrer Position des Bildschirms platzieren müssen, ist dies lediglich ein semi-automatischer Ansatz, der die Anwender in ihrer Dynamik einschränkt, da bei jedem Positionswechsel eine Aktualisierung der Avatar-Position erforderlich ist. Es gibt bereits zahlreiche Ansätze zur Anwenderidentifizierung und -authentifizierung, insbesondere für interaktive Tischbildschirme. Da die Erkennung von RGB-Kameras weniger robust ist und andere Konzepte mit höherer Instrumentierung einhergehen, bietet sich die Verwendung von Tiefenbildkameras an [Appenrodt et al., 2009], bei denen die Hintergrundseparierung einfacher gelingt. Da die Erkennung von Gesichtern in koaktiven Szenarien aufgrund des beschriebenen Verdeckungsproblems schwierig ist, können die aus Tiefenbildern leicht zu berechnenden Skelett-Daten eines Anwenders zur Identifizierung herangezogen werden. Allerdings gibt es Probleme aufgrund der Kleidung und Verwechslungen bei Personen mit ähnlicher Statur. Daher scheinen hybride Systeme derzeit die beste Methode zu sein. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei prototypische Systeme zur tiefenkamerabasierten Identifizierung, Verfolgung und Authentifizierung von Personen an interaktiven Bildschirmen realisiert [Jung et al., 2011] [Klompaker et al., 2012b]. Diese Ansätze wurden weiterentwickelt und flossen in das coaNUI System ein, welches in Kapitel Abschnitt 5.1 detailliert beschrieben wird.

### 3.2.6 Übertragungsprotokolle für Interaktionsdaten und Gestenerkennungs-Bibliotheken

Die bisher beschriebenen technischen Systeme liefern Sensordaten wie die Positionen von Fingern, Händen oder Objekten mit unterschiedlicher Anzahl Freiheitsgrade und basierend auf unterschiedlichen Referenzkoordinatensystemen. Diese Daten müssen für eine Realisierung natürlicher Benutzungsschnittstellen noch auf konkrete Interaktionen, z.B. das Selektieren oder Manipulieren von Grafikobjekten, gemappt werden. Oftmals ist es sinnvoll, Systeme verteilt oder modular zu gestalten. Dafür werden Übertragungsprotokolle benötigt, um Sensordaten zwischen den Komponenten auszutauschen. Des Weiteren bedarf es auf Applikationsseite einer Interpretation der Daten, um Gesten umzusetzen.

Protokolle zur Übertragung von Interaktionsdaten

TUIO ist ein Protokoll, mit dessen Hilfe eine Kommunikation zwischen einem Erkennungssystem und einer Anwendung bzw. einem Gesteninterpretierer erfolgen kann [Kaltenbrunner et al., 2005]. Die Verwendung von Netzwerkübertragung auf Basis von UDP oder TCP ermöglicht es dabei, Erkennung und Anwendung voneinander zu trennen und die Einzelkomponenten zu entlasten. TUIO entstand im

Rahmen der *reactTable* [Jordà, 2010] Entwicklung, einem tischbasierten Musikinstrument, das (be-)greifbare Interaktionsobjekte verwendet. Eine Nachricht des TUIO-Protokolls enthält Informationen über auf einem Bildschirm neu erkannte Objekte, sich im Gegensatz zur vorherigen Nachricht veränderte Objekte oder nicht mehr existierende Objekte. Objekte können dabei Finger oder auch physikalische Gegenstände sein. Ursprünglich konzipiert wurde das Protokoll für Multitouch-Informationen mit zwei Freiheitsgraden (x- und y-Koordinate einer Fingerposition) und (be-)greifbaren Objekte mit drei Freiheitsgraden (x- und y-Koordinate der Position sowie Winkel der Drehung um die Bildschirmnormale). Eine Erweiterung des Protokolls berücksichtigt auch 3D-Informationen über die Position und Orientierung von Objekten im Raum. Es gibt Softwarewerkzeuge wie CCV [CCV] oder *reactTVision* [*reactTIVision*], die Finger oder Objekte mit Markern erkennen und automatisch TUIO Nachrichten generieren, die an definierte Empfänger im Netzwerk gesendet werden.

Ein ähnliches Protokoll ist VRPN [Taylor et al., 2001], welches speziell für die Übertragung von VR-Trackingdaten entwickelt wurde. Anders als TUIO enthält VRPN Informationen über die Hardware, die die Trackingdaten erfasst hat. Daraus lässt sich auf den Anwender, der diese Daten produziert hat, schließen, da Eingabegeräte und Trackingsensoren in VR nur selten während einer Anwendung von verschiedenen Personen verwendet werden. TUIO hingegen enthält keine Informationen über die Hardware oder die Person, die die Daten produziert hat. Ein ähnlicher Ansatz zu VRPN findet sich auch beim XML-basierten *OpenTracker* [Reitmayr and Schmalstieg, 2001]. Diese Softwarebibliothek erlaubt ähnlich wie VRPN die Übertragung von Sensordaten über ein Netzwerk. Es wurde ebenfalls für den VR-Bereich entwickelt und ist daher auch für die Kontrolle von sechs Freiheitsgraden ausgelegt. Für TUIO, VRPN und auch *OpenTracker* stehen Softwarebibliotheken zur Verfügung, die die Nachrichtenerstellung und das Senden bzw. Empfangen übernehmen. Diese Bibliotheken lassen sich einfach in Softwareprojekte integrieren. Sowohl TUIO, als auch VRPN und *OpenTracker* senden ausschließlich nicht interpretierte Sensordaten. Die Analyse, ob diese Daten eine bekannte Geste ergeben, erfolgt auf Anwendungsseite. Hierzu stehen für verschiedene Endgeräte und Betriebssysteme Frameworks bzw. Bibliotheken zur Verfügung.

Bei den hier vorgestellten Frameworks und Bibliotheken handelt es sich um Gesteninterpretierer, die aus den Eingabedaten, die direkt von einer Eingabehardware gemessen oder über ein Protokoll empfangen werden eine Interaktion ableiten. Solche Interpretierer sind zum Teil in Betriebssysteme fest integriert oder stehen als Framework in Form eines vollständigen Softwarepaketes zur Verfügung. Des Weiteren gibt es verschiedene SDKs, die bestimmte Teile der Prozesskette (Datenempfang - Gesteninterpretation - Umsetzung der Interaktion) anbieten.

*Protokolle aus der VR*

*Frameworks und Bibliotheken*

Das 2009 erschienene Betriebssystem Windows 7 von Microsoft ist das erste Betriebssystem mit nativer Multitouchunterstützung. Es bietet fest definierte Ein- und Mehrfinger-Gesten, wie *Tap*, *Drag*, *Scroll*, *Zoom* oder *Rotate*. Des Weiteren sind für die Fingerinteraktion optimierte Eingabeunterstützungen wie eine virtuelle Bildschirmtastatur und ein Texteingabefeld mit Schrifterkennung in das Betriebssystem integriert. Da die native Verwendung der Windows API nicht immer trivial ist, wurde mit WPF (*Windows Presentation Foundation*)<sup>6</sup> ein Framework geschaffen, das es Entwicklern erlaubt, Rohdaten von Eingabegeräten oder interpretierte Gesten-Ereignisse abzufangen und beliebig zu verwenden. Auch physikalische Effekte wie Trägheit von Grafikobjekten bei Bewegung oder Rotation sind Teil des Frameworks. XAML<sup>7</sup>, eine auf XML basierende Beschreibungssprache für grafische Oberflächen, kann in Kombination mit WPF verwendet werden, um bestimmte Multitouch-Gesten, wie die Manipulation von Grafikobjekten, anzuwenden. Hierzu wird das Verhalten direkt in der Beschreibung der grafischen Benutzungsoberfläche per XML definiert. Ebenfalls für Windows-Anwendungen konzipiert wurde *Multi-Touch Vista* [Vista]. Dieses Softwarewerkzeug wandelt Eingabedaten, die von mehreren Hardwarekomponenten oder über das TUIO-Protokoll empfangen werden, mithilfe des integrierten Multitouch-Treibers an das Betriebssystem weiter. Auf diese Weise können auch die zuvor beschriebenen technischen Lösungen, die ihre Daten über das TUIO-Protokoll versenden, mit Windows-Anwendungen kombiniert werden.

*Breeze* ist eine C#-Bibliothek zur Erkennung von Gesten aus verschiedenen Eingabequellen, u.a. dem TUIO-Protokoll [Breeze]. Sie wurde zur Verwendung mit WPF konzipiert und daher auf .NET-Anwendungen begrenzt<sup>8</sup>. Mit *Sparsh-ui* lassen sich hingegen Multitouch-Interaktionen in C++ und Java-Anwendungen auf beliebigen Betriebssystemen umsetzen [Sparsh-ui]. Bekannte Gesten zur Selektion und Manipulation von Grafikobjekten wurden bereits in diese Bibliothek implementiert. Es existieren des Weiteren zahlreiche alternative Bibliotheken und Frameworks zur Gesteninterpretation, die als quelloffene Softwarekomponenten zur Verfügung stehen, wie beispielsweise Gestouch [fljot / Gestouch] oder GRT [Gillian].

Technologische  
Grenzen

Die vorgestellten Übertragungsprotokolle für Sensordaten, sowie Gesten-Interpretationsbibliotheken und -frameworks stammen vor allem aus dem Bereich der Multitouch-Interaktion und der (be-)greifbaren Interaktion auf einem einzelnen Bildschirm. Auch auf die lediglich zwei Freiheitsgrade benötigenden Stiftinteraktionen lassen sich die vorgestellten Komponenten einfach übertragen. Für komplexere Interaktionen mit Händen oder Objekten im Raum oder für Ganzkörperinteraktionen lassen sich die Protokolle zwar einfach anpassen,

<sup>6</sup> [http://msdn.microsoft.com/de-de/library/ms754130\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/de-de/library/ms754130(v=vs.110).aspx)

<sup>7</sup> [http://msdn.microsoft.com/de-de/library/ms752059\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/de-de/library/ms752059(v=vs.110).aspx)

<sup>8</sup> Seit .Net Version 4.0 ist die Verwendung von Breeze hinfällig, da das .NET Framework die Funktionen ab dieser Version beinhaltet.



die Softwarebibliotheken berücksichtigen solche Interaktionen jedoch nicht, bzw. nur, wenn diese auf wenige Freiheitsgrade heruntergerechnet werden. Eine Integration von 3D-Interaktionen in Gestenbibliotheken ist folglich sinnvoll. Des Weiteren werden Interaktionen von verschiedenen Anwendern in den Komponenten nicht unterschieden, weshalb nicht immer allen Anforderungen an ein koaktives System begegnet werden kann. Auch die Definition eigener Gesten ist in den vorgestellten Ansätzen nicht berücksichtigt und erfordert manuelle Programmierarbeit. Zwar werden viele der bekannten Standardgesten unterstützt, es wird jedoch nachfolgend in Abschnitt 3.3 gezeigt, dass es unter bestimmten Voraussetzungen alternative Interaktionskonzepte gibt, die geeigneter sind.

### 3.2.7 *Abschließende Übersicht über Technologien für koaktive Anwendungen*

In Tabelle 2 (Seite 53) ist eine Übersicht der bisher vorgestellten Technologien dargestellt. Im ersten Teil werden die Einsatzmöglichkeiten der spezifischen Technologie für natürliche Benutzungsschnittstellen durch Multitouch (MT), (be-)greifbare Interaktion (BI), Stiftinteraktion (P) und Hand- und Körpergesten (G) abgebildet. Im zweiten Teil befinden sich Angaben über die Möglichkeit, mehrere Anwender gleichzeitig zu erfassen, Anwender zu identifizieren, Angaben über die Präzision, den technischen Aufwand sowie die zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade (DOF) der Technik. Die Angaben zur jeweiligen Eignung bzw. Bewertungen reichen von - (schlecht) über o (neutral) bis zu ++ (sehr gut).

Für die meisten Zwecke einsetzbar sind Tiefenbildkameras und optoelektronische Sensoren. Während letztere durch ihre kleine Bauweise neben Finger und aufgelegten Objekten auch in der Lage sind, feine Stiftinteraktionen zu erkennen, ist es mit ihnen nicht möglich, Hand- oder Ganzkörpergesten zu erkennen, da sich die Erkennung auf die Bildschirmoberfläche beschränkt. Tiefenbildkameras können neben den beschriebenen Gesten und Objektinteraktionen auch Fingerberührungen auf beliebigen Oberflächen erkennen (siehe z.B. [Wilson, 2010] [Benko and Wilson, 2010]). Lediglich für die Erkennung präziser Stiftinteraktionen sind sie beim derzeitigen Stand der Technik ungeeignet. Auch die Kombination von beispielsweise Hand- und Ganzkörperinteraktion scheitert derzeit oft an der mangelnden Auflösung der Kameras. Tabelle 2 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Interaktionen mit digitalen Stiften als besondere Form der (be-)greifbaren Interaktion klassifiziert wurde.

Für die Realisierung koaktiver Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen existieren also verschiedene Technologien, die über verschiedene Eigenschaften verfügen. Kapazitive und resistive Bildschirme sind nur bis zu einer bestimmten baulichen Größe auf

dem Markt erhältlich, selbiges gilt für Bildschirme mit optoelektronischen Sensoren. Ihre Skalierbarkeit bezüglich der Anwenderanzahl ist daher gegenüber anderen Systemen geringer. Da sie als Komplettlösungen im Handel erhältlich sind, ist der technische Aufwand zur Inbetriebnahme jedoch minimal. Optische Erkennungsverfahren mit Kameras in der Umgebung, die ein Outside-In Tracking betreiben, sind komplexer bezüglich des Systemaufbaus, benötigen aber keine weitere Sensorik oder Markierungen an den Nutzern oder Objekten. Anwender können im räumlich begrenzten Interaktionsbereich, den die Kameras abdecken, frei interagieren.

Entscheidend für die Gestaltung solch interaktiver Systeme ist folglich immer auch die Hardwareauswahl. Es muss analysiert werden, welche Technologie in welchem Fall sinnvoll eingesetzt werden kann. Die bereits im vorigen Kapitel erwähnten Parameter, die die Hardware betreffen (Bildschirmgröße, -anordnung und resultierende Anwenderpositionen) aber auch benötigte Aufgaben und resultierende Präzisionsanforderungen müssen stets berücksichtigt werden, um ein gebrauchstaugliches System zu entwickeln. So können die jeweiligen Nutzungskontexte und die resultierenden Anforderungen der Anwender berücksichtigt werden. Auch stellt sich hinsichtlich der Interaktion die Frage, ob eine Anwenderidentifizierung oder -authentifizierung erforderlich ist, was wiederum nicht mit jeder Technologie umsetzbar ist. An dieser Stelle fehlt ein strukturiertes Vorgehen zum Interaktions- und Hardwaredesign, an dem sich Entwickler orientieren können. Oftmals scheinen hybride Lösungen eine gute Möglichkeit zu sein, alle Anforderungen an ein System zu erfüllen. Hier stellt sich allerdings das Problem der Zusammenarbeit der Technologien, da fast alle mit eigenen Treibern, Protokollen und Entwicklungsframeworks arbeiten.

|                                | MT | BI  | P | G | Mehrere Anwender | Anwender Identifizierung | Präzision | Technischer Aufwand | DOF |
|--------------------------------|----|-----|---|---|------------------|--------------------------|-----------|---------------------|-----|
| Kapazitive u. resistive Displ. | X  |     |   |   | +                | -                        | ++        | ++                  | 2   |
| Optisches Displ. Tracking      | X  | X   |   |   | ++               | -                        | +         | +                   | 2   |
| Optoelektronik                 | X  | X   | X |   | +                | -                        | ++        | ++                  | 2/3 |
| Optische Marker                |    | X   |   |   | ++               | 0                        | 0         | 0                   | 6   |
| Optisch markerlos              |    | X   |   | X | ++               | 0                        | -         | +                   | 3/6 |
| Digital Pen                    |    | (X) | X |   | ++               | +                        | ++        | 0                   | 2   |
| VR Tracking                    |    | X   |   | X | ++               | ++                       | +         | -                   | 6   |
| Tiefenbildkamera               | X  | X   |   | X | +                | ++                       | 0         | +                   | 3/6 |

Tabelle 2: Übersicht über Technologien zur Realisierung koaktiver Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen (MT = Multitouch, BI = (be-)greifbare Interaktion, S = Stiftinteraktion, G = Hand- oder Körpergesten). Legende: ++ = sehr gut, + = gut, 0 = mittelmäßig, - = schlecht

### 3.3 EXISTIERENDE INTERAKTIONSKONZEPTE FÜR NATÜRLICHE BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN

Viele bekannte Interaktionstechniken werden mit den in Abschnitt 3.2 beschriebenen Technologien, Bibliotheken und Frameworks realisiert. Nicht immer sind dies aber die besten Möglichkeiten, mit einem System zu interagieren. Es existieren zahlreiche Studien, in denen technologieunabhängige Interaktionskonzepte verglichen und vielversprechende Alternativen entwickelt wurden. Insbesondere für koaktive Szenarien, die andere Anforderungen an das Interaktionsdesign stellen als Einzelnutzerszenarien, ist es sinnvoll, solche Alternativen zu berücksichtigen. Nachfolgend werden existierende Interaktionskonzepte auf Basis der bereits beschriebenen technologischen Realisierungen für Multitouch, (be-)greifbare Interaktion und Hand- bzw. Ganzkörpergesten vorgestellt.

#### 3.3.1 *Multitouch-Interaktionskonzepte*

Nicht immer ist eine Touch-Bedienung mit mehreren Fingern gleichzeitig notwendig oder sinnvoll. Anwendungen, wie sie aus Desktop-Betriebssystemen bekannt sind, sind für die Verwendung mit nur einem Zeiger entwickelt worden. Auch Kiosk-Systeme, die einem sequentiellen Programmablauf unterliegen und für eine einzelne Person bestimmt sind (z.B. Fahrkartenautomat) bedürfen keiner Multitouch-Hardware, sondern lassen sich über Einfinger-Eingaben (*Singletouch*) verwenden. Neben den Bezeichnungen Single- und Multitouch findet man ab und zu auch die Bezeichnung *Dualtouch*. Dualtouch-Hardware kann genau zwei Berührungspunkte zur gleichen Zeit auf einem Bildschirm lokalisieren. Oft verkaufen Hersteller diese Produkte unter dem Schlagwort Multitouch. Dabei kann es von signifikantem Nachteil sein, wenn lediglich zwei Berührungspunkte erkannt werden. Dies ist insbesondere bei großflächigen Bildschirmen für koaktive Anwendungsszenarien der Fall. Bei Anwendungen für einen einzigen Anwender ist Dualtouch hingegen oft vorteilhaft, da Anwender die Bedienung mit zwei Fingern bevorzugen, auch wenn die Bedienung mit drei oder mehr Fingern möglich ist [Kin et al., 2009]. Die kognitive Belastung der Anwender scheint an diesem Punkt anzusteigen. Die Verwendung von Constraints, beispielsweise durch Beschränkung der maximal zu verwendenden Finger, kann in diesem Fall also Vorteile mit sich bringen.

Die Bedienung eines Bildschirms mit mehreren Fingern ist bereits mit vielen kommerziellen Produkten möglich. Viele Gesten haben sich zu einer Art Standard durchgesetzt und ermöglichen eine intuitive, schnell zu erlernende und zu verstehende Form der Interaktion. Viele Nutzertests haben bereits aufgezeigt, wie Anwender großflächige Bildschirme zur Fingerinteraktion verwenden, um komplexe Aufgaben

zu bewältigen. Das bekannte *RST* - *Rotate, Scale, Translate* [Reisman et al., 2009] erweitert das mit einem Finger durchgeführte *Drag & Drop* zu einem leicht verständlichen Werkzeug, bei dem zusätzlich mit zwei Fingern Objekte gemäß der *Rotate & Scale* Methode (siehe Abbildung 9) gedreht und skaliert werden können. Sofern sich Aufgaben nebenläufig durchführen lassen, sie aber voneinander unabhängig sind, verwenden die meisten Anwender je einen Finger von zwei Händen anstatt zwei Finger der gleichen Hand [Moscovich and Hughes, 2008]. Dies kann beispielsweise beobachtet werden, wenn Anwender zwei Kontrollpunkte eines Objektes mit dem Ziel des Skalierens manipulieren, was vorrangig durch die geringere Verdeckung und die größere zu erreichende Distanz zwischen zwei Fingern zu erklären ist. *RST* bildet hier allerdings eine Ausnahme, es wird von den meisten Anwendern bevorzugt mit einer Hand ausgeführt [Moscovich and Hughes, 2008]. Dies ist auch bei sehr großen Objekten noch möglich, da Berührungspunkte frei gewählt werden können.

Die Verwendung von zwei Händen zur Multitouch-Interaktion hat gegenüber einer einhändigen Bedienung sowohl Vor- als auch Nachteile. Werden beide Hände verwendet und unterschiedlichen Regionen des Bildschirms zugeteilt, so ist die Distanz zwischen Objekt und nächstgelegener Hand im Durchschnitt geringer [Dillon et al., 1990]. Die Verwendung von beiden Händen sorgt jedoch stets auch für mehr Verdeckung [Kin et al., 2009]. Für die Interaktion kann es von entscheidender Bedeutung sein, ob der Anwender eine Hand oder zwei Hände zur Eingabe verwendet. So können Verdeckungen vermieden werden indem grafische Elemente entsprechend umplatziert werden. Wenn in koaktiven Szenarien mehrere Hände auf einem Bildschirm interagieren ist oftmals eine Anwenderidentifizierung notwendig.

Touch-Gesten werden oft der physikalischen Realität entsprechend entworfen. So können auf Multitouch-Bildschirmen grafische 2D Elemente so bewegt werden wie ein Blatt Papier, welches auf einer Tischoberfläche liegt. Während bei der indirekten Interaktion mit externen Eingabegeräten die Selektion und Manipulation sequentiell erfolgt, gehen sie bei der Touch-Interaktion ineinander über. Dies wird von Kruger et al. als positive Eigenschaft bewertet, da es ebenfalls der physikalischen Realität entspricht [Kruger et al., 2005]. Statt einzelner Finger kann auch die ganze Handfläche verwendet werden [Liu et al., 2006]. Die Analyse der Handfläche erlaubt unter anderem eine bessere Abschätzung des Winkels, mit der sie aufgelegt ist. Dies ist bei einzelnen Fingern nicht zuverlässig möglich.

Ein einzelner Finger liefert mit der x- und y-Position des Berührungspunktes auf einem Bildschirm für gewöhnlich zwei Freiheitsgrade. Ramos et al. erweitern die Anzahl auf drei Freiheitsgrade, indem der Druck, mit dem der Finger den Bildschirm berührt (in der erwähnten Studie wurde zur Druckmessung ein Stift verwendet) analysiert wird [Ramos et al., 2004]. Der Druck, dessen relative Zu- oder Abnahme

*Singletouch-Gesten*

sich aus der Auflagefläche des Fingers ermitteln lässt, kann abhängig vom Erkennungsverfahren mit begrenzter Genauigkeit ermittelt werden. Mit Hilfe eines einzelnen Berührungspunktes kann unter Verwendung physikalischer Gesetzmäßigkeiten neben der 2D-Position eines Objektes die Orientierung (entlang der Bildschirmnormalen) manipuliert werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe von explizit für die Translation oder Rotation zur Verfügung stehender Widgets geschehen, was eine gleichzeitige, nebenläufige Ausführung der Interaktionen unmöglich macht. Der aus Programmen wie Microsoft Powerpoint bekannte *Handle to Rotate* oder *Corner to Rotate* [Kruger et al., 2005] Mechanismus ermöglicht beispielsweise die Translation, Rotation und Skalierung von 2D-Objekten über Kontrollpunkte, die oft an den Ecken eines Grafikobjektes beziehungsweise dessen Hüllkörper positioniert sind. Für die Eingabe reichen zwei Freiheitsgrade aus. Einen weiteren Ansatz, der die nebenläufige Manipulation von Position und Orientierung von 2D-Objekten erlaubt, stellen Kruger et al. vor [Kruger et al., 2005]. Die *Rotate & Translate (RNT)* [Kruger et al., 2005]-Technik benötigt ebenfalls nur einen Finger zur Eingabe. Sie kopiert das Verhalten eines Blatt Papiers, welches auf dem Bildschirm liegt. Über komplexe Algorithmen wird die vom Berührungspunkt ausgehende Bewegung in Kräfte umgerechnet und unter Berücksichtigung der Reibung eine Bewegung und gleichzeitige Rotation ermittelt (siehe Abbildung 6).

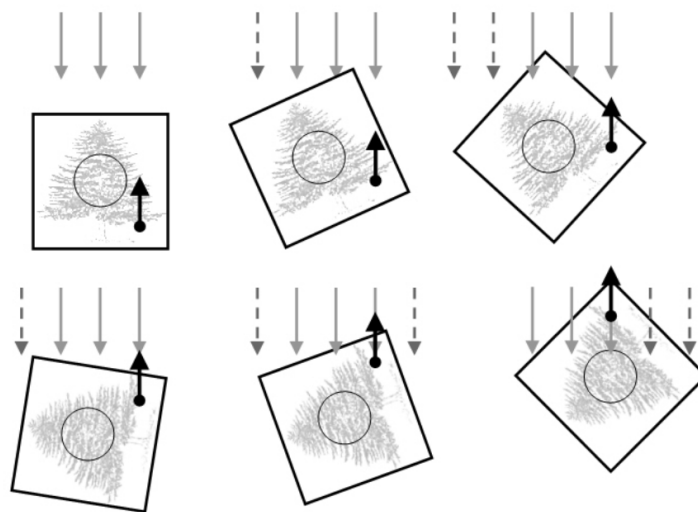


Abbildung 6: RNT-Singletouch-Geste, die physikalische Kräfte simuliert [Kruger et al., 2005]

In vielen Fällen werden für die Interaktion mit einem Finger klassische GUI-Elemente wie Menus, Buttons oder Slider verwendet. Dies erlaubt eine präzise und schnelle Manipulation von Daten oder Auslösung von Kommandos mit Hilfe eines einzelnen Fingers. Große Aufmerksamkeit gilt der Gestaltung dieser Menus. Waren sie in den Anfangszeiten der Touch-Interaktion noch identisch zu Menus, die

mit der Maus bedient werden können, finden sich heute viele Ansätze, die beispielsweise dynamische Anpassungen und Ausrichtungen der Elemente erlauben. So können beispielsweise Verdeckungen durch die Hand und den Arm des Anwenders vermieden werden. Ein klassisches Beispiel hierfür ist das u.a. in [Wang and Ren, 2009] vorgestellte Pie Menu (Abbildung 7).



Abbildung 7: Pie Menus lassen sich gemäß der Handausrichtung anpassen [Wang and Ren, 2009]

Immer häufiger werden auch dreidimensionale Nutzungsschnittstellen auf Touchbildschirmen verwendet. Diese unterscheiden sich in der Regel darin, dass Objekte nicht nur entlang von zwei Achsen bewegt und entlang einer Achse gedreht werden können, sondern, dass sechs Freiheitsgrade und gegebenenfalls zusätzlich Skalierungseigenschaften manipuliert werden können. Zur Selektion stehen hierfür aus dem PC-Bereich bekannte Interaktionstechniken wie das *Ray Casting* zur Verfügung (zum Beispiel beschrieben in [Jung et al., 2008] und als *distal pointing* in [Bowman, 2013]). Hier wird ein virtueller Strahl (Ray) in die 3D-Szene gesendet. Das Objekt, welches als erstes von diesem Strahl getroffen wurde, wird selektiert. Zu beachten ist hierbei die perspektivische Verzerrung, die sich durch die neu hinzugekommene dritte Dimension ergibt. Sie erschwert die Steuerung des Rays und ist insbesondere bei Tischinstallationen von der Position des Anwenders abhängig, beziehungsweise wird aus Sicht des Anwenders nicht korrekt dargestellt.

Auch für die Singletouch-Manipulation von sechs oder mehr Freiheitsgraden eines Objektes gibt es Metaphern, die in einigen Interaktionstechniken realisiert wurden. Die Rotation eines 3D-Objektes kann beispielsweise intuitiv mit Hilfe von Trackball-Techniken umgesetzt werden. Diese orientieren sich ebenfalls an der physikalischen Realität und basieren auf der Idee, dass sich das zu drehende Objekt in einer kugelförmigen Hülle befindet, die mit einem Finger rotiert werden kann. Diese Hülle verhält sich wie ein Ball, der auf einem Tisch liegt und der mit einem Finger um beliebige Achsen gedreht werden kann.

3D-Singletouch-  
Techniken

Die bekannteste dieser Techniken ist die von Shoemake vorgestellte *ARCBALL* Technik [Shoemake, 1992] (Abbildung 8). Sie wurde für die Interaktion mit einem Mauszeiger entwickelt und funktioniert daher auch mit Singletouch-Technologie. Ein Anwender selektiert einen Berührungspunkt der Kugelhülle und zeichnet anschließend einen Kreisbogen, über den er die Rotation definiert. *ARCBALL* hat den Vorteil, dass kein Gimbal Lock<sup>9</sup> entstehen kann, sondern alle Rotationsachsen stets getrennt voneinander manipulierbar bleiben. Der Nachteil ist, dass der Kontaktpunkt des Fingers leicht über die Hüllkugel driftet, sich also nicht immer an der gleichen Stelle befindet, was der physikalischen Realität widerspricht. Reisman et al. entwickelten allerdings eine Anpassung von *ARCBALL*, in der dieses Problem beseitigt wurde [Reisman et al., 2009]. Bade et al. präsentieren in [Bade et al., 2005] Designrichtlinien für die Rotation von 3D-Objekten mit 2D-Eingabedaten. Die Autoren haben eine Vielzahl von Techniken evaluiert und dabei herausgefunden, dass keine der getesteten Techniken alle notwendigen Anforderungen erfüllt.

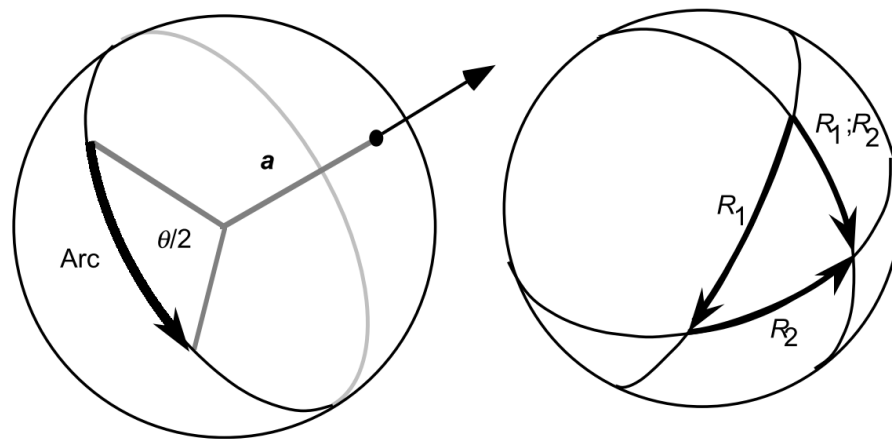


Abbildung 8: *ARCBALL* Rotation - Winkelberechnung (links) und Kombination von verschiedenen Singletouch-Bewegungen (rechts) [Shoemake, 1992]

#### *Dualtouch-Gesten*

Neben den Singletouch-Gesten existieren auch Interaktionsgesten, die eine Eingabe mit zwei Fingern erfordern. Bei den hier vorgestellten ist dabei irrelevant, ob die zugrundeliegende Hardware mehr als zwei Berührungspunkte erkennen kann oder nicht.

Die bekanntesten Dualtouch-Gesten sind Rotate (das Drehen von Grafikobjekten) und Scale (das Vergrößern oder Verkleinern von Elementen, siehe Abbildung 9), zwei Techniken, die auch in RST enthalten sind [Kruger et al., 2005]. Da diese beiden Funktionen meistens zeitgleich stattfinden, ist die Separierbarkeit ein Problem. Es ist sehr schwer für

<sup>9</sup> Gimbal Lock bezeichnet den Verlust eines Freiheitsgrades in einem dreidimensionalen Raum. Dieser tritt auf, wenn zwei Achsen von drei kardanischen Aufhängungen (Gimbals) in eine parallele Lage rotiert werden [Wikipedia]



einen Anwender nur eine der beiden Funktionen anzuwenden ohne zeitgleich die Parameter der anderen zu ändern.

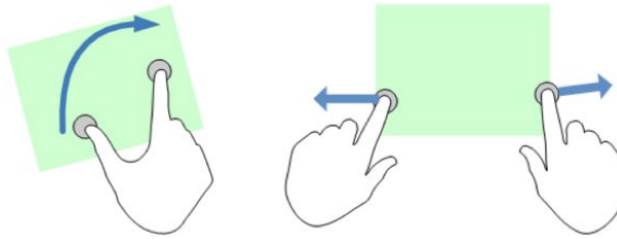


Abbildung 9: Rotate und Scale - Prominente Dualtouch-Geste (Bildquelle: <http://www.touchuserinterface.com/2009/10/thought-on-multi-touch-gestures.html>)

Insbesondere bei Multitouch-Tischen ist die Rotation grafischer Elemente von großer Bedeutung. Da sich die Anwender rund um einen Tisch beliebig platzieren können, müssen auch die Elemente der Benutzungsschnittstelle häufig frei und schnell rotierbar sein, damit sie von jeder beliebigen Position eingesehen werden können. Nur so kann die dargebotene Information richtig interpretiert werden. RST hat sich wohl auch aufgrund der Ähnlichkeit zur physikalischen Realität durchgesetzt. Objekte verhalten sich wie zum Beispiel ein Blatt Papier (Rotate, Translate) beziehungsweise wie ein Objekt aus dehnbarem Material (Scale). Zwei Finger können des Weiteren auch zur Selektion entfernter Objekte verwendet werden. Ähnlich dem Ray Casting bei der Selektion in dreidimensionalen Szenen stellt die *Finger Cross* Technik zwei Strahlen zur Verfügung, deren Schnittpunkt das zu selektierende Objekt bestimmt [Wang and Ren, 2009]. Allerdings verlangt diese Technik die Erkennung der Ausrichtung der beiden Fingerkuppen, um die Richtung der Strahlen zu definieren. Eine ähnliche Technik wird auch in [de la Rivière et al., 2008] vorgestellt. Hier werden über verschiedene berührungsempfindliche Flächen Rays zur Selektion im Raum erzeugt.

Bei komplexen Aufgaben wie der Manipulation von dreidimensionalen Daten kann es sinnvoll sein, mehr als zwei Finger zur Interaktion zu verwenden. Allerdings ist die Wahl der Fingeranzahl vorsichtig zu treffen, da die Verwendung von mehreren Fingern eine hohe kognitive Belastung beim Anwender erzeugt. Es kann daher sinnvoll sein, eine komplexe Aufgabe in einzelne, sequentielle Teilaufgaben zu unterteilen, die mit ein oder zwei Berührungspunkten gelöst werden können. Eine Ausnahme bilden Interaktionstechniken, die aus dem Alltag bekannt sind, wie zum Beispiel das Greifen. Menschen sind es gewohnt, mit allen fünf Fingern der Hand etwas zu greifen. Aufgrund der somatosensorischen Rückkopplung kann eine solche Geste sehr präzise auch auf Oberflächen ausgeführt werden. So können die Kanten eines grafischen Objektes an vielen Stellen gleichzeitig virtuell ergriffen werden, um es zu selektieren und anschließend zu

*Multitouch-Gesten*

manipulieren (vgl. [Wilson, 2009]). Mehrere Finger können des Weiteren verwendet werden, wenn die Präzision der Eingabedaten erhöht werden soll [Liu et al., 2006]. Auch erlaubt das Verwenden mehrerer Finger einer Hand einen Rückschluss auf die Ausrichtung von Hand und Arm und somit eine Anpassung der grafischen Objekte sowie Rotation und Translation mit mehreren Fingern, wie unter anderem in [Wilson, 2009] beschrieben.

Insbesondere die Rotation im dreidimensionalen Raum wird in vielen Forschungsarbeiten mit mehr als zwei Fingern realisiert. Oftmals werden zwei Finger verwendet, um eine Rotationsachse auf der 2D-Oberfläche festzulegen. Ein dritter Finger dreht ein Objekt dann entlang dieser Achse [Hancock et al., 2009] (siehe Abbildung 10). Die *6DOF RST* Technik benutzt Single-, Dual- und Multitouch um eine vollständige Manipulation aller sechs Freiheitsgrade zu ermöglichen [Reisman et al., 2009].

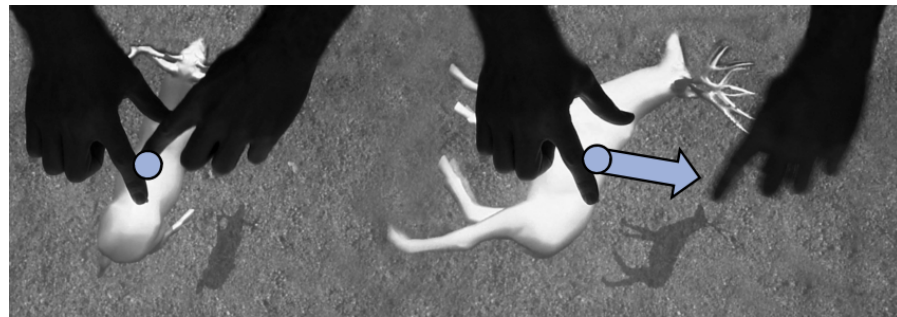


Abbildung 10: 3D-Rotation mit drei Fingern [Hancock et al., 2009]

*Keine Touch-Geste  
für alle  
Einsatzzwecke*

Abschließend bleibt festzuhalten, dass eine Vielzahl von Interaktionstechniken für einen, zwei oder mehrere Finger realisiert und getestet wurden. Es zeigt sich, dass alle Techniken verschiedene Vor- und Nachteile haben, die vom Kontext des Einsatzszenarios abhängig sind. Auch wurden die meisten Studien nur für Einzelnutzerszenarios durchgeführt und die besonderen Eigenschaften koaktiver Anwendungen wurden nicht berücksichtigt.

### 3.3.2 (Be-)greifbare Interaktionskonzepte

(Be-)greifbare Interaktion mit Objekten auf oder an einem Bildschirm bietet in der Regel drei Freiheitsgrade zur Manipulation an: Die x-/y-Position, an der sich ein Objekt auf dem Bildschirm befindet, sowie die Orientierung entlang der Bildschirmnormalen. Somit ist es mit einem einzelnen Objekt möglich mehr Freiheitsgrade zu verändern, als mit einem einzelnen Finger, aber weniger als mit zwei Fingern. Objekte werden in den meisten Fällen auf der Oberfläche bewegt und gedreht. Die Manipulation von drei Freiheitsgraden durch ein (be-)greifbares

Objekt wird von Liu et al. als *TNT Block* beschrieben [Liu et al., 2006]. In dieser Arbeit wird auch eine Studie vorgestellt, in der diese Technik mit der Interaktion durch einen oder mehrere Finger verglichen wird. Als unproblematisch erwiesen sich dabei Rotationen von unter 90 Grad, da hier noch kein Umgreifen mit der Hand notwendig ist. Auch bei größeren Winkeln war die (be-)greifbare Technik schneller als die mit zwei Fingern zu verwendende RST Technik. Bezüglich der Präzision schnitt diese Methode ebenfalls besser ab. Zudem wurde sie von den Anwendern favorisiert. Sofern nur drei Freiheitsgrade manipuliert werden müssen, die Verdeckung durch ein physikalisches Objekt unkritisch ist und hohe Geschwindigkeit und Präzision erforderlich sind, ist diese Eingabetechnik also der klassischen Fingerinteraktion vorzuziehen.

Bereits Aish merkte 1979 in seinem Entwurf einer Stadtplanungsapplikation an, dass für das Erstellen mehrstöckiger Gebäude das Stapeln von Gebäude-Objekten von Vorteil ist [Aish, 1979]. Er stellte fest, dass dazu jedoch interne Logik und Elektronik in den Interaktionsobjekten vorhanden sein muss. Stapeln und anderes Kombinieren von Objekten ist eine uns aus dem Alltag gut bekannte Geste zur Arbeitsorganisation. Das 1997 von Gorbet et al. vorgestellte *Triangles* benötigt zwar kein Stapeln, allerdings können hier Dreiecke miteinander kombiniert, also aneinandergelegt werden [Gorbet and Orth, 1997]. In diesem System werden Mikrocontroller verwendet, welche die Kopplung erkennen und an einen angeschlossenen Computer weiterleiten. Zwar würde ein Multitouch-Tisch das Aneinanderlegen von Objekten auf der Oberfläche erkennen können, jedoch nur solange diese Objekte zweidimensional verbunden werden und auf der Oberfläche verweilen. Ein ähnliches System, das auch in Verbindung mit interaktiven Bildschirmen verwendet wird, sind die *Computational Building Blocks* [Anderson et al., 2000]. Hier werden Bausteine zusammengesteckt und dies durch interne Elektronik vom System erkannt. Optische Systeme, wie *Lumino* [Baudisch et al., 2010] (Abbildung 11) oder *Stacks on Surface* [Bartindale and Harrison, 2009] kommen zwar ohne elektronische Bauteile aus, da sie auf optischen Musterverfahren basieren, sie haben allerdings den Nachteil, dass mit ihnen sehr präzise interagiert werden muss. Nur wenn die Objekte direkt aufeinander liegen, ergibt sich an der Unterseite ein Muster, welches eindeutig für die vorhandene Objektstapelung steht und erkannt wird. Insbesondere in diesem Bereich der Objektkombination sowie der freien Bewegung von Objekten ist in Zukunft vermehrt mit dem Einsatz von Tiefenbildkameras zu rechnen, wie von Wilson angeregt [Wilson, 2007] und auch im Rahmen dieser Arbeit umgesetzt (siehe Abschnitt 5.1) wurde. Hier fehlt es allerdings noch an Ergebnissen aus der Interaktionsforschung zu Gesten und Effizienz.

Eine besondere Form der (be-)greifbaren Interaktion sind digitale Stifte. Da Menschen es gewohnt sind, mit Stiften auf Papier zu interagieren,

*Stapeln und  
Kombinieren*

*Stiftbasierte  
Interaktion*

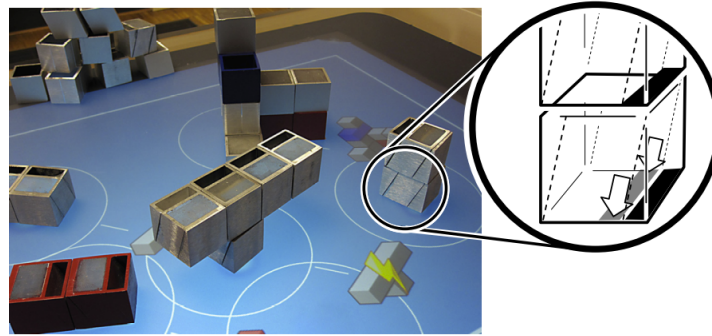


Abbildung 11: Lumino - Durch Stapelung ergeben sich eindeutige optische Marker [Baudisch et al., 2010]

#### Texteingabe

stellen digitale Stifte ein ideales Werkzeug zur präzisen Eingabe auf interaktiven Oberflächen dar. Auch die Eingabe von Text geschieht mit digitalen Stiften auf gewohnte Art und Weise. Nutzerzentrierte Studien haben gezeigt, wie stiftbasierte Interaktion auf Multitouch-Tischen verwendet werden kann und wie Interaktionstechniken untersucht werden können [Frisch et al., 2010].

Wie bereits beschrieben, hilft dem Anwender eine passive taktile Rückkopplung, um präzise Eingaben machen zu können. Die Touch-Interaktion mit einem oder mehreren Fingern ist besonders geeignet für feinmotorische Aufgaben oder der Interaktion mit elastischen Materialien. Soll mit dem Finger allerdings Text in ein interaktives System eingegeben werden, ergeben sich unterschiedliche Schwierigkeiten. Eine gängige Variante ist die Verwendung von virtuellen Tastaturen, deren Tasten aus klickbaren Schaltflächen auf dem Bildschirm bestehen. Diese Tastaturen überdecken jedoch einen Großteil der Bildschirmfläche und verdecken somit oftmals andere Informationen, die während des Schreibens von Bedeutung sind. Auch hat eine solche virtuelle Tastatur eine schlechtere Rückkopplung, da die einzelnen Tasten nicht haptisch voneinander unterscheidbar und nicht physikalisch eindrückbar sind. Es kommt deshalb schneller zu Fehlern bei der Texteingabe [Hirche et al., 2008]. Andererseits ist eine gewisse Größe der Tastatur aus ergonomischen Gründen und zur Fehlerreduzierung sinnvoll. Diese Eigenschaften zeigen den Designkonflikt bezüglich tastaturbasierter Texteingabe auf sowie die Notwendigkeit der Berücksichtigung und Abwägung verschiedenster Faktoren.

Insbesondere bei der Arbeit an Tischen, zum Beispiel einem Schreibtisch, sind Menschen es gewohnt kurze Texte oder Annotationen mit Hilfe von Stiften zu erledigen. Sie sind schnell greifbar und erlauben eine präzisere Eingabe als Finger, zum Beispiel für feine Linien. Am Media Interaction Lab der FH Hagenberg in Österreich wurde der FLUX entwickelt [Leitner et al., 2009]. Dies ist ein auf FTIR-Technologie basierender Multitouch-Tisch, dessen waagerechte Projektionsfläche sich zu Präsentationszwecken aufrichten lässt. Ferner ist es möglich, mit digitalen Stiften auf dem Tisch zu interagieren. Als Anwendungs-

szenarien werden kollaborative Diskussionsrunden genannt. Durch die Interaktion mit mehreren Stiften lässt sich die Eingabe stets einem Anwender zuordnen.

Die Kombination von Multitouch- und Stifteingabe hat sich bereits in mehreren Projekten als besonders günstig herausgestellt. Insbesondere scheint sie geeignet für große Interaktionsflächen, bei denen einfache und schnelle Interaktion mit mehreren Fingern erfolgen kann und sehr präzise Aufgaben, wie Texteingabe, mit Stiften möglich sind [Bakker et al., 2007]. Die von Brandl et al. vorgestellte Studie zeigt, dass diese Art der Kombination am schnellsten und genauesten ist und außerdem beim Anwender den größeren Zuspruch im Gegensatz zu reiner Finger- oder reiner Stiftinteraktion erfährt [Brandl et al., 2008]. Sollen Stifte für fortgeschrittene Interaktionstechniken verwendet werden, kann zum Beispiel der Druck, mit dem die Mine auf die Oberfläche einwirkt, hinzugenommen werden. So können Objekte in verschiedene diskrete Tiefen bewegt werden. Der ImpAct Stift [Withana et al., 2010] verfügt über zwei ineinandergesteckte Komponenten, so dass er virtuell in einen Bildschirm hineingedrückt werden kann (siehe Abbildung 12). Er verfügt über eine aktive haptische Rückkopplung, indem er selbstständig ausfährt und somit eine Kraft auf die Hand des Anwenders ausübt. Ferner werden Lagesensoren verwendet. Durch diese ist die Orientierung des Stiftes im Raum bekannt und sie kann auf virtuelle Objekte übertragen werden.

*Kombination von  
Touch- und  
Stiftinteraktion*

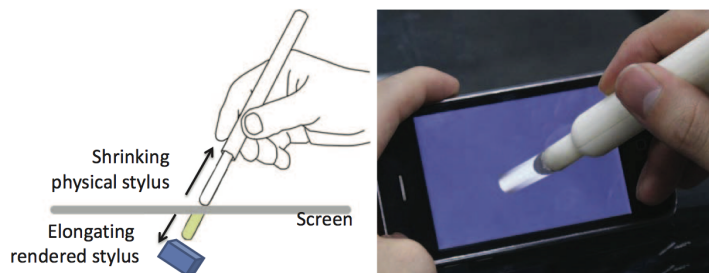


Abbildung 12: ImpAct - Eindrückbarer Stylus [Withana et al., 2010]

Wie in diesem Abschnitt gezeigt wurde, gibt es auch aus dem Bereich der (be-)greifbaren Interaktion, der Stiftinteraktion und der Kombination mit Multitouch-Interaktionen signifikante Studienergebnisse, die bei der Entwicklung zukünftiger Anwendungen in diesem Bereich berücksichtigt werden sollten. Die meisten Studien berücksichtigen jedoch ausschließlich einzelne Nutzer und die Anwendungsfälle variieren stark.

### 3.3.3 Interaktionskonzepte für Hand- und Körpergesten

Genau wie Multitouch- und (be-)greifbare Interaktionen sind auch Interaktionskonzepte für Hand- und Körpergesten bereits lange Zeit Gegenstand der Forschung. Bereits in den 90er Jahren standen in

Verbindung mit VR-Trackingsystemen 3D-Eingabedaten zur Verfügung. Zur gleichen Zeit haben zahlreiche Studien stattgefunden, die Interaktionskonzepte und Metaphern miteinander vergleichen. Diese bezogen sich vor allem auf Selektions-, Manipulations- und Travel<sup>10</sup>-Aufgaben und wurden oft in sogenannten *Testbeds* durchgeführt, die in Unterabschnitt 3.4.2 näher beschrieben werden.

Selektionsgesten

Poupyrev et al. zeigten 1998, dass *Virtual Pointer* - ein auf Ray Casting basierendes Verfahren für die Selektion - und *Virtual Hand*, bei dem durch Berührung eines Objektes mit einem 3D-Cursor selektiert wird, keinen entscheidenden Effizienzunterschied aufweisen [Poupyrev et al., 1998]. Dabei ist *Virtual Hand* nur für nahegelegene Objekte anwendbar, die sich in Armreichweite des Anwenders befinden, so dass gegebenenfalls eine vorherige Travel-Aufgabe durchgeführt werden muss. Selektionen können zusätzlich durch Greifgesten ausgelöst werden, was eine Selektion in Szenen mit zahlreichen Objekten erleichtert [Hilliges et al., 2009]. Einfacher sind Armverlängerungstechniken wie *GO-GO*- oder *HOMER* [Bowman and Hodges, 1997]. Hier bewegt sich die virtuelle Hand im Nahbereich des Anwenders mit einem *Control/Display Ratio*<sup>11</sup> von 1:1, ab einem bestimmten Schwellenwert ändert sich dieser Wert aber zu 1:N ( $N > 1$ ) mit steigendem N bei steigender Entfernung. Das bedeutet, die virtuelle Hand entfernt sich bei mit größerer Distanz weiter vom Anwender, als die reale Hand des Anwenders es tut. Wird die Entfernungszunahme exponentiell gewählt, lassen sich auch sehr weit entfernte Objekte erreichen. Obwohl dies eine in der realen Welt unmögliche Technik ist, wird sie von Anwender als natürlich und einfach anwendbar bewertet [Bowman and Hodges, 1997]. Andere Selektionstechniken verwenden Ray Casting bei denen ein virtueller Strahl in eine 3D-Szene oder auf ein 2D-Interface geschickt wird. Das erste Grafikobjekt, das von diesem Strahl getroffen wird, wird selektiert. Hier gibt es verschiedene Ansätze bei der Umsetzung, die sich durch die Definition von Ursprungspunkt und Richtung des Selektionsstrahls unterscheiden und folglich ein- oder zweihändig realisierbar sind [Jota et al., 2010] [Argelaguet and Andujar, 2009]. Auch *Image Plane* Techniken, bei denen die Hand verwendet wird, um im Blickfeld des Anwenders durch unterschiedliche Gesten ein Objekt zu selektieren oder zu manipulieren [Jota et al., 2010], ist ein solches Beispiel. Projiziert auf eine virtuelle Ebene (*Image Plane*) lässt sich eine einfache 2D-Interaktion auch auf 3D-Objekte übertragen. Dieser Ansatz erfordert jedoch ein

<sup>10</sup> Travel = Der Prozess der Positionsveränderung zwischen zwei Orten in einer 3D-Umgebung

<sup>11</sup> Control/Display Ratio beschreibt das Verhältnis, mit dem Bewegungen von Eingabegeräten oder Gesten an ein interaktives System übertragen werden [Bowman, 2013]. 1:1 entspricht der physikalischen Realität, N:M beschreibt eine langsamere Bewegung, zum Beispiel für präzise Interaktionen, in der Visualisierung (wenn  $N > M$ ) und eine schnellere Bewegung, zum Beispiel um einfach große Distanzen zu überwinden (wenn  $M > N$ ).

Kopftracking. Eine solche Technik wurde auch im Rahmen dieser Arbeit konzipiert und evaluiert (siehe Abschnitt A.2, auf Seite 174). Für die Manipulation von Grafikobjekten wurden ebenfalls bereits zahlreiche Handgesten entwickelt, die oftmals mit den beschriebenen Selektionstechniken einhergehen und eine direkte Manipulation erlauben (z.B. GOGO oder Virtual Hand). Erweiterungen dieser Ansätze finden sich zum Beispiel in *Pinching Hand*, die ein- oder zweihändig anwendbar ist und gleichzeitiges Verschieben und Rotieren eines Objektes erlaubt [Osawa and Asai, 2010]. Für eine Skalierung von Objekten werden meistens zwei Hände verwendet, die über ihren Abstand die Größe eines Objektes festlegen [Hirsch et al., 2009] [Lucas et al., 2005].

*Manipulations-  
gesten*

Zur Navigation mit Körpergesten gibt es Ansätze, die mit einer Hand- oder Armsteuerung arbeiten [Hirsch et al., 2009], indem Positionen der Hand oder des Armes kontinuierlich auf die Bewegung der virtuellen Kamera übertragen werden. Ware und Osborne unterscheiden eine *Eyeball in Hand*-Metapher und eine *Scene in Hand*-Metapher, abhängig davon, ob die virtuelle Kamera oder die Szene manipuliert werden [Ware and Osborne, 1990]. In immersiven VR-Anwendungen hingegen wird die reale Position und Orientierung eines Anwenders im 3D-Raum getrackt und auf die virtuelle Kamera übertragen. Daiber et al. untersuchen des Weiteren einfache Gesten wie Körperneigungen und Fußgesten zur Navigation in räumlichen Daten [Daiber et al., 2011].

### 3.3.4 Zusammenfassung der Interaktionskonzepte

In diesem Abschnitt wurden verschiedene Studien beschrieben, bei denen natürliche Benutzungsschnittstellen und Interaktionstechniken miteinander verglichen wurden. Es lässt sich feststellen, dass für das Interaktionsdesign solcher Anwendungen keine alleingültige optimale Lösung existiert, die Entscheidung vielmehr von einer Vielzahl Parameter abhängt. Dazu gehören unter anderem die zur Verfügung stehende Technologie, die benötigte Präzision oder die Dimension der Daten, die zu manipulieren oder in denen zu navigieren ist. Des Weiteren behandeln die vorgestellten Beispiele größtenteils Einzelnutzer-Systeme. Koaktive Szenarien haben weitere, teils komplexere Anforderungen an die Gestaltung und die technische Ausstattung. Beim Interaktionsdesign müssen solche Aspekte daher gründlich beachtet werden. Hierfür sind bereits Ansätze aus der Literatur bekannt, jedoch kaum für den Bereich der interaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen. Die resultierende Frage ist, wie existierende Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns für dieses Anwendungsgebiet angepasst werden können. Dazu wird im nach-

folgenden Abschnitt zunächst detailliert auf relevante Konzepte des Interaktionsdesigns eingegangen.



### 3.4 VORGEHENSWEISEN DES INTERAKTIONSDESIGNS FÜR INTERAKTIVE ANWENDUNGEN MIT NATÜRLICHEN BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN

Die Disziplin Interaktionsdesign hat die Gestaltung interaktiver IT-Systeme mit hoher Gebrauchstauglichkeit zum Ziel [Lowgren, 2013]. „Aufgabe des Interaktionsdesigns ist es, Benutzer zu befähigen, Funktionalität und Information zu erkennen, zu dekodieren, zu verstehen und daraufhin geeignet zu kommunizieren oder zu handeln“ [Herczeg, 2006]. Das bedeutet, dass Interaktionsdesigner sowohl die Eingabe eines Anwenders in ein interaktives System als auch die Reaktion des Systems in einer gesamtheitlichen Gestaltung berücksichtigen müssen. Anerkannte Konventionen gilt es zu berücksichtigen, sofern diese existieren [Lowgren, 2011]. Das Interaktionsdesign kann somit, wie in Unterabschnitt 2.1.2 beschrieben, der Teil des Usability Engineering sein, der sich auf die MCI einer interaktiven Anwendung fokussiert. Es existieren zahlreiche Schnittstellen zum Usability Engineering, da es auch für das Interaktionsdesign erforderlich ist, alle Charakteristika und Parameter eines zukünftigen Systems zu kennen. Weitere wichtige Faktoren sind auch die Wahrnehmung und die kognitive Belastbarkeit der künftigen Anwender [Shen et al., 2006]. In vielen Fällen haben Interaktionsdesigner langjährige Erfahrung und sind aufgrund dieser in der Lage, qualitativ hochwertige Entwürfe für verschiedene Anwendungsbereiche zu gestalten. Sketching und Prototyping sind dabei wichtige Prozessabschnitte [Lowgren, 2013].

Gerade der Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen erfährt derzeit starkes Forschungsinteresse. Es werden viele Studien durchgeführt, die verschiedene Interaktionstechniken, zugrundeliegende Technologien oder Interaktionsmetaphern untersuchen und evaluieren, wie in den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels dargelegt wurde. Es ist meist schwierig, diese Studienergebnisse miteinander zu vergleichen, da sie mit verschiedenen Systemen vorgenommen wurden und den Anwendern unterschiedliche Interaktionsaufgaben (sogenannte *Interaktionstasks*) gestellt wurden. Es bedarf folglich einheitlicher Kriterien, die ein Interaktionsdesign bewertbar machen [Herczeg, 2006]. Diese Bewertungen sind von großer Bedeutung für das Interaktionsdesign, da sie für zukünftige Entwicklungen archiviert und daher Entwicklern zugänglich gemacht werden können.

Die Integration in das Usability Engineering ist ein wesentlicher Bestandteil des Interaktionsdesign [Cooper et al., 2007] und sollte entsprechend in Prozessen des Interaktionsdesigns berücksichtigt werden. Abbildung 13 zeigt den nach ISO 9241-210 [9241-210, 2010] definierten Prozess der menschenzentrierten Gestaltung. Er ist zyklisch aufgebaut und enthält vier Phasen, ohne dabei auf die im konkreten eingesetzten Methoden einzugehen. Im Usability Engineering spielt sowohl das Interaktionsdesign, als auch das Software Engineering eine große

Rolle. In [Nebe, 2009] werden die Verknüpfungspunkte von Software Engineering und Usability Engineering beschrieben, sowie Anforderungen definiert, die dazu beitragen, die Disziplinen miteinander zu kombinieren, mit dem Ziel einer vollständigen Integration. Auf die Integration des Interaktionsdesigns in den Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210 für den Kontext dieser Arbeit wird in Unterabschnitt 4.5.2 noch einmal eingegangen.

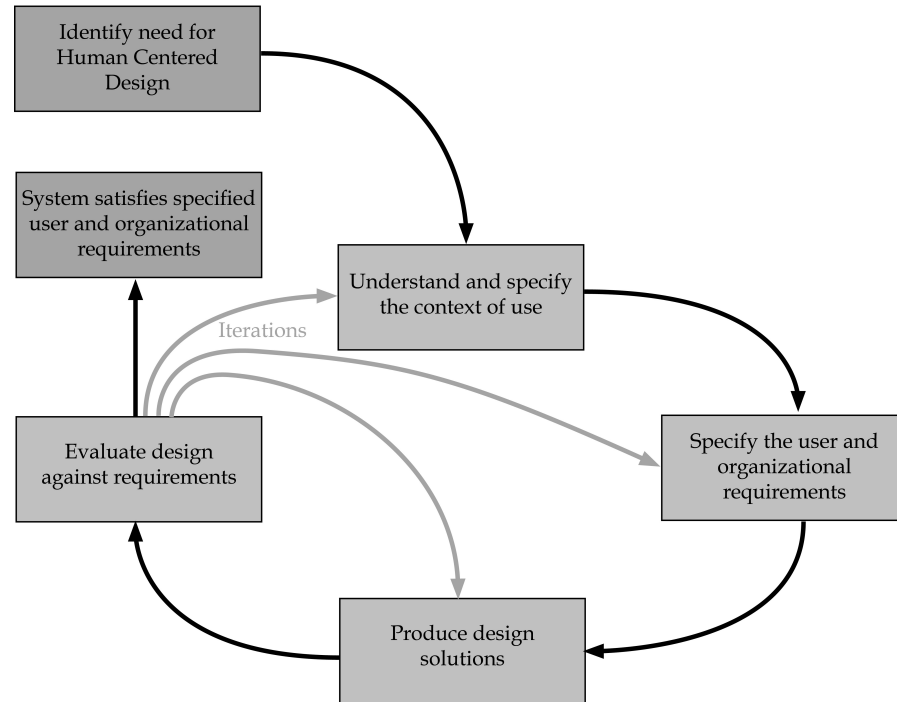


Abbildung 13: Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210 [9241-210, 2010]

Nachfolgend in diesem Abschnitt werden Vorgehensweisen zum systematischen Interaktionsdesign für interaktive Anwendungen und verwandte Forschungsbereiche beschrieben. Diese kommen vor allem bei komplexen Aufgabenstellungen zum Einsatz. Sie lassen sich in einen Gesamtprozess des Usability Engineering integrieren und können daher zur Effizienzsteigerung bei der Entwicklung menschenzentrierter interaktiver Anwendungen beitragen. Zunächst werden Taxonomien für Interaktionstechniken beschrieben. Diese zerlegen komplexe Interaktionen in Einzelkomponenten und machen diese auf Basis qualitativer Parameter bewertbar. Solche Parameter sowie Charakteristika, die das interaktive System beschreiben, werden in Unterabschnitt 3.4.2 erläutert. Abschließend werden weitere Vorgehensweisen sowie die Integration in Usability Engineering Prozesse geschildert.

### 3.4.1 Taxonomien von Interaktionstechniken

In diesem Abschnitt werden Forschungsarbeiten vorgestellt, in denen Taxonomien verwendet wurden, um Interaktionstechniken zu strukturieren, in dem sie hierarchisch in Einzelkomponenten unterteilt werden. William Buxton beschrieb bereits 1983 den Vorteil, dass Studienergebnisse bezüglich Interaktionstechniken und Benutzungsschnittstellen derart kategorisiert werden können, dass der Vergleich von einzelnen Komponenten in einer Taxonomie möglich wird [Buxton, 1983]. Dies hat den Vorteil, dass eine vergleichende Analyse über die Eignung einer Komponente in einem spezifischen Nutzungskontext erfolgen kann. Es existieren insbesondere Arbeiten aus dem Forschungsgebiet VR. Dies ist vorrangig in der Anzahl der zu kontrollierenden Freiheitsgrade bei dreidimensionaler Interaktion und der daraus resultierenden Komplexität der Interaktionstechniken begründet. Aus diesen Ansätzen ergeben sich eine Vielzahl von Parallelen zu den in dieser Arbeit behandelten Problemstellungen, vor allem der Mehrdimensionalität und der Multimodalität der Ein- und Ausgabe, der unterschiedlichen Technologien, die zum Einsatz kommen können und der Vielzahl denkbarer Metaphern, an denen sich eine Interaktionstechnik orientiert.

Eine Taxonomie stellt eine Klassifikation dar, die meist hierarchisch abgebildet wird. Sie ist somit ein Klassifikationsschema, das Objekte *"nach bestimmten Kriterien klassifiziert, das heißt, sie in bestimmte Kategorien oder Klassen [...] einordnet"* [Koschnik, 1993]. Eine solche Klassifizierung kann verwendet werden, um komplexe Zusammenhänge oder Abläufe hierarchisch auf einheitliche Ebenen herunterzubrechen. Auch zeitliche Abläufe von Prozessen oder Vorgehensweisen lassen sich abbilden. Dies ermöglicht den Vergleich von Elementen auf gleicher Ebene und mit gleicher Ablauffolge einer hierarchischen Taxonomie. Taxonomien haben des Weiteren den Vorteil, dass sie sich einfach in digitale Datenstrukturen überführen lassen, also auf bekannte Formate der Informatik wie beispielsweise Bäume. Dies ermöglicht die Realisierung von automatisiertem Suchen und Vergleichen sowie ein Editieren einer Taxonomie. Für derartige Operationen existieren bereits zahlreiche Werkzeuge und Algorithmen sowie fundiertes theoretisches Wissen. Durch die Überführung in digitale Datenstrukturen lassen sich Taxonomien auch einfach und unterschiedlich visualisieren und visuell manipulieren. Eine visuelle Abbildung in Form von Graphen steigert die Wahrnehmungsfähigkeit des Betrachters und ermöglicht ein besseres Übermitteln und Verstehen [Few, 2010].

Da Taxonomien, wie bereits aufgeführt, auch zeitliche Abläufe abbilden können, lassen sich dadurch komplexe Wechselwirkungen zwischen Anwendern, Aufgaben und Systemeigenschaften in eine Reihenfolge bringen [Stanney, 1995]. Getrieben durch immer bessere Möglichkeiten der Informationsvisualisierung beschäftigten sich Yi et

*Taxonomien in der Informatik*

*Taxonomien von Interaktionstechniken*

al. 2007 mit einer umfassenden Recherche bezüglich Interaktionstaxonomien und gliederten existierende in *Taxonomien von Low-Level Interaktionstechniken*, *Dimensionen von Interaktionstechniken*, *Interaktions-Operationen* sowie *User Tasks* [Yi et al., 2007]. Während die meisten Taxonomien aus der Gruppe der Low-Level Interaktionstechniken für spezielle Anwendungsfälle der Informationsvisualisierung wie z.B. der Darstellung von Graphen oder Scatterplots entworfen wurden [Buja et al., 1996] [Wilkinson et al., 2005] [Chuah and Roth, 1996], finden sich hier auch die 1996 von Shneiderman definierten Interaktionskategorien *Overview*, *Zoom*, *Filter*, *Details-on-Demand*, *Relate*, *History* und *Extract* [Shneiderman, 1996]. Diese besitzen eine allgemeingültige, domänenunabhängige Anwendbarkeit und wurden von Yi et al. der Gruppe der User Tasks zugeordnet. Wie in der Diskussion des Artikels aufgeführt wird, sind die Abgrenzungen zwischen Interaktionstechniken, Operationen und den User Tasks aber nicht immer einfach zu definieren [Yi et al., 2007]. Sie unterliegen oft der Wortwahl der jeweiligen Autoren. Letztlich ist auch die von Yi et al. entwickelte, resultierende Taxonomie nicht auf beliebige Anwendungsgebiete der interaktiven Informationsvisualisierung übertragbar, sondern zielt vor allem auf numerische Daten und Relationen von Elementen ab. Beispielsweise sind User Tasks wie „*Reconfigure: Show me a different Arrangement*“ [Yi et al., 2007] für Geo-Visualisierungen aufgrund der statischen Daten in dieser Domäne nicht ohne Weiteres übertragbar. Es ist daher festzustellen, dass es herausfordernd ist, einen Mittelweg aus Allgemeingültigkeit wie bei Shneiderman und konkretem Domänenbezug und damit einer einfachen hierarchischen Unterteilung zu finden.

Eine der ältesten Arbeiten, die bereits eine Taxonomie von Interaktionstechniken beschreibt, stammt von Moran aus dem Jahre 1981. Ziel des Autors war es, die Signifikanz von sowohl den linguistischen, den psychologischen, als auch den gestalterischen Aspekten von Benutzungsschnittstellen der MCI herauszustellen. Der Autor stellt eine aus drei Komponenten bestehende Taxonomie vor, bei der jede Komponente über zwei Level verfügt [Moran, 1981] (siehe Abbildung 14). Unter der ersten, sogenannten *Conceptual Component*, befindet sich neben dem *Task Level*, der die Aufgaben, die ein Nutzer mit dem System erfüllen möchte, beschreibt auch der *Semantic Level*, eine Beschreibung der konzeptuellen Einheiten und Operationen des Systems. In der *Communication Component* befinden sich der *Syntactic Level*, der die Struktur und Sprache des *Semantic Level* repräsentiert, sowie der *Interaction Level*, der die physikalischen Aktionen des Anwenders beschreibt. Die *Physical Component* besteht schließlich aus dem *Spatial Level*, der das Arrangement von visuellen Ausgabeelementen auf dem Bildschirm beschreibt und dem *Device Level*, der Informationen und Eigenschaften von verwendeten Eingabegeräten abbildet (vgl. Abbildung 14). Es wird ersichtlich, dass diese Taxonomie nicht nur den

vom Anwender ausgeführten Teil einer Interaktionstechnik beinhaltet, sondern auch die Hardware, die Ausgabe und den konzeptionellen Teil einer Interaktion miteinbezieht. Auch Plaisant et al. veröffentlichten 1995 eine Taxonomie, deren Schwerpunkt nicht die Nutzereingabe, sondern die Visualisierung für den Anwendungsfall eines Image Browsers ist [Plaisant et al., 1995].

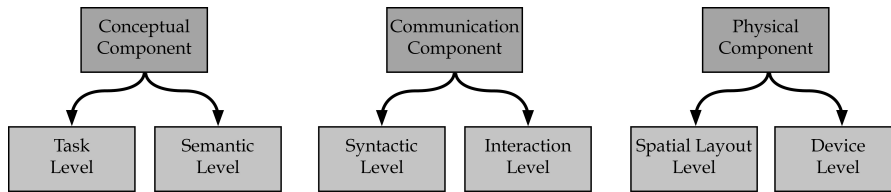


Abbildung 14: Taxonomie für Interaktionstechniken nach Moran [Moran, 1981]

Paterno und Lecerof entwickelten Ende der neunziger Jahre sogenannte Task Models [Lecerof and Paterno, 1998], siehe Abbildung 15 und Abbildung 16. Mit diesem Model lassen sich Interaktionsaufgaben, die sich einem Anwender stellen, auf kleinste Einzelaufgaben herunterbrechen. Diese Einzelaufgaben können Abhängigkeiten oder Beziehungen zueinander haben, so dass sich zeitliche Abläufe oder Informationsflüsse mit den Task Models abbilden lassen [Paterno et al., 1997]. Die resultierende Notation bezeichnen die Autoren als Concur-TaskTree. Sie ähnelt den hierarchischen Taxonomie-Ansätzen, da sie ebenfalls eine Baumstruktur repräsentiert. Die Knoten des Baumes können hierbei User Tasks (vom Anwender ausgeführt, ohne mit dem System zu interagieren), Application Tasks (von der Anwendung ausgeführte Arbeitsschritte), Interaction Tasks (Eingaben des Anwenders in das System) oder Abstract Tasks (Komplexe, noch nicht vollständig beschriebene Aktionen) sein [Lecerof and Paterno, 1998]. Jeder Knoten kann hierbei als wiederverwendbare Softwarekomponente betrachtet und realisiert werden, so dass eine automatische Überführung in Softwarekomponenten für das User Interface möglich ist [Paterno et al., 1997].

Abgrenzend zu den bisher erwähnten Taxonomien, die viele unterschiedliche in eine Interaktion involvierten Aspekte betrachten, werden im Folgenden weitere Arbeiten beschrieben, in denen Taxonomien verwendet werden, um Interaktionstechniken und ihren zeitlichen Ablauf strukturiert zu zerteilen. Diese beschreiben ausschließlich den vom Anwender ausgeführten Teil einer Interaktionstechnik, also die Interaction Tasks gemäß Paterno und Lecerof, und berücksichtigen dabei unterschiedliche Eingabetechnologien, Abläufe und Metaphern. Aus den initialen Überlegungen zu Interaktionstaxonomien entstanden Ende der 90er Jahre vor allem im Forschungsgebiet VR viele Taxonomien von Interaktionstechniken. Neben einer einfachen Klassifizierung wurde begonnen, die *Interaktionstasks* in *Subtasks* zu zerlegen, die sich wiederum aus *Components* zusammensetzen [Bowman et al., 1999]

*Taxonomien aus der VR*

**User task****Abstract task****Interaction task****Application task**

Abbildung 15: Task-Komponenten der Task Models nach Lecerof und Paterno [Lecerof and Paterno, 1998], Bildquelle: [Lecerof and Paterno, 1998]

[Bowman and Hodges, 1999]. Abbildung 17 zeigt den allgemeinen Aufbau einer hierarchischen Taxonomie für VR Interaktionstechniken. Den Vorteil dieses Vorgehens beschrieben Bowman et al. 1999 darin, dass die *Components* in der Taxonomie zu neuen Techniken kombiniert werden können und sich so auch unterschiedliche Metaphern in einer Interaktionstechnik realisieren lassen [Bowman and Hodges, 1999]. Des Weiteren entstehen für einen Interaktionsdesigner Auswahlmöglichkeiten beziehungsweise Entscheidungsnotwendigkeiten und es lässt sich mit Hilfe einer hierarchischen Taxonomie der Entwurf von Interaktionstechniken in einem *Guided Design Prozess* leiten [Bowman and Hodges, 1999] (eine detaillierte Beschreibung des Prozesses folgt in Unterabschnitt 3.4.3).

Diese VR-Taxonomien, sowie die im Rahmen dieser Arbeit entworfene Taxonomie für Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen, orientieren sich insbesondere an *Task Level*, *Interaction Level* und *Device Level* aus der Taxonomie von Moran. Sie beziehen sich also nicht auf die Visualisierung, sondern haben den vom Anwender ausgehenden Teil der Interaktionstechnik im Fokus.

Nachdem Mark R. Mine bereits 1995 für das Anwendungsgebiet VR motivierte, 3D-Interaktionstechniken als wiederverwendbare Building Blocks zu beschreiben [Mine, 1995], wurde versucht, relevante Interaktionstaxonomien zu entwerfen. So brach Mine den Interaktionstask *Selektion* (Auswahl eines 3D-Objektes) auf die Einzelschritte *Identifikation* und *Bestätigung* herunter [Mine, 1995]. Hier zeigt sich bereits, dass auch die Modellierung des zeitlichen Ablaufs mit Hilfe von hierarchischen Taxonomien wichtig und möglich ist. Neben der Selektion haben auch andere Interaktionstasks eine große Bedeutung in der VR. Poupyrev et al. beschrieben 1997 *Position*, *Selection*, *Orient*, *Text* und

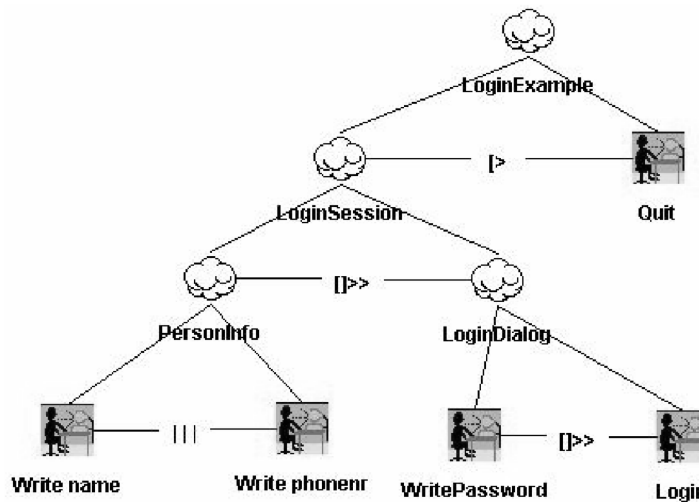


Abbildung 16: Exemplarisches Task-Model nach Lecerof und Paterno [Lecerof and Paterno, 1998], Bildquelle: [Lecerof and Paterno, 1998]

*Quantify* (die Eingabe numerischer Werte) als übergeordnete Tasks [Poupyrev et al., 1997]. Im selben Jahr stellten Bowman et al. eine Taxonomie für Traveltechniken, also die aktive Bewegung in einer virtuellen Welt, vor [Bowman et al., 1997]. Die Abfolge der Aktionen für diesen Task legten sie durch die Subtasks *Direction / Target Selection*, *Velocity / Acceleration Selection* und *Input Conditions* (z.B. ob eine kontinuierliche Eingabe oder Start / Stop Befehle erfolgen) fest (siehe Abbildung 18). Ein Jahr später erschien eine vergleichbare Arbeit, die sich speziell mit den Manipulationstechniken der VR beschäftigte [Poupyrev et al., 1998], also der Veränderung von Position, Orientierung oder Größe virtueller 3D-Objekte. Die Autoren unterschieden dabei zwischen egozentrischen und exozentrischen Perspektiven. 1999 beschrieben Bowman et al. schließlich eine umfangreiche Taxonomie, die sowohl Selektions- und Manipulations- als auch Traveltechniken beinhaltete [Bowman et al., 1999]. Diese Taxonomie berücksichtigt erstmals auch die Ausgabeformen, also das visuelle, auditive oder haptische Feedback an den Anwender. In den Folgejahren nach der Jahrtausendwende wurden auch kollaborative Umgebungen (sogenannte *CVEs - Collaborative Virtual Environments*) betrachtet. Fishkin präsentiert in [Fishkin, 2004] eine Taxonomie für (be-)greifbare Interaktion deren Ziel es ist, technische Frameworks zu vereinheitlichen und zukünftige Arbeiten in diesem Feld zu strukturieren. Es finden sich aus dieser Zeit jedoch keine Beiträge zur taxonomiebasierten Strukturierung von Interaktionstechniken mit dem Ziel der Unterstützung beim Interaktionsdesign.

In allen vorgestellten Forschungsarbeiten weisen die Autoren darauf hin, dass die vorgestellten Taxonomien nicht vollständig sind. Es werden jeweils zu dieser Zeit bekannte und als geeignet eingestufte Interaktionstechniken und Metaphern abgebildet. Die Autoren zeigen

*Einschränkungen  
von Interaktionstaxo-  
nomien*

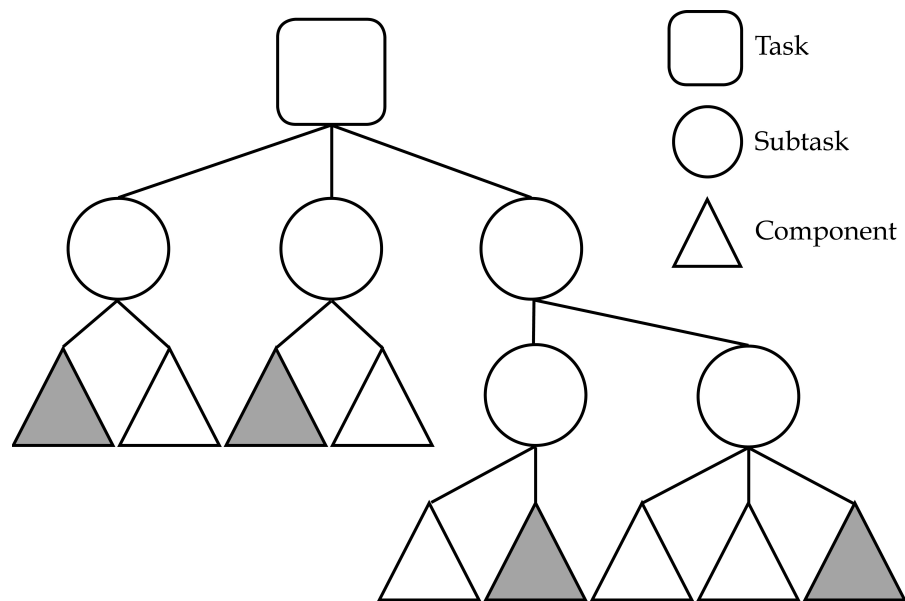


Abbildung 17: Taxonomie für Interaktionstechniken nach Bowman und Hodges [Bowman and Hodges, 1999]

aber auch, dass eine solche Taxonomie einfach für zukünftige Techniken und Metaphern erweitert werden kann.

Die Einschränkungen der Taxonomien sind vor allem, dass die Interaktionstechniken nur für spezifische Eingabegeräte geeignet sind. So ist bei den VR-Techniken beispielsweise oft Voraussetzung, dass sechs Freiheitsgrade von Kopf, Hand bzw. Eingabegerät erfasst werden. Des Weiteren ist die Wiederverwendbarkeit von Komponenten, aus denen sich Interaktionstechniken zusammensetzen, nur bedingt möglich. Dies scheitert in der Softwareentwicklung oft aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Toolkits, Szenengraphbibliotheken und Gerätetreibern.

*Taxonomiebasiertes  
Interaktionsdesign:  
Vor- und Nachteile*

Die hier vorgestellten Ansätze zum taxonomiebasierten Interaktionsdesign zeigen auf, dass eine strukturierte Zerteilung von Interaktionstechniken sinnvoll ist, um Einzelkomponenten vergleichbar zu machen. Taxonomien geben Struktur und Ebenen vor, auf die Interaktionstechniken heruntergebrochen werden können. Dabei ist es meistens nicht möglich, die Taxonomien neutral gegenüber der Anwendungsdomäne zu gestalten. Auch sind Taxonomien nie vollständig, da neue Interaktionstechniken oder zugrundeliegende Metaphern entworfen werden können oder existierende Techniken abgeändert werden können. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn sich neue Techniken ergeben, die effektiver für bestimmte Szenarien oder insgesamt einfacher zu bedienen sind.

Innerhalb einer hierarchischen Taxonomie ergeben sich Auswahlmöglichkeiten sowie Entscheidungsnotwendigkeiten. Dies ist in Abbildung 17 durch die grau eingefärbten *Components* visualisiert. Diese bilden eine Entscheidungsmöglichkeit, da bei dieser Taxonomie jeweils



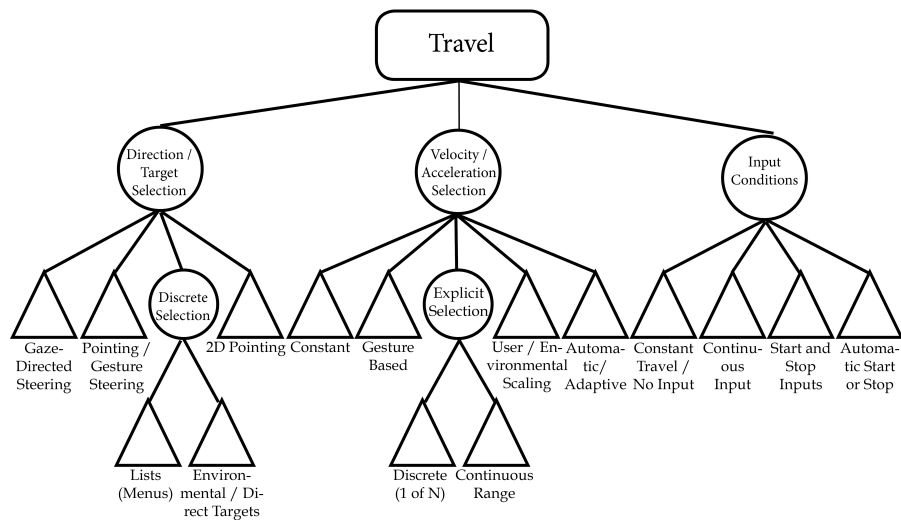


Abbildung 18: Taxonomie für den VR Task Travel [Bowman et al., 1997]

nur eine *Component* erforderlich ist, einen *Subtask* umzusetzen. Taxonomien sind außerdem in der Lage, zeitliche Abläufe und Metaphern abzubilden und daher insgesamt ein guter Ausgangspunkt für einen strukturierten Prozess des Interaktionsdesigns. Dafür bedarf es aber aussagekräftiger Evaluierungen auf Basis eindeutiger Parameter und Charakteristika, die einem Interaktionsdesigner bei der Entscheidung helfen.

### 3.4.2 Charakteristika, Test und Evaluierung von Interaktionstechniken

Die beschriebenen Taxonomien sind ein guter Ansatz für eine strukturierte Analyse von Interaktionstechniken. Sie enthalten jedoch noch keine Aussage über die Eignung der einzelnen Komponenten. Für einen Interaktionsdesigner, der einen komplexen Interaktionstask umzusetzen hat, ist es daher herausfordernd, Designentscheidungen zu treffen, da diese von einer Vielzahl Faktoren abhängig sind. Diese im Folgenden als Charakteristika bezeichneten Faktoren werden in diesem Abschnitt erläutert. Für viele Kombinationen von Charakteristika gibt es Studien, in denen entwickelte Interaktionstechniken evaluiert wurden. Viele dieser Studien stammen aus dem Bereich VR beziehungsweise der 3D-Interaktion im Allgemeinen. Dies liegt insbesondere in der Komplexität dieser Interaktionsform begründet, da es viele Freiheitsgrade zu kontrollieren gilt und zahlreiche Metaphern für die Umsetzung einer Interaktionstechnik denkbar sind beziehungsweise bereits realisiert wurden. Nachfolgend wird diskutiert, wie diese sich auf den Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen übertragen lassen und wie qualitative Parameter zur Evaluierung von Interaktionen herangezogen werden können.

In der Literatur wurde bereits seit den Anfängen der Interaktionsforschung mit der Definition von Parametern begonnen, die eine Inter-

*Qualitative  
Parameter*

aktionstechnik einschränken oder die aus einer solchen resultieren. Mark R. Mine erwähnt 1995 die Relevanz der qualitativen Parameter Geschwindigkeit und Präzision [Mine, 1995]. In [Herczeg, 2006] und [Bevan, 2001] werden Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit der Benutzer als Oberklassen für qualitative Parameter vorgeschlagen. Sie finden sich auch als die Hauptanforderungen in den Usability Standards wieder. Diese Parameter verwenden auch Poupyrev et al. und erweitern die Liste gleichzeitig um die Anzahl der Fehler, die während der Ausführung eines Interaktionstask gemacht werden und die Korrekturen erfordern [Poupyrev et al., 1997]. Diese Parameter gehören zu der Gruppe der qualitativen Parameter, mit denen sich eine Interaktionstechnik bewerten lässt. Dies kann durch die Messung physikalischer Größen geschehen, aber auch durch Erhebung von Usability-Befragungen. Herczeg und Bevan folgend zählen die Oberklassen Effektivität und Effizienz zu den physikalisch messbaren Parametern, während die Zufriedenheit der Nutzer vorrangig durch Usability-Befragungen evaluierbar gemacht wird [Herczeg, 2006] [Bevan, 2001]. Bezüglich der Usability finden sich in der Literatur auch Anregungen zur Erhebung von Parametern wie der kognitiven Belastung, also der Verwendung von mentalen Ressourcen [Bowman et al., 1998]. Basierend auf der Hypothese, dass das menschliche Arbeitsgedächtnis nach 7 (+/- 2) Informationspaketen (sog. Chunks) an seine Aufnahmegrenze stößt [Miller, 1956], beeinflusst dies beispielsweise den Interaktionstask Travel in der VR. Hier muss sich der Anwender Wege merken und Umgebungen auskundschaften, um eine *Cognitive Map* (ein mentales Modell der Umgebung) aufzubauen. Weitere Parameter, die aus Usability-Befragungen resultieren, sind beispielsweise Situation Awareness (das Wissen eines Anwenders über seine Umgebung, siehe Unterabschnitt 3.1.3), der Schwierigkeitsgrad des Erlernens einer Interaktionstechnik, die Präsenz oder das Wohlbefinden des Anwenders.

Änderbare und nicht  
 änderbare  
 Charakteristika

Interaktionsdesign ist immer abhängig von der Hardware, auf der eine Anwendung ausgeführt werden soll, dem spezifischen Anwendungsfall und den Anwendern, die ein System bedienen sollen. So gilt es beispielsweise bei Anwendungen für mobile Endgeräte für Einzelbenutzer andere Aspekte zu berücksichtigen als für großflächige Tischdisplays, die von mehreren Personen gleichzeitig bedient werden. Viele dieser Aspekte wurden bereits vorgestellt und als Charakteristika bezeichnet.

In dieser Arbeit wird der Begriff Parameter verwendet, um die Gegebenheiten eines interaktiven Systems zu beschreiben. Sie lassen sich nicht unmittelbar durch das Interaktionsdesign beeinflussen, sondern sind Anforderungen, die an den Designer gestellt werden, beziehungsweise Gegebenheiten, die aus einem geplanten Systemaufbau resultieren. Es ist dabei angebracht zwischen Charakteristika zu unterscheiden, die generell änderbar sind und solchen, die es nicht sind.

Nicht änderbare Charakteristika, die beim Interaktionsdesign berücksichtigt werden müssen, sind zum Beispiel die Erfahrung, die ein Anwender oder eine Anwendergruppe mit sich bringt, oder die Daten, die es zu visualisieren und zu manipulieren gilt. Prinzipiell änderbar sind Charakteristika wie die Größe eines verwendeten Bildschirms oder das Eingabegerät. Es ist Aufgabe des Interaktionsdesigners, nicht änderbare Charakteristika bestmöglich zu berücksichtigen und bezüglich der änderbaren Charakteristika Design-Alternativen aufzuzeigen, wenn diese zum Beispiel in einer Verbesserung der qualitativen Parameter resultieren. Oftmals sind aber auch die prinzipiell änderbaren Charakteristika vom Auftraggeber vorgegeben und daher Anforderungen (*Requirements*), die der Designer berücksichtigen muss.

Poupyrev et al. definieren für VR-Interaktionstechniken fünf verschiedene Klassen von beschreibenden Charakteristika [Poupyrev et al., 1997]. Die Anwenderabhängigen Charakteristika beziehen sich auf den Menschen, der die Interaktion mit einem System ausführt. Ein- und ausgabegerätabhängige Charakteristika beziehen sich auf die Hardware, mit denen Daten zwischen Mensch und interaktivem System ausgetauscht werden, während interaktionstechnikabhängige Charakteristika sich auf die Softwarerealisierung einer Interaktionstechnik beziehen, also zugrundeliegende Metaphern und benötigte Bewegungsabläufe berücksichtigen. Anwendungsabhängige Charakteristika beziehen sich auf einen konkreten Anwendungsfall aus einer Domäne und aufgabenkontextabhängige Charakteristika definieren den Interaktionstask, den ein Anwender zu erfüllen hat und der sich durch einen Anfangs- und einen Endzustand definieren lässt. Für eine komplexe Interaktionstechnik, wie der 3D-Selektion und Manipulation, lassen sich zahlreiche Charakteristika aufstellen, die die Interaktionstechnik beeinflussen. Poupyrev et al. erwähnen unter anderem Distanzen zu Grafik-Objekten, die Größe von Objekten, den Grad der visuellen Verdeckung, die Richtung zu einem Grafik-Objekt, die Dynamik des Objektes, die Anzahl und Größe weiterer Objekte in der Umgebung, die benötigte Präzision oder die Sichtbarkeit eines Objektes [Poupyrev et al., 1997].

*Kategorien von  
Charakteristika*

Der initialen Idee von Poupyrev et al. folgend definierten Bowman und Hodges nur noch vier Kategorien von Charakteristika: Anwender-Charakteristika, System-Charakteristika, Umgebungs-Charakteristika sowie Aufgaben-Charakteristika [Bowman and Hodges, 1999]. Zur Gruppe der Anwender-Charakteristika zählen Parameter wie das Alter eines Anwenders, das Geschlecht, das Vorhandensein von Sehschwächen oder -behinderungen, die Körpergröße und Armreichweite, Erfahrung in der Domäne beziehungsweise mit den visualisierten Datentypen, Erfahrungen mit Computern und Technikaffinität im Allgemeinen. Parameter wie die benötigten Freiheitsgrade zur Interaktion, die benötigte Genauigkeit, die Komplexität sowie die Informationen, die vom Anwender benötigt werden, finden sich in der Gruppe der

Aufgaben-Charakteristika. Diese beiden Kategorien sind vergleichsweise allgemein gehalten und auf Anwendungsbereiche ausserhalb der VR übertragbar. Zu den System-Charakteristika gehören unter anderem das Rendering, verwendete Beleuchtungsmodelle, Verzögerungen und Bildwiederholraten, Kollisionserkennungsfähigkeiten und eingesetzte Avatare. Die Umgebungs-Charakteristika beinhalten hingegen Sichtbarkeit von Grafik-Objekten, Anzahl der Hindernisse, die Größe der virtuellen Umgebung, die Aktivität und Bewegung der Umgebung, die Präzision des Renderings sowie die Orientierung der Umgebung. In den letzten beiden Kategorien zeigt sich, dass die Charakteristika für die VR-Interaktion entworfen wurden und bereits einige Jahre alt sind. Auf Basis dieser Kategorisierung wird in Unterabschnitt 4.1.2 eine für den Kontext dieser Arbeit geeignete Kategorisierung von Charakteristika vorgenommen.

*Test und  
Evaluierung von In-  
teraktionstechniken*

Es gibt zahlreiche Studien und Publikationen, die sich mit dem Test, Vergleich und der Empfehlung von verschiedensten Interaktionstechniken beschäftigen. Diese Tests werden stets unter bestimmten Bedingungen durchgeführt, die sich mit Hilfe von Charakteristika beschreiben lassen und deren Qualität sich durch qualitative Parameter beurteilen lässt. Zu den bekanntesten Tests zählen die Fitts' Law Untersuchungen, z.B. von MacKenzie und Buxton [MacKenzie and Buxton, 1992]. Hier wird der Aufwand von Zeigeoperationen in der MCI bezüglich seiner Effizienz untersucht. Auch Lecerof und Paterno führten solche User Interface Tests auf Basis von Maus und Tastatur als Eingabegeräte durch und automatisierten die Testfälle [Lecerof and Paterno, 1998]. Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts werden erneut Beispiele aus der komplexen 3D-Interaktion vorgestellt. Hier entstanden vor der Jahrtausendwende zahlreiche Testumgebungen und Studien, die die vorliegende Arbeit maßgeblich beeinflusst haben.

*VR-Testbeds*

Testumgebungen in der VR, sog. *VR-Testbeds*, wurden erstellt, um ein einfaches Testen und Bewerten von zahlreichen Interaktionstechniken in kurzer Zeit zu ermöglichen [Poupyrev et al., 1997] [Bowman et al., 1998] [Bowman and Hodges, 1999]. Dabei standen zunächst qualitative Parameter, insbesondere die benötigte Zeit und die Präzision einer Technik, im Vordergrund. Die Entwicklung einer Testumgebung bietet dabei den Vorteil, dass änderbare Charakteristika variiert werden können, während der Rest der Testumgebung sowie der Interaktionstask identisch bleiben. Dies erlaubt Aussagen über die Qualität von Techniken unter verschiedensten Bedingungen, die jede für sich durch eine Menge Charakteristika beschreibbar sind.

Die erwähnten Testumgebungen für VR-Interaktionstechniken wurden vor allem verwendet, um jeweils eine kleine Menge von Interaktionstechniken zu verschiedenen Interaktionstasks unter Berücksichtigung einer Vielzahl von variierenden Charakteristika zu evaluieren. Zum Beispiel werden in [Bowman and Hodges, 1997] mit Hilfe eines VR-Testbeds Go-Go und Ray Casting Techniken miteinander verglichen,

um abzuschätzen welche Methode für eine Selektion von 3D-Objekten unter welchen Voraussetzungen besser geeignet ist. Die Testumgebungen können auch verwendet werden, um die VR-Visualisierung unter bestimmten Gegebenheiten zu testen. So können beispielsweise unterschiedliche Trackingverfahren, die unterschiedliche zeitliche Verzögerungen mit sich bringen, in ihrer Tauglichkeit für Interaktions-tasks variieren [Bowman, 2013].

Auch aus dem Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen gibt es in der Literatur zahlreiche Studien. Insbesondere die 2D-Multitouch-interaktion [Kruger et al., 2005] [Liu et al., 2006], die 3D-Multitouch-interaktion [Hancock et al., 2009] [Martinet et al., 2010] [Reisman et al., 2009], die (be-)greifbare Interaktion auf 2D-Oberflächen [Liu et al., 2006] [Wu et al., 2011] und die Freihandinteraktion in 3D-Szenen [Osa-wa and Asai, 2010] [Hirsch et al., 2009] sind intensiver Gegenstand der Forschung (siehe auch Abschnitt 3.3). Koaktive Szenarien, in denen natürliche Benutzungsschnittstellen zum Einsatz kommen, wurden ebenfalls untersucht, unter Berücksichtigung von Charakteristika wie der Größe des Bildschirms und der Distanz zum Interaktionsobjekt [Forlines et al., 2007] [Wang and Ren, 2009], Bildschirmanordnungen [Forlines and Lilien, 2008] [Kruger et al., 2004] [Liu et al., 2006] [Martinet et al., 2010], optische Verdeckungen [Ha et al., 2006], so-wie Blockierungen und Kollisionen bei steigender Anwenderzahl [Ha et al., 2006]. Es zeigt sich in all diesen Arbeiten, dass die Ergebnisse nur für den einen speziellen Fall gültig sind. Eine Änderung der Cha-rakteristika resultiert fast immer in deutlichen Differenzen bei den qualitativen Parametern.

Sobald die Anzahl der zu kontrollierenden Freiheitsgrade steigt und sich nicht direkt in einer eins-zu-eins Beziehung mit der Eingabetechnologie abdecken lässt, steigt die Komplexität und somit die kognitive Belastung des Anwenders. Die Anzahl der zu visualisierenden Di-mensionen, erforderliche Interaktionsmöglichkeiten und die Vielzahl der in Frage kommenden Eingabetechnologien sind also die größten Herausforderungen des Interaktionsdesigns mit natürlichen Benut-zungsschnittstellen. In koaktiven Szenarien, in denen mehr als ein Anwender interagiert, steigt diese Komplexität noch weiter an und es gilt zusätzliche Charakteristika zu berücksichtigen.

In diesem Abschnitt wurde gezeigt, dass zahlreiche Studien zu Inter-aktionstechniken existieren und, dass die Ergebnisse dieser Studien nur für den konkreten Versuchsaufbau und -ablauf gültig sind. Die vorangegangenen Abschnitte stellen einen Auszug aus der Interak-tionsforschung vor, der die Heterogenität des Forschungsgebietes sowie die Vielzahl der existierenden Arbeiten aufzeigt. Die jeweiligen Rahmenbedingungen einer interaktiven Anwendung lassen sich als Charakteristika beschreiben, sie resultieren in veränderten qualitativen Parametern der Interaktion, zum Beispiel der benötigten Zeit oder

*Studien zu  
natürlichen Benut-  
zungsschnittstellen*

*Die  
Herausforderung  
beim  
Interaktionsdesign  
für nat. Benutzungs-  
schnittstellen*

Präzision eines Interaktionstasks. Existierende Studien zu natürlichen Benutzungsschnittstellen beziehen sich auf:

1. Charakteristika, die die Anwender adressieren (z.B. die Anzahl der Anwender oder ihr Vorwissen)
2. Den Hardwareaufbau (Anzahl und Größe von Displays, verwendete Interaktionstechnologie und resultierende Freiheitsgrade, die kontrolliert werden können)
3. Softwarekomponenten (z.B. die grafische Gestaltung der Benutzungsschnittstelle oder eine implementierte Metapher)

Aus dem Forschungsgebiet der VR sind Testumgebungen bekannt, in denen 3D-Interaktionstechniken unter variierenden Charakteristika bezüglich qualitativer Parameter getestet und verglichen werden können. Solche Testbeds existieren für natürliche Benutzungsschnittstellen nicht. Gründe dafür sind die Vielzahl der existierenden Technologien, Treiber und Protokolle, die Heterogenität der Interaktionstasks, aber auch die Tatsache, dass natürliche Benutzungsschnittstellen noch verhältnismäßig neu und intensiver Gegenstand der Forschung sind. Abschließend lässt sich feststellen, dass änderbare und nicht änderbare Charakteristika, sowie qualitative Parameter wichtige Komponenten zur Beschreibung und Evaluierung eines interaktiven Systems sind. Sie sind daher ein gutes Werkzeug für einen strukturierten Prozess des Interaktionsdesigns.

#### 3.4.3 Weitere relevante Konzepte, Vorgehensweisen und Integration des Interaktionsdesign

Bisher wurden taxonomiebasierte Vorgehensweisen zum Interaktionsdesign, sowie Testumgebungen auf Basis qualitativer Parameter zur Evaluierung von Interaktionstechniken vorgestellt. Es gibt weitere, für den Kontext der Arbeit relevante Konzepte und Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns, die nachfolgend geschildert werden. Dazu gehören ein *Guided Design* Prozess aus der VR, das Interaktionsdesign mit Hilfe von Entwurfsmustern, sowie die Berücksichtigung unterschiedlicher Meinungen im Rahmen von Issue Based Information Systems. Ferner wird die Integration und der Zusammenhang mit Standards des Usability Engineering aufgezeigt.

*Guided Design aus  
der VR*

Aus den bereits in Unterabschnitt 3.4.1 erläuterten Taxonomien zur VR Interaktion und den zugehörigen Charakteristika und Testbeds, die in Unterabschnitt 3.4.2 beschrieben wurden, entwickelten Bowman und Hodges einen *Guided Design Process* zum Interaktionsdesign für VR-Anwendungen [Bowman and Hodges, 1999]. Dieser Prozess (siehe Abbildung 19) beginnt mit Beobachtungen der Nutzer existierender Systeme (Initial Evaluation in Abbildung 19) mit dem Ziel Interaktionstechniken zu definieren und anschließend strukturiert in

eine Taxonomie zu zerlegen. Die entstehende Struktur mit den Interaktionskomponenten leitet anschließend den Gestaltungsprozess (Guided Design in Abbildung 19), da Komponenten ausgetauscht und dadurch neu entstehende Techniken beziehungsweise Varianten getestet werden können. Innerhalb der konzipierten Testbeds werden verschiedene Techniken bezüglich physikalisch messbarer Parameter (Performance Metrics in Abbildung 19) evaluiert, vor allem bezüglich der Präzision der Techniken und der Zeit, die für die Interaktionstechnik benötigt wird. Die Testbeds eignen sich jedoch auch, um andere Parameter aus den vier Bereichen User, Task, Environment und System (siehe Unterabschnitt 3.4.2) zu untersuchen (Outside Factors in Abbildung 19). Dieser Gesamtprozess erlaubt folglich ein schnelles Testen, Variieren und Evaluieren von Interaktionstechniken und dadurch ein beschleunigtes Erstellen von Interaktions-Alternativen, sowie einen beschleunigten Entscheidungsprozess hinsichtlich der in der Anwendung final verwendeten Interaktionstechnik. In [Bowman et al., 1999] wird dies exemplarisch für die Interaktionstasks Selektion, Manipulation und Travel durchgeführt.

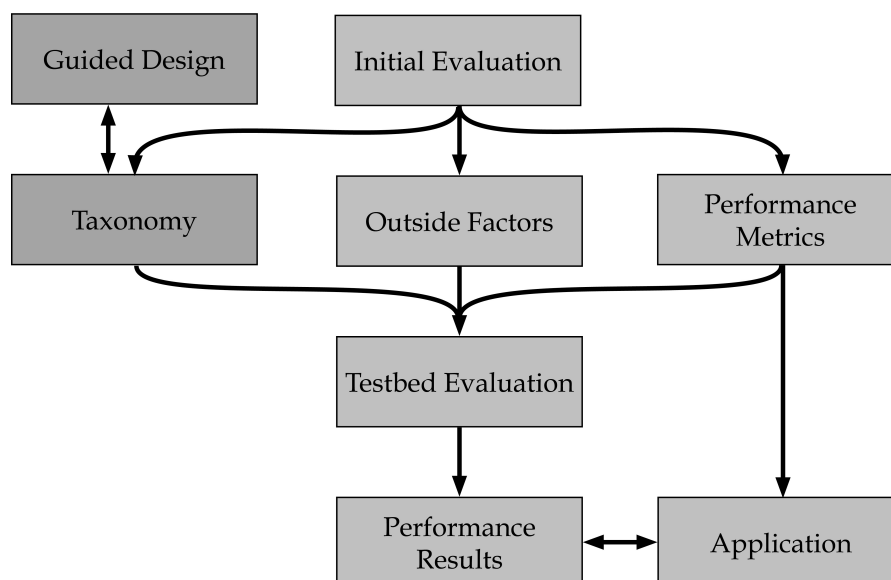


Abbildung 19: Guided Design Process für VR Interaktionstechniken auf Basis einer Interaktionstaxonomie [Bowman and Hodges, 1999]

Der Vorteil dieses *Guided Design Process* ist, dass die Taxonomie, die die Kernkomponente des Verfahrens ist, nach ihrer initialen Erstellung weiter verfeinert beziehungsweise korrigiert werden kann. Dies geschieht durch einen zyklischen Prozess, in dem Ergebnisse des Guided Design Process rückwirkend auf die Taxonomie einwirken, zum Beispiel durch die Umgestaltung einer entwickelten Interaktionstechnik. Die Nachteile des Verfahrens von Bowman und Hodges sind, dass die zugehörigen Testbeds lediglich für den VR Bereich einsetzbar sind, da nur VR Hardwarekomponenten und Interaktionstasks berücksichtigt

werden. Auch sind die Interaktionstasks nur für vollimmersive Installationen sowie Einzelnutzerszenarien konzipiert.

Entwurfsmuster (sogenannte *Design Pattern*) sind bekannte Lösungen für ein wiederkehrendes Problem [Borchers, 2000a]. Die Grundidee stammt aus der Architektur. Alexander veröffentlichte 1977 seine erste umfangreiche Sammlung von Entwurfsmustern für Baumaßnahmen, die sich auf wiederkehrende Probleme unterschiedlicher Größenausprägung anwenden lassen [Alexander et al., 1977]. Entwurfsmuster fanden ursprünglich Einzug in die Softwareentwicklung aber lassen sich auch für viele verschiedene Probleme im Rahmen des Usability Engineering einsetzen [Borchers, 2000a], beispielsweise innerhalb des von Nielsen [Nielsen, 1992] vorgestellten *Usability Engineering Life Cycle Model* [Borchers, 2000a]. Das musterbasierte Vorgehensweisen durchaus praxistauglich sind, zeigt zum Beispiel ihre Verwendung in den *Macintosh Human Interface Guidelines* von Apple [Apple Computer, 1992].

Entwurfsmuster haben gegenüber vielen Guidelines, die meist allgemein gehaltene Gestaltungsrichtlinien beziehungsweise -empfehlungen aussprechen, den Vorteil, dass durch sie eine konkretere Lösung vorgeschlagen wird [Dearden and Finlay, 2006]. Guidelines sind oft zu abstrakt und können daher kaum zur interdisziplinären Kommunikation verwendet werden. Ferner unterscheiden sich Entwurfsmuster durch ihre höhere Flexibilität und Plattformunabhängigkeit von den meisten Guidelines [Specker and Düchting, 2009]. Durch Muster erhalten Designer, Softwareentwickler und Usability-Experten eine gemeinsame Sprache und können sich abstimmen. Dies ist vor allem in der Dokumentation von Entwurfsmustern begründet, die textuell erfolgt und sich auch in maschinenlesbare Formate wie PLML [Fincher, 2003] übertragen lässt. Borchers schlägt eine Struktur aus wenigen eindeutigen Kategorien zur Beschreibung von Mustern vor, die eine einheitliche Darstellung, sowie detailreiche Schilderung eines einzelnen Musters ermöglicht [Borchers, 2000a]. Diese Struktur lässt deutliche Parallelen zu den in Unterabschnitt 3.4.1 vorgestellten Interaktionstaxonomien erkennen. So enthält Borchers Struktur beispielsweise die Kategorien Problemstellung und Lösung, die den Hierarchie-Ebenen Task und aus Components bestehender Subtask in der Taxonomie von Bowman und Hodges (siehe Abbildung 17) entsprechen. Muster sind durch diese Struktur für Experten und für Laien gleichermaßen verständlich und in verschiedenen Domänen einsetzbar [Borchers, 2000b]. Durch die Verlinkung verschiedener Muster entstehen Mustersprachen, die als Werkzeug zum Interaktionsdesign verwendet werden können [Tidwell, 2006].

Entwurfsmuster haben den Nachteil, dass Designkonflikte in der Regel nicht adressiert werden. Ergeben sich solche Konflikte im Laufe der Entwicklung einer interaktiven Anwendung, so sind Muster nicht in der Lage Hilfestellung zur Konfliktlösung zu geben. Entwurfsmuster



des Interaktionsdesigns sind des Weiteren sehr stark an Visualisierungskonzepte, wie zum Beispiel Fensteranordnungen und interaktive GUI-Elemente gekoppelt und beziehen sich nicht ausschließlich auf die vom Anwender ausgehende Interaktion. Ferner werden kaum neuartige Interaktionsformen wie die Steuerung durch Gesten über natürlichen Benutzungsschnittstellen oder die Sprachsteuerung berücksichtigt. Vielmehr sind fast alle existierenden Mustersammlungen für die MCI mit WIMP-Interfaces entwickelt worden. Häufig zitierte Mustersammlungen sind [Borchers, 2001] und [Tidwell, 2006].

*Problem Frames* zerlegen ein komplexes Problem systematisch in Teilprobleme mit geringerer Komplexität [Jackson, 2001]. Specker und Düchting beschreiben einen Usability Engineering Prozess auf Basis solcher Problem Frames [Specker and Düchting, 2009]. Durch diesen können Muster auf Teilprobleme angewendet und so eine komplexe Aufgabe systematisch gelöst werden. Diese Zerteilung weist ebenfalls deutliche Parallelen zu den Taxonomien auf. So wird auch in der Taxonomie von Bowman und Hodges ein komplexer Task in kleinere Einheiten (Subtasks und Components) unterteilt und auf dieser Ebene gelöst beziehungsweise variiert. Specker und Düchting beschränken sich dabei auf WIMP-basierte Anwendungen. Die Besonderheiten natürlicher Benutzungsschnittstellen und koaktiver Interaktionstechniken werden daher nicht berücksichtigt.

Gerade beim Interaktionsdesign, bei dem Gestaltungs- und Wahrnehmungsaspekte zu berücksichtigen sind und es bei vielen neuen Projekten an Erfahrung fehlt, entstehen unterschiedliche Meinungen bezüglich geeigneter Interaktionskonzepte. Ein Verfahren zur Unterstützung des Interaktionsdesign sollte diese daher berücksichtigen und existierende Ergebnisse und Verweise sollten reproduzierbar sein. Qualitative Parameter können des Weiteren aus fehlerhaften Messungen resultieren, die später in anderen Untersuchungen entdeckt und korrigiert werden. Solche Herausforderungen in der Entscheidungsfindung wurden von Kuntz und Rittel mit Hilfe von *Issue Based Information Systems* (IBIS) gelöst [Kunz and Rittel, 1970]. Das Verfahren hat seinen Ursprung in der politischen Entscheidungsfindung, ist jedoch auch für Designentscheidungen übertragbar. Während viele Informatikprobleme von einfacher Struktur sind, das heisst, es lassen sich einfache Antworten zur Problemlösung finden, sind Probleme in der Politik und im (Interaktions-)Design oft solche, zu denen es keine einfache Antwort gibt [Rittel and Webber, 1973] und auch nicht eine einzelne richtige Lösung. Ein geleiteter Designprozess sollte daher unterschiedliche Meinungen miteinbeziehen.

Es existieren Standards des Usability Engineering, die Phasen der Entwicklung von Interaktiven Systemen, sowie Prozesse zur menschenzentrierten Entwicklung definieren (siehe einleitenden Kapitelabschnitt auf Seite 67). Solche Prozesse sind oft zyklisch und haben das Ziel, potentielle Endanwender eines Systems in die laufende Entwicklung

*Problem Frames zur  
Minderung der  
Komplexität*

*Unterschiedliche  
Meinungen beim  
Interaktionsdesign*

*Integration ins  
Usability  
Engineering*

miteinzubeziehen. Nielsen beschreibt die Lernbarkeit, die Effizienz nach dem Erlernen, die unregelmäßige Wiederverwendbarkeit ohne erneutes Lernen und die Nutzerzufriedenheit als entscheidende Eigenschaften für gute Usability [Nielsen, 1992]. Relevante Standards des Usability Engineering im Kontext dieser Arbeit, die diese Ziele berücksichtigen, sind neben dem bereits zu Beginn des Kapitels beschriebenen ISO 9241-210 zum Beispiel der ISO 9241-1 (Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten), der ISO 14915-1 (Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen) oder der ISO/IEC JTC1/SC 35 (TR 15440 - Information technology - Technical Report on future keyboards and other associated input devices and related entry methods). Abbildung 13 auf Seite 68 zeigt das aus dem ISO 9241-210 stammende Prozessmodell der menschenzentrierten Gestaltung. Der Nachteil eines solchen Entwicklungsprozesses ist, dass der erste Entwurf des Interaktionsdesigns maßgeblich vom Vorwissen der involvierten Entwickler abhängig ist. Entwicklungsteams, in denen keine Designer und Domänenexperten vorhanden sind, gelingt es daher oft nicht, einen zufriedenstellenden ersten Entwurf zu entwickeln. Dies erhöht die Anzahl der benötigten Prozesszyklen des Usability Engineering erheblich und beeinflusst damit die Gesamtzeit der Entwicklung. Teil der Kontext-Analyse sollte es daher sein, auch die technischen Möglichkeiten, Anwender-, Umgebungs- und System-Charakteristika zu betrachten. Daher ist es erstrebenswert, existierendes Design-Wissen und bekannte Konfigurationsprobleme leicht zugänglich zu machen, um unerfahrenen Entwicklungsteams einen guten Erstentwurf zu ermöglichen. Solches Wissen ist jedoch schwer zu finden, oft nicht frei zugänglich und ineffektiv dargestellt, wie beispielsweise bei den umfangreichen textuellen Beschreibungen von Mustern. In Unterabschnitt 4.5.2 wird ein Vorgehen zur Integration des in dieser Arbeit entwickelten Prozesses in einen existierenden Usability Standard vorgeschlagen.

Übersicht: Guided  
Design,  
Entwurfsmuster,  
Usability  
Engineering und  
IBIS

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Konzepte und Verfahren des Interaktionsdesign lassen sich nicht unmittelbar auf interaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen übertragen. Der von Bowman und Hodges vorgeschlagene Guided Design Process bezieht sich auf spezifische 3D-Interaktionstasks in vollimmersiven Umgebungen. Auch werden nur VR-typische Eingabegeräte betrachtet, die im Gegensatz zu natürlichen Benutzungsschnittstellen nicht derart dynamisch bezüglich der Freiheitsgrade und Datentypen sind. Des Weiteren ist das Vorgehen für Einzelnutzer konzipiert.

Musterbasierte Verfahren gibt es im Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen bisher kaum. Existierende Mustersammlungen beziehen sich vor allem auf klassische WIMP-Interaktionen und Einzelnutzer. Außerdem beschreiben die Musteransätze keinen strukturierten Prozess des Interaktionsdesigns und ermöglichen kein schnelles Nachschlagen existierender Realisierungen und Evaluierungen. Sie

behandeln außerdem keine Designkonflikte sondern schlagen Vorgehensweisen auf Basis verschiedener Gegebenheiten vor. Diese Gegebenheiten passen jedoch häufig nicht auf ein konkretes, sich einem Interaktionsdesigner stellendes Problem. Entwurfsmuster sind meist umfangreich textuell beschrieben, was den zeitlichen Aufwand der Ansätze hoch werden lässt. Für natürliche Benutzungsschnittstellen müssten solche Mustersammlungen zunächst noch aufgestellt werden. Dies ist eine Herausforderung, da Technologien, Hardware und darauf abgestimmte Metaphern stark variieren und wiederkehrende Probleme schwer zu definieren sind. Muster sind auch stark auf die Anwendungsdomäne zugeschnitten. Für umfangreiche Sammlungen und Nachschlagewerke sind Copyright-Fragen ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden muss [Dearden and Finlay, 2006]. Aus diesen Gründen sind Entwurfsmuster für das in dieser Arbeit betrachtete Problemfeld nicht geeignet.

Die Kombination von Entwurfsmustern mit sogenannten Problem Frames weist starke Parallelen zur Zerteilung von Interaktionstasks in eine hierarchische Taxonomie auf. Auch wenn hiermit der Zugang zur systematischen musterbasierten Entwicklung erleichtert wird, bleiben oben beschriebene Nachteile bezüglich der Anwendung in Kombination mit natürlichen Benutzungsschnittstellen erhalten.

Um unterschiedliche Meinungen beim Interaktionsdesign zu berücksichtigen, bietet es sich an, *Issue Based Information Systems* zu verwenden. Andere Ansätze, die oft in Standards des Usability Engineering integriert sind, sind in ihrer zeitlichen Effektivität von der Qualität des Erstentwurfs abhängig. An dieser Stelle soll die vorliegende Arbeit helfen, indem existierendes Wissen und Forschungsergebnisse auf einfache Art und Weise in einen Prozess des Interaktionsdesigns integriert werden können.

#### 3.4.4 *Abschließende Beurteilung existierender Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns*

In diesem Unterabschnitt wurden existierende Ansätze und Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns vorgestellt. Zunächst wurde in Unterabschnitt 3.4.1 beschrieben, wie Taxonomien von Interaktionstechniken verwendet werden können, um eine strukturierte Zerlegung in Komponenten vorzunehmen. Komponenten auf gleicher Hierarchieebene der Taxonomie lassen sich anschließend vergleichen. Taxonomien bilden auch den zeitlichen Ablauf einer Interaktionstechnik ab und die Struktur einer Taxonomie zeigt Auswahlmöglichkeiten und Entscheidungsnotwendigkeiten für Interaktionsdesigner auf. Komponenten einer Interaktionstaxonomie lassen sich als wiederverwendbare Softwarekomponenten entwerfen, dadurch können durch alternative Kombinationen auch neuartige Interaktionstechniken entstehen [Bowman, 2013]. Leider scheitert dies oft an der Heterogenität der

verwendeten Technologien, Kommunikationsprotokolle und Softwareframeworks. Für Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen existieren bisher kaum Taxonomien, ebenso werden koaktive Techniken nur selten berücksichtigt. Zur Entwicklung eines Verfahrens zur kriteriengeleiteten Entscheidungsfindung beim Interaktionsdesign sind die Eigenschaften von Taxonomien bestens geeignet, da sie eine strukturierte Zerlegung in Komponenten erlauben und dadurch Interaktionsdesignern die Möglichkeit bieten, Komponenten auszutauschen. Welche Komponenten in welchem Fall geeignet sind, lässt sich mit Hilfe von Charakteristika, die ein interaktives System beschreiben, sowie qualitativer Parameter evaluieren. Dies wurde in Unterabschnitt 3.4.2 beschrieben und diskutiert. Charakteristika und qualitative Parameter sind daher ein guter Ausgangspunkt der kriteriengeleiteten Entscheidungsfindung, da nur durch sie eine Beschreibung und Bewertung von Interaktionstechniken erfolgen kann. Mit Hilfe von Testbeds lässt sich auf schnelle Art und Weise eine Vielzahl variierender Charakteristika und Komponenten mit verschiedenen Interaktionstechniken testen und bewerten. Dadurch entstehen wertvolle Testergebnisse, die für die Entwicklung interaktiver Systeme von Bedeutung sind. Es ist jedoch noch unklar, wie die Vielzahl der Ergebnisse übersichtlich dargestellt werden kann. Insbesondere für den Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen, in dem bereits zahlreiche Studienergebnisse existieren, ist dies aufgrund der Heterogenität der Interaktionstechniken herausfordernd. Ein kurzer Überblick über die Vielzahl und die Heterogenität existierender Ergebnisse wurde ebenfalls in Unterabschnitt 3.4.2 gegeben.

Durch die Verwendung von Taxonomien können heterogene Interaktionstechniken aus verschiedenen Domänen, die unterschiedliche Technologien verwenden, einheitlich und strukturiert dargestellt werden. Existierende Taxonomien aus der Literatur beinhalten aber keine Evaluierungskonzepte einzelner Konzepte, sondern werden lediglich zur Strukturierung von Interaktionen herangezogen. Mit Hilfe von Testbeds oder Prototypen entsteht die Möglichkeit, einzelne Interaktionstechniken zu testen und durch Veränderung von Charakteristika können einzelne qualitative Parameter erhoben und evaluiert werden. Die Evaluierung kann dabei für alle Taxonomiekomponenten separat erfolgen.

Ein Guided Design Prozess, sowie Vorgehen auf Basis von Entwurfsmustern und Problem Frames wurden in Unterabschnitt 3.4.3 vorgestellt. Diese beziehen sich immer sehr speziell auf eine Domäne, wie die VR oder berücksichtigen neuartige Interaktionsformen nicht, sondern lediglich WIMP-basierte. Des Weiteren können Designkonflikte mit diesen Ansätzen nicht ausreichend behandelt werden.

Es wurde angeregt, unterschiedliche Meinungen in komplexe Entscheidungsfindungsprozesse einzubeziehen und aufgezeigt, dass Usability

Engineering Prozesse sich beschleunigen lassen<sup>12</sup>, wenn gutes Design-Wissen für einen qualifizierten Erstentwurf zur Verfügung steht. Sämtliche vorgestellte Konzepte gilt es also für das Gebiet der natürlichen Benutzungsschnittstellen aufzubereiten und anzupassen. Da die Realisierung solcher Schnittstellen durch verschiedenste Technologien möglich ist, sind die technologischen Anforderungen innerhalb einer kriteriengeleiteten Entscheidungsfindung von großer Bedeutung. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Bewertungen von Konzepten zum Interaktionsdesign werden in Kapitel 4 wieder aufgegriffen. Hier wird ein eigenes Verfahren zum Interaktionsdesign mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vorgestellt. Zunächst wird jedoch im folgenden Unterabschnitt der Stand der Forschung zusammengefasst.

---

<sup>12</sup> Dabei ist die Beschleunigung nie primäres Ziel des Usability Engineering. Für eine Steigerung der Qualität wird stets ein höherer zeitlicher Bedarf in Kauf genommen.

### 3.5 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Kapitel wurde der aktuelle Stand der Forschung in den Bereichen CSCW, Entwurf und Interaktionskonzepte natürlicher Benutzungsschnittstellen, sowie Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns vorgestellt. Des Weiteren wurden die Begriffe Koaktivität und Awareness eingeführt. Es wurden technische und Konzeptionelle Möglichkeiten zur Erstellung interaktiver Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen beschrieben. Hierbei wurde dargelegt, dass bereits eine sehr große Zahl von Interaktionstechniken und Technologien existiert. Diese können in verschiedenen Situationen Vor- oder Nachteile mit sich bringen, die meist in wissenschaftlichen Publikationen beschrieben sind. Solche Ergebnisse sind jedoch für Interaktionsdesigner schwer zugänglich und nur durch eine zeitintensive Suche auffindbar.

Es wurde des Weiteren festgestellt, dass die meisten in diesem Kapitel vorgestellten Vorgehensweisen des Interaktionsdesigns nicht ohne Weiteres für interaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen geeignet sind. Es existieren jedoch zahlreiche Ansätze aus verwandten Forschungsgebieten, auf die aufgebaut werden kann. Insbesondere die vorgestellten Taxonomien von Interaktionstechniken lassen sich verwenden, um diese zu strukturieren und komponentenweise vergleichbar zu machen. Im nachfolgenden Kapitel wird daher ein eigenes Verfahren zum Interaktionsdesign mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vorgestellt.

## STRUKTURIERTES VORGEHEN DES INTERAKTIONSDESIGNS FÜR INTERAKTIVE ANWENDUNGEN MIT NATÜRLICHEN BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN

---

Dem übergeordneten Ziel dieser Arbeit folgend, wird in diesem Kapitel ein strukturiertes Vorgehen des Interaktionsdesigns für das konkrete Anwendungsgebiet der interaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vorgestellt. Es ist derart konzipiert, dass auch koaktive Anwendungen berücksichtigt werden. Das Kapitel enthält die auf Basis des extrahierten Handlungsbedarfes aus Unterabschnitt 1.3.2 erstellten eigenen Konzepte und Umsetzungen zum Forschungsgebiet. Das strukturierte Vorgehen soll dazu beitragen, im Rahmen eines nutzerzentrierten Softwareentwurfs hochwertige frühe Prototypen zu entwerfen, so dass die Anzahl der erforderlichen Prozesszyklen des User Centered Designs niedrig gehalten werden kann und somit eine zielgerichtete Entwicklung ermöglicht wird. Dazu soll es Interaktionsdesignern ermöglicht werden, auf einfache Art und Weise Zugriff auf existierendes Design-Wissen zu erhalten. Das Verfahren ist kriteriengeleitet und resultiert in einer Unterstützung bei der Entscheidungsfindung und einem Auswahlwerkzeug. Mit diesem kann auf zeitaufwendige Suche in der Literatur und technologisch komplexe Umschreibungen weitestgehend verzichtet werden. Dies ist lediglich auf den erfassten Datenbestand beschränkt, der manuell erweitert werden kann.

Das strukturierte Vorgehen wird in fünf Phasen unterteilt. Kernelement ist die Abbildung von Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen durch eine hierfür geeignete Taxonomie.



Abbildung 20: Eine geeignete Taxonomie als Kernkomponente des Verfahrens zur kriteriengeleitete Entscheidungsfindung

Zunächst müssen jedoch alle relevanten Charakteristika, sowie die qualitativen Parameter bekannt sein, die eine interaktive Anwendung auszeichnen. Nur so können kriteriengeleitete Entscheidungen getroffen werden und Konfigurationskonflikte berücksichtigt werden.

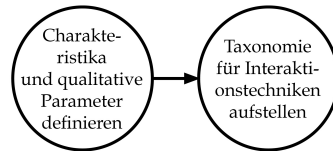


Abbildung 21: Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete Entscheidungsfindung: Phasen 1 und 2

Um Interaktionsdesignern bei der Entscheidungsfindung bezüglich der konkreten Umsetzung einer Interaktionstechnik zu unterstützen, wird anschließend ein Bewertungsverfahren erstellt, welches Kombinationen aus Komponenten der Taxonomie und den Charakteristika beziehungsweise den qualitativen Parametern berücksichtigt.



Abbildung 22: Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete Entscheidungsfindung: Phase 3

Für das in dieser Arbeit betrachtete Gebiet der natürlichen Benutzungsschnittstellen entstehen je nach verwendeten Komponenten aus der Taxonomie unterschiedliche technologische Anforderungen an die interaktive Anwendung. Diese müssen beim Entwurf berücksichtigt werden.

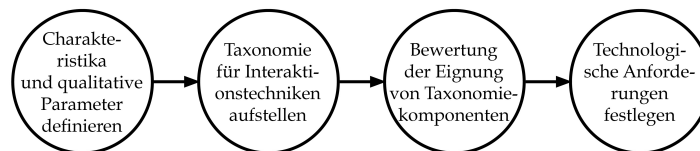


Abbildung 23: Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleitete Entscheidungsfindung: Phase 4

Die ersten vier Phasen des Prozesses adressieren die in Unterabschnitt 1.3.3 vorgestellte Stufe 1 des Lösungsansatzes dieser Arbeit.

#### Stufe 1:

Ein Schema für eine Interaktionstaxonomie soll erstellt werden, mit dem sich alle natürlichen Interaktionstechniken strukturieren und darstellen lassen. Die Komponenten dieser Taxonomie sollen in Kombination mit qualitativen Parametern und Anwendungscharakteristika eine Bewertungsmöglichkeit auf Basis von Studien aus der Interaktionsforschung bieten.



Sie ermöglichen außerdem ein Auswahlverfahren, das sich durch einen Algorithmus automatisieren lässt. Ergebnis des Auswahlverfahrens sind relevante Design-Alternativen, die zusammen als Gestaltungsrichtlinien fungieren können und wertvolle Informationen für einen Interaktionsdesigner beinhalten. Dieses Auswahlverfahren bildet die fünfte Phase des Prozesses und adressiert Stufe 2 des Lösungsansatzes aus Unterabschnitt 1.3.3.



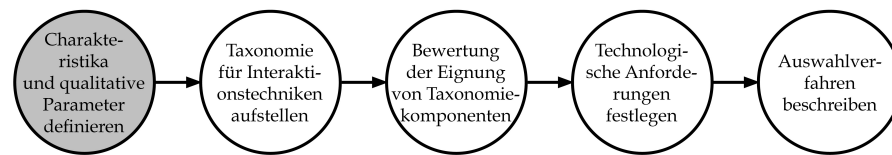
Abbildung 24: Erstellen eines Verfahrens zur kriteriengeleiteten Entscheidungsfindung: Phase 5

**Stufe2:**

Es soll ein allgemeines Auswahlverfahren zur kriteriengeleiteten Erstellung von interaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen entwickelt werden, das für beliebige Anwendungsszenarien aus dem in dieser Arbeit untersuchten Anwendungsgebiet geeignet ist.

In diesem Kapitel werden nachfolgend alle fünf Phasen des Prozesses detailliert beschrieben. Im nachfolgenden Kapitel 6 wird anschließend auf die verbleibende dritte Stufe des Lösungsansatzes eingegangen.

#### 4.1 AUFSTELLEN VON CHARAKTERISTIKA ZUR BESCHREIBUNG INTERAKTIVER SYSTEME



Im Zuge einer strukturierten Gestaltung des Interaktionsdesigns, müssen zu Beginn zunächst die Rahmenbedingungen eines zukünftigen Systems festgelegt und beschrieben werden. Solche Systeme, zu denen auch interaktive oder koaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen gehören, lassen sich durch Charakteristika beschreiben. Charakteristika beschreiben ein interaktives System, seinen Kontext und seine Anwender. Den Begrifflichkeiten des Software-Engineerings folgend können Charakteristika sowohl funktionale, als auch nicht funktionale Anforderungen, aber auch weitere beschreibende Eigenschaften eines interaktiven Systems sein. In diesem Abschnitt werden zunächst für das Anwendungsgebiet relevante Charakteristika vorgestellt und klassifiziert. Dabei werden auch erste Konflikte identifiziert und die Adressierung dieser beschrieben.

In Unterabschnitt 1.3.1 wurde das Anwendungsfeld, auf das diese Arbeit ausgerichtet ist, definiert. Dieses unterscheidet sich vor allem durch die Bedienung mit natürlichen Benutzungsschnittstellen, die dadurch gewährleistete niedrige Instrumentierung und die Berücksichtigung der Mensch-Mensch-Interaktion von bereits erforschten Anwendungsgebieten wie CSCW oder VR. Es existieren daher bereits eine Reihe von Charakteristika, die es beim Interaktionsdesign zu berücksichtigen gilt, die jedoch nicht vom spezifischen Anwendungsfall abhängig sind und daher für den Kontext dieser Arbeit Allgemeingültigkeit besitzen. Sie entstammen einer durchgeführten Analyse des Anwendungsfeldes, sowie zahlreicher Applikationen aus der Forschung. Des Weiteren beschränkt sich diese Arbeit auf die in Unterabschnitt 1.3.1 eingegrenzten Anwendungen, was die Anzahl der allgemeingültigen Charakteristika auf eine überschaubarere Größe reduziert. Tabelle 3 listet alle relevanten allgemeingültigen Charakteristika für den Kontext dieser Arbeit auf.

Diese Charakteristika sind gemäß Unterabschnitt 3.4.2 nicht änderbare Charakteristika für alle Anwendungen aus dem Anwendungsgebiet, das diese Arbeit adressiert. Es lassen sich jedoch noch zahlreiche weitere, änderbare Charakteristika bezüglich der Hardware, der Anwender und der Anwendung aufstellen, die ein System detaillierter beschreiben, wie nachfolgend gezeigt wird.

| ID   | Beschreibung   |
|------|--|
| ACo1 | Die Möglichkeit der Interaktion mit dem System ist gegeben. Diese kann auch Koaktivität enthalten.                     |
| ACo2 | Die visuelle Repräsentation erfolgt für mehrere Anwender auf einem oder auf mehreren Bildschirmen.                     |
| ACo3 | Das System ermöglicht eine hohe Awareness.   |
| ACo4 | Die Interaktion erfolgt durch natürliche Benutzungsschnittstellen gemäß Definition (siehe Abschnitt 2.2 auf Seite 23). |
| ACo5 | Die Mensch-Mensch-Interaktion wird gefördert.  |
| ACo6 | Das System gewährleistet eine niedrige Instrumentierung auf Anwenderseite.   |

Tabelle 3: Allgemeingültige Charakteristika für den Kontext dieser Arbeit

#### 4.1.1 Charakteristika zur Beschreibung interaktiver Systeme

Charakteristika können verwendet werden, um ein existierendes oder ein zukünftiges interaktives System zu beschreiben. Motivierend wurde in Unterabschnitt 3.1.4 dargestellt, dass für den Kontext dieser Arbeit relevante Anwendungen Charakteristika besitzen können, die sich stark voneinander unterscheiden. In Unterabschnitt 3.4.2 wurde dazu zwischen änderbaren und nicht änderbaren Charakteristika unterschieden. Nicht änderbare Charakteristika sind als Anforderungen von einem Interaktionsdesigner zu berücksichtigen aber nicht zu beeinflussen. Bezüglich änderbarer Charakteristika muss sie oder er jedoch Design-Alternativen in Betracht ziehen. Zusammen mit den nicht änderbaren Charakteristika bilden die Interaktionstasks sowie die Berücksichtigung qualitativer Parameter (zum Beispiel Geschwindigkeit, mit der ein Interaktionstask erfüllt werden kann) die Anforderungen an ein interaktives System. Die Berücksichtigung der qualitativen Parameter bei der Beschreibung von Anforderungen ist laut Bevan von großer Bedeutung für das Usability Engineering [Bevan, 1995] und daher auch für das den Usability Engineering Prozess unterstützende und in dieser Arbeit behandelte Interaktionsdesign relevant. Qualitative Parameter werden im hier vorgestellten Ansatz verwendet, um verschiedene Komponenten von Interaktionstechniken miteinander vergleichen zu können. Mit Hilfe von Testbeds können beispielsweise bei Veränderung weniger Charakteristika unter gleichen Bedingungen unterschiedliche Parameter qualitativ ermittelt werden.

**Charakteristika** beschreiben ein interaktives System, seinen Kontext und seine Anwender. **Nicht änderbare Charakteristika** sind als Anforderungen von einem Interaktionsdesigner zu berücksichtigen aber nicht zu beeinflussen. Bezüglich **änderbarer Charakteristika** müssen Design-Alternativen in Betracht gezogen werden.

**Qualitative Parameter** beschreiben Größen, die beispielsweise durch physikalische Messmethoden oder durch Usability-Befragungen bewertbar sind.

Abbildung 25 zeigt einen ersten Überblick über den Auswahlprozess des Interaktionsdesigns, der in dieser Arbeit beschrieben wird und auf den geschilderten Anforderungen basiert. Ergebnis dieses Interaktionsdesigns sind Design-Alternativen, die sich jeweils durch änderbare Charakteristika und Interaktionstechniken beschreiben lassen, die technologische Anforderungen mit sich bringen (siehe Abbildung 25).

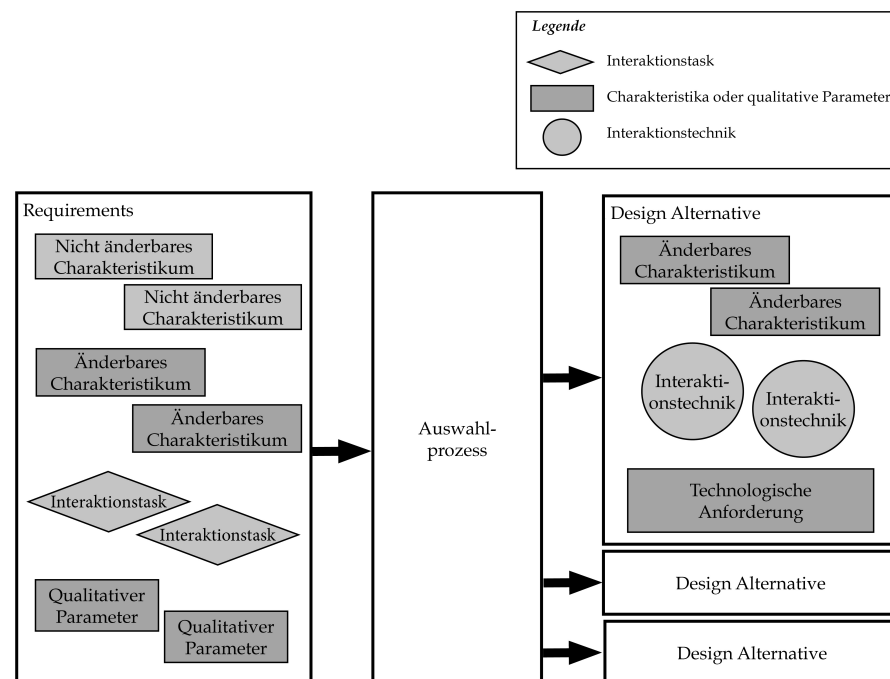


Abbildung 25: Überblick über den Auswahlprozess des Interaktionsdesigns

#### 4.1.2 Klassifizierung der aufgestellten Charakteristika

##### Klassifizierung von Charakteristika

Wie in Unterabschnitt 3.4.2 geschildert wurde, existieren unterschiedliche Klassifizierungen von Charakteristika in der Literatur. Für diese Arbeit soll eine Klassifizierung auf Basis der Ideen von Poupyrev et al. beziehungsweise Bowman und Hodges verwendet werden. Diese

Klassifizierungen stammen aus der VR und haben daher viele Gemeinsamkeiten mit komplexen Systemen für interaktive und auch koaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen. Anders als in der VR, bei der hauptsächlich Eingabegeräte verwendet werden, die über ein sechs Freiheitsgrade lieferndes Trackingsystem angeschlossen sind, findet sich bei natürlichen Benutzungsschnittstellen eine deutlich größere Vielfalt an Technologien zur Realisierung (siehe Abschnitt 3.2). Diese Technologien erlauben zahlreiche unterschiedliche Interaktionskonzepte, die alle in der Lage sein können, den gleichen Interaktionstask zu erfüllen. Dies wird in Unterabschnitt 4.2.1 detailliert erläutert. Navigation, Selektion und Manipulation von Grafikobjekten als wesentliche Interaktionstechniken in 2D oder 3D lassen sich aus der VR übernehmen, weshalb auch die Klassifizierung von Charakteristika in Anlehnung an Arbeiten aus der VR sinnvoll erscheint.

Poupyrev et al. definieren *Aufgabenkontextabhängige Charakteristika* [Poupyrev et al., 1997]. Diese entsprechen im Kontext dieser Arbeit einem *Interaktionstask*, der sich über einen Anfangs- und einen Endzustand beschreiben lässt. Interaktionstasks stellen in dieser Arbeit daher keine Charakteristika dar (vergleiche Abbildung 25). Bowman und Hodges bezeichnen in ihrer Klassifizierung hingegen mit *Aufgaben-Charakteristika* Eigenschaften wie die Komplexität oder die Genauigkeit einer Interaktion [Bowman and Hodges, 1999]. Diese werden im Rahmen dieser Arbeit durch die qualitativen Parameter abgedeckt und stellen daher ebenfalls keine Charakteristika dar. Auch die Interaktionstechniken, die von Poupyrev et al. als Charakteristika bezeichnet werden, werden im hier vorgestellten Ansatz nicht übernommen, da eine Interaktionstechnik Teil einer Design-Alternative sein soll und somit zum Ergebnis des Interaktionsdesigns gehört (siehe Abbildung 25, sowie in Unterabschnitt 4.2.1).

Für den Kontext dieser Arbeit sollen in Anlehnung an die dreiteilige Übersicht in Unterabschnitt 3.4.2 auf Seite 80 die Kategorien User (Anwender), Application (Anwendung) und System (die Hardware und die Beschaffenheit der Umgebung) verwendet werden. Abbildung 26 veranschaulicht die Fusion der Ansätze aus [Poupyrev et al., 1997] und [Bowman and Hodges, 1999] zu der in dieser Arbeit verwendeten dreiteiligen Klassifizierung, die in der mittleren Spalte der Abbildung zu sehen ist. Diese Klassifizierung ist für den hier gewählten Ansatz gültig, da sie die beschriebenen, nicht als Charakteristika gültigen Klassen ignoriert und die übrigen zusammenfasst. Nachfolgend werden Beispiele für konkrete Charakteristika aus den drei Klassen vorgestellt.

Zur Gruppe der User Charakteristika zählen alle Eigenschaften der zukünftigen Anwender bzw. Anwendergruppe, also Eigenschaften, die die aus menschlichen Individuen bestehende Gruppe betreffen. Hierzu zählen beispielsweise die Anzahl der Anwender, die Erfahrung,

*User Charakteristika*

| Poupyrev et al.               | Klassifizierung in dieser Arbeit | Bowman & Hodges       |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| User                          | User                             | User                  |
| Application                   | Application                      |                       |
| I/O Devices                   | System                           | System<br>Environment |
| Interaction Technique<br>Task |                                  | Task                  |

Abbildung 26: Klassifizierung der Charakteristika auf Basis von [Poupyrev et al., 1997] und [Bowman and Hodges, 1999]

die diese für eine Interaktionsaufgabe besitzen oder auch Körpereigenschaften wie die Größe und Armreichweite eines Anwenders. Die Klasse User findet sich auch in den Ansätzen von Poupyrev beziehungsweise Bowman und Hodges, beschreibt dort aber ausschließlich einen einzelnen Nutzer, deckt also nicht das gebiet der koaktiven Anwendungen mit ab. In diesen Arbeiten werden bezüglich der User Charakteristika weitere, durch Usability-Befragungen ermittelbare Parameter erwähnt, unter anderem *Ease of Learning* und *Ease of use* [Poupyrev et al., 1997], die sich sowohl auf ein komplettes System als auch eine spezifische Interaktionstechnik beziehen können. Da in koaktiven Anwendungen mehrere Personen gleichzeitig mit einem interaktiven System arbeiten können, werden hier nur beschreibende Eigenschaften verwendet, die auf jedes Individuum der Gruppe zutreffen. Des Weiteren kann aber auch die Heterogenität bezüglich einer Eigenschaft zusammengefasst als ein Charakteristikum angesehen werden. Um den Anforderungen von VR-Anwendungen gerecht zu werden, erwähnen Bowman und Hodges des Weiteren Wahrnehmungscharakteristika der Anwender wie die Fähigkeit des Stereosehens, Augenschwächen, räumliches Denkvermögen oder die Erfahrung in virtuellen Umgebungen [Bowman and Hodges, 1999]. Diese können auch für den Kontext dieser Arbeit als Charakteristika der Gruppe User definiert werden, sind aber nicht in allen Anwendungen von Bedeutung, da neben immersiven 3D-Visualisierungen auch einfache 2D-Interfaces und -Bedienformen betrachtet werden.

*Application  
Charakteristika*

Die Klasse der *Application* Charakteristika wird auch von Poupyrev et al. vorgeschlagen. Hier finden sich anwendungsspezifische, oft domänenabhängige Charakteristika, die die Zielanwendung beschreiben. Beispiele sind die Art und Dimension von zu visualisierenden

Daten, die Funktionen der Anwendung (ohne dabei eine Interaktionstechnik festzulegen) oder die Möglichkeit der Ad-hoc Bedienbarkeit. Auch viele Parameter, die die 3D-Visualisierung betreffen und die von Poupyrev et al. für diese Klasse festgelegt werden (zum Beispiel Beleuchtung, Anzahl, Farbe oder Form von Grafikobjekten) [Poupyrev et al., 1997] werden übernommen.

Sowohl Poupyrev et al. als auch Bowman und Hodges definieren die Klasse System [Bowman and Hodges, 1999] beziehungsweise Ein- und Ausgabegeräte (I/O Devices) [Poupyrev et al., 1997] wodurch der Hardwareaufbau eines interaktiven Systems beschrieben wird. Bowman und Hodges klassifizieren des Weiteren noch Umgebungscharakteristika, die jedoch mit in die System Charakteristika übernommen werden können (zum Beispiel Größe der Umgebung oder Ausrichtung von Displays und Koordinatenachsen der grafischen Repräsentation [Bowman and Hodges, 1999]). Beispiel-Charakteristika für diese Klasse sind Anzahl, Größe und Ausrichtung von Bildschirmen oder die Eingabegeräte und die von diesen zur Verfügung gestellten Freiheitsgrade. Anders als bei der VR herrscht bei natürlichen Benutzungsschnittstellen größere Heterogenität, die durch diese Charakteristika ausgedrückt werden kann.

*System  
Charakteristika*

Charakteristika können Konflikte untereinander aufweisen, beispielsweise wenn eine hohe Anzahl von Anwendern mit einem kleinen Bildschirm arbeiten soll oder wenn Anwender mit wenig Erfahrung komplexe, hochdimensionale Daten manipulieren sollen. Da Charakteristika aber lediglich zur Beschreibung eines interaktiven Systems herangezogen werden, ist dies zunächst zu vernachlässigen, denn solche Konflikte müssen beim Aufstellen der Anforderungen berücksichtigt werden.

*Konflikte*

Konfigurationskonflikte sind hingegen zu berücksichtigen. Diese entstehen, wenn Charakteristika keine Konflikte untereinander aufwerfen, wenn eine vorgeschlagene Design-Alternative aber aufgrund eines oder mehrerer Charakteristika ungünstig ist. Wenn beispielsweise eine vertikale Ausrichtung eines Bildschirms als änderbares Charakteristikum in den Anforderungen enthalten ist, sich ein horizontaler Bildschirm aber deutlich besser für das System eignen würde. Auf diese Konfigurationskonflikte muss beim Interaktionsdesign geachtet werden. Es ist Aufgabe des Interaktionsdesigners, Rücksprache bezüglich änderbarer Parameter zu halten, um eine gute Gebrauchstauglichkeit des Systems sicherzustellen. Ergeben sich Konflikte mit nicht änderbaren Charakteristika, muss dies beim Interaktionsdesign festgestellt und eine bestmögliche Adressierung diskutiert werden.

#### 4.1.3 Übersicht

Abschließend bleibt festzuhalten, dass Systeme für koaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen durch Charakteristi-

ka aus den drei vorgestellten Klassen User, Application und System (siehe Abbildung 26) beschreibbar sind. Diese Charakteristika zeigen die großen Einflussfaktoren interaktiver Systeme im Kontext dieser Arbeit auf. Dabei sind weder die Anzahl der Klassen noch die gegebenen Beispiele vollständig. Klassen und Charakteristika sind beliebig erweiterbar und sie dienen lediglich einer strukturierten und übersichtlichen Beschreibung der Eigenschaften eines interaktiven Systems. In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien (siehe Anhang A ab Seite 169) werden konkrete Beispiele für Charakteristika aus den einzelnen Gruppen zur Evaluierung des vorgestellten Konzeptes vorgestellt. Die Beschreibung eines Systems durch Charakteristika erlaubt es einem Interaktionsdesigner nach existierenden Forschungsergebnissen bezüglich Interaktionstechniken in Verbindung mit diesen Charakteristika zu suchen. Dazu wird im Folgenden ein Auswahlverfahren vorgestellt, das auf die Beschreibung durch Charakteristika und qualitative Parameter, sowie einer Taxonomie von Interaktionstechniken zur Beschreibung von Interaktionstasks beruht.



#### 4.2 ERSTELLUNG EINER TAXONOMIE VON INTERAKTIONSTECHNIKEN FÜR INTERAKTIVE ANWENDUNGEN MIT NATÜRLICHEN BENUTZUNGSSCHNITTSTELLEN



Die Charakteristika zur Beschreibung von interaktiven Systemen, die im vorherigen Abschnitt erläutert wurden, sollen verwendet werden, um einen strukturierten Prozess des Interaktionsdesigns zu entwerfen, der auf existierendem Design-Wissen aufbaut. Wie dem ersten Ansatz für die Ein- und Ausgabe eines solchen Prozesses in Abbildung 25 auf Seite 94 zu entnehmen ist, sollen neben den Charakteristika und den qualitativen Parametern auch die Interaktionstasks, die mit einem System zu erledigen sein sollen, als Anforderung in den Designprozess eingehen. Interaktionstasks sind mit vielen verschiedenen Technologien, auf Basis verschiedener Metaphern und durch eine Vielzahl Einzelaktionen auf Anwenderseite realisierbar. Vorhandenes Design-Wissen für einen Interaktionstask existiert also nur sehr selten. Es ist daher angebracht, einen Interaktionstask in Komponenten zu zerteilen, über die eine qualitative Aussage bezüglich ihrer Eignung im Anwendungskontext möglich ist. Dazu wird in diesem Abschnitt eine Taxonomie von Interaktionstechniken vorgestellt, die auf Basis existierender VR-Taxonomien (siehe Unterabschnitt 3.4.1) konzipiert wurde. In Anhang A und Anhang D wird aufgezeigt, wie sich Interaktionstechniken aus eigenen Untersuchungen und aus wissenschaftlichen Publikationen mit Hilfe der Taxonomie strukturieren lassen. Es werden zunächst die Vorteile einer solchen Taxonomie dargelegt bevor anschließend der Aufbau geschildert wird. Der konzeptionelle Aufbau wird des Weiteren anhand eines konkreten Beispiels erläutert bevor der Ansatz abschließend zusammengefasst und in Abschnitt 4.3 zur Bewertung von Interaktionskomponenten herangezogen wird.

In Unterabschnitt 3.4.1 wurden bereits die zahlreichen Vorteile der Verwendung von Taxonomien für Interaktionstechniken beim Interaktionsdesign auf Basis existierender Arbeiten dargelegt. Dazu gehört die Tatsache, dass Komponenten auf der gleichen Ebene einer Taxonomie bewertbar werden und somit qualitative Aussagen über eine Eignung im Kontext einer Anwendung und eines Interaktionstasks getroffen werden können. Auch lassen sich beliebige technologische Realisierungen, Metaphern, zeitliche Abläufe von Interaktionstechniken, sowie koaktive Szenarien abbilden. Taxonomien sind des Weiteren leicht erweiterbar und sie lassen sich in Datenstrukturen überführen für die es in der Informatik zahlreiche Verfahren und Werkzeuge zum

*Vorteile einer  
Taxonomie von Inter-  
aktionstechniken*

Editieren, Visualisieren und Speichern gibt. Taxonomien sind für das Interaktionsdesign gut geeignet, da sie leicht verständlich sind, sich klar strukturiert visualisieren und kompakt darstellen lassen.

#### 4.2.1 Der Aufbau der Taxonomie

In Unterabschnitt 1.3.1 wurde dargelegt, dass in der vorliegenden Arbeit ausschließlich der vom Anwender ausgehende Teil einer Interaktionstechnik, also die Eingabe, betrachtet wird. Dies entspricht den Interaction Tasks aus dem Task Modell nach Paterno [Paterno et al., 1997] (siehe Unterabschnitt 3.4.1). Die im Folgenden vorgestellte Taxonomie adressiert somit den von Moran als Task Level, Interaction Level und Device Level benannten Teil einer Interaktion (siehe Abbildung 14 auf Seite 71). Wie in Unterabschnitt 3.4.1 beschrieben, existieren aber auch Taxonomien, die die visuelle, haptische oder auditive Ausgabe einer Interaktionstechnik betrachten, was den Application Tasks im Task Modell nach Paterno entspricht. Diese, sowie die User Tasks und Abstract Tasks nach Paterno [Lecerof and Paterno, 1998] werden an dieser Stelle nicht weiter betrachtet, da diese zu keiner Interaktion mit dem Computersystem führen (siehe Unterabschnitt 3.4.1).

Ziel der hier vorgestellten Taxonomie ist es, mit einer abstrakten Ebene zu beginnen, die einen Interaktionstask beschreibt und diesen dann stufenweise zu konkretisieren, um die einzelnen Aktionen, mit denen der Task gelöst werden kann, zu beschreiben. Sie orientiert sich dabei am Aufbau der von Bowman und Hodges aufgestellten Taxonomie für VR-Interaktionstechniken [Bowman and Hodges, 1999]. Der Aufbau dieser Taxonomie ist in Abbildung 17 auf Seite 74 zu sehen. Beim Interaktionsdesign für natürliche Benutzungsschnittstellen muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Interaktion durch eine Vielzahl unterschiedlicher Technologien realisiert werden kann (siehe Abschnitt 3.2). Ferner werden häufig auch 2D-Benutzungsschnittstellen verwendet, was zu einer größeren Varianz bei der Anzahl der zu kontrollierenden Freiheitsgrade führt. Damit einher geht auch die Tatsache, dass bei natürlichen Benutzungsschnittstellen die Anzahl existierender Metaphern höher ist, wie exemplarisch zu Beginn in Abschnitt 3.3 aufgezeigt wurde.

Abbildung 27 zeigt den allgemeinen Aufbau der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Taxonomie. Komponenten der Taxonomie sind *Interaktionstasks*, *Interaktionstechniken*, *Subtasks* und *Interaction Components*.

*Interaktionstask,  
Interaktionstechnik,  
Subtask und  
Interaction  
Component*

**Interaktionstasks** definieren eine beliebig komplexe Aufgabe, die ein Anwender mit einem interaktiven System, ausführen kann. Ein Interaktionstask ist die Wurzel eines Baumes der Taxonomie.

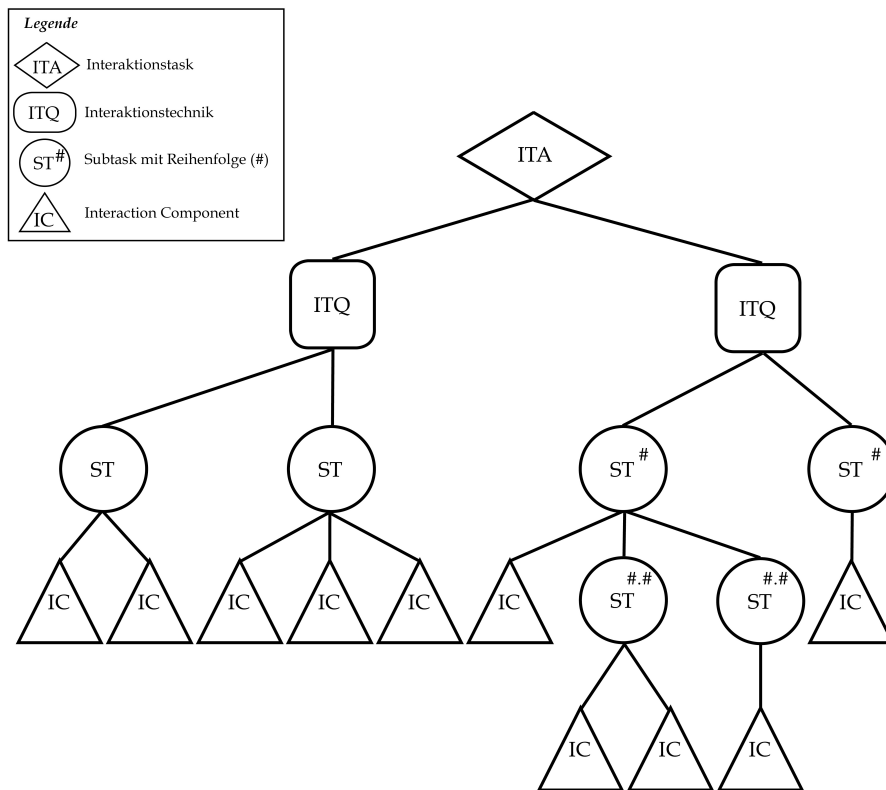


Abbildung 27: Allgemeiner Aufbau der Taxonomie

Eine **Interaktionstechnik** repräsentiert eine konkrete, von der eingesetzten Technologie abhängige Realisierung eines Interaktionstasks. Zu jedem Interaktionstask kann es mehrere Interaktionstechniken geben.

Mit Hilfe von **Subtasks** werden konkrete einzelne Handlungsschritte und Gesten einer Interaktionstechnik beschrieben. Sie definieren den zeitlichen Ablauf und können beliebig hierarchisch gruppiert werden, so dass es mehrere Subtask-Ebenen im Taxonomie-Baum gibt.

**Interaction Components** beschreiben die konkrete Umsetzung eines Subtasks. Es kann mehrere Möglichkeiten zur Realisierung geben, so dass zahlreiche Interaction Components einem Subtask zugeordnet sein können, da der Subtask durch diese Interaction Components realisiert werden kann.

Zu jedem denkbaren *Interaktionstask* als Wurzel ergibt sich ein eigener Baum. Dieser teilt jeden *Interaktionstask* zunächst in eine beliebige Anzahl *Interaktionstechniken* auf. Jede *Interaktionstechnik* repräsentiert eine technologische und konzeptionelle Realisierung eines *Interaktionstask*.

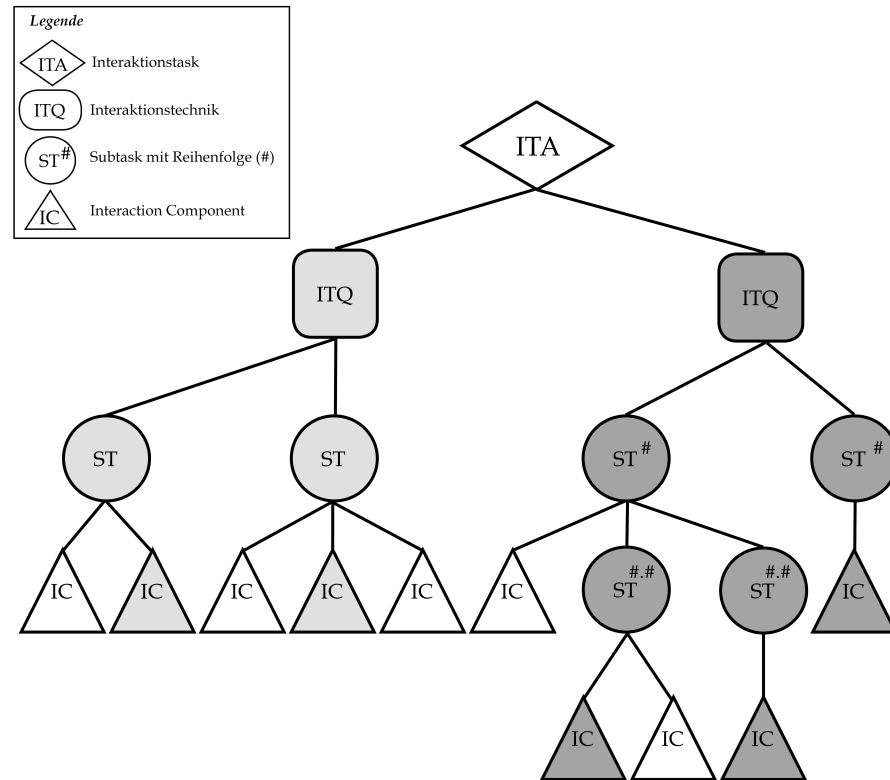


Abbildung 28: Allgemeiner Aufbau der Taxonomie mit Auswahlmöglichkeiten

Da für eine Technologie verschiedene Interaktionstechniken existieren können, kann eine Technologie mehrfach in der Taxonomie auftauchen. Auch sind Kombinationen aus verschiedenen Technologien zur Interaktion als eine zusammengefasste *Interaktionstechnik* definierbar. Zu jeder *Interaktionstechnik* gehören eine bestimmte Menge *Subtasks*. Jeder *Subtask*, der zu einer *Interaktionstechnik* gehört, muss realisiert werden, da *Subtasks* den zeitlichen Ablauf der Interaktionstechnik und damit die verwendete Metapher repräsentieren. *Subtasks* können eine feste Reihenfolge besitzen oder aber in beliebiger Reihenfolge beziehungsweise nebenläufig ausgeführt werden, was in Abbildung 27 durch die Nummerierungen (mit dem Prefix #) dargestellt wird. *Subtasks* werden gemäß ihrer Nummerierung in aufsteigender Reihenfolge ausgeführt, gleiche Nummern resultieren in beliebiger Reihenfolge oder nebenläufiger Ausführung. Ein *Subtask* kann in weitere *Subtasks* unterteilt werden, um eine übersichtlichere Darstellung bei komplexen Abläufen zu erreichen (siehe Abbildung 27). Reihenfolgen von *Subtasks* auf tieferen Ebenen werden durch die letzte Ziffer der Reihenfolgennotation in der Form #.# beschrieben, jede weitere Hierarchiestufe wird durch einen Punkt angegeben. Jeder *Subtask* kann schließlich durch verschiedene *Interaction Components* ausgeführt werden, die die Blätter des Baumes darstellen. Ein *Subtask* kann somit entweder dadurch erfüllt werden, dass jeder Unter-*Subtask* erfüllt wird, oder eine einzelne *Inter-*

*action Component* realisiert wird. *Subtasks* und *Interaction Components* können mehrfach in einer Taxonomie auftauchen und daher als wiederverwendbare Softwarekomponente realisiert werden.

Wie in Abbildung 27 zu sehen ist, ergeben sich aus der vorgestellten Taxonomie Auswahlmöglichkeiten und Entscheidungsnotwendigkeiten. Diese Möglichkeiten, der strukturierte, hierarchische Aufbau der Taxonomie, sowie kurze textuelle Beschreibungen führen zu einer leichten Verständlichkeit des Aufbaus einer Interaktionstechnik (vgl. [Lecerof and Paterno, 1998]). Da zu jedem *Interaktionstask* mehrere *Interaktionstechniken* gehören, die alle in der Lage sind, den *Interaktionstask* zu erfüllen, muss hier genau eine *Interaktionstechnik* ausgewählt werden. Auf der nächsten Stufe müssen hingegen alle *Subtasks*, inklusive der Unter-*Subtasks*, erfüllt werden, so dass hier keine Auswahl erfolgen muss beziehungsweise kann. Auf der Ebene der *Interaction Components* muss sich der Interaktionsdesigner wiederum für genau eine *Interaction Component* entscheiden, die den *Subtask* realisieren kann. In Abbildung 28 zeigen die hell- und dunkelgrau hinterlegten Objekte jeweils eine mögliche Realisierung des *Interaktionstasks*. Im nachfolgenden Abschnitt wird exemplarisch aufgezeigt, wie die entwickelte Taxonomie für einen einfachen Interaktionstask aussehen kann.

Auswahlmöglichkeiten und Entscheidungsnotwendigkeiten

#### 4.2.2 Der Aufbau der Taxonomie anhand eines Fallbeispiels

In diesem Abschnitt wird anhand eines einfachen Interaktionstasks erläutert, wie die zuvor aufgestellte Taxonomie angewendet werden kann und wie sich verschiedene existierende Technologien, Interaktionstechniken und Metaphern mit ihr abbilden lassen. Als Beispiel soll der Interaktionstask *2D Object Rotation* verwendet werden. Er beschreibt die Drehung eines zweidimensionalen, planar auf der Bildebene liegenden Grafikobjektes um seine z-Achse, die der Bildschirmnormalen entspricht. Für diesen Task sind beliebige Realisierungen denkbar. Es werden exemplarisch zwei Multitouch-Interaktionstechniken, eine (be-)greifbare Interaktionstechnik, zwei Stift-Interaktionstechniken sowie eine Handgesten-Interaktionstechnik definiert. Aus den folgenden Abbildungen in diesem Abschnitt wird deutlich, dass ein Baum für einfache *Interaktionstasks* bereits sehr groß werden kann. In folgenden Beispiel entstehen aus sechs *Interaktionstechniken* insgesamt 21 *Interaction Components* aus denen ein Interaktionsdesigner auswählen kann.

Zur besseren Übersicht wurde der gesamte Baum der Taxonomie unterteilt. Abbildung 29 zeigt den *Interaktionstask* als Wurzel und die *Interaktionstechniken*. Die *Interaktionstechniken* werden in Abbildung 30 bis 33 separat dargestellt und bis auf *Interaction Components* heruntergebrochen. Das in eckigen Klammern der Komponenten in den Abbildungen angegebene Präfix definiert jeweils die zugrundeliegende Technologie der natürlichen Benutzungsschnittstelle ([MT] = Multi-

touch, [BI] = (be-)greifbare Interaktion, [P] = Stiftinteraktion und [G] = Hand-/Körpergesten). Diese finden sich auch in Unterabschnitt 4.4.1 ab Seite 118 wieder, wo sie als technologische Anforderungen für koaktive Anwendungen herangezogen werden.

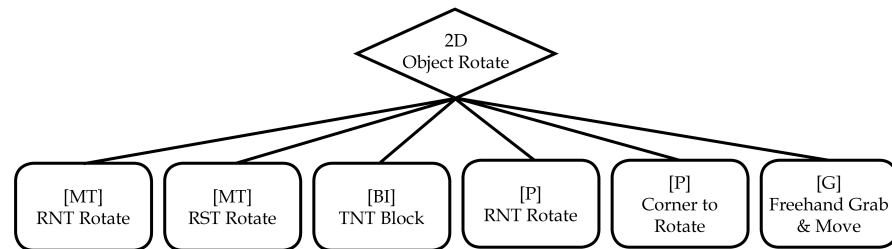


Abbildung 29: Beispiel-Taxonomie für den *Interaktionstask* 2D Rotation - *Interaktionstask* und *Interaktionstechniken*

#### Multitouch- Interaktionstechniken

Der *Interaktionstask* 2D Object Rotation ist in diesem Beispiel durch zwei verschiedene Multitouch-Interaktionstechniken realisierbar: *RNT Rotate* und *RST Rotate*, wie in Abbildung 29 zu sehen ist. Es handelt sich um die Rotationskomponenten aus den Interaktionstechniken RNT [Kruger et al., 2005] und RST (vgl. Abbildung 9 auf Seite 59). Diese Techniken enthalten neben der Rotation auch die zeitgleiche Ausführung von Translation oder Skalierung. Diese Komponenten werden an dieser Stelle jedoch nicht weiter betrachtet.

Bei der 2-Finger RST-Technik muss zunächst entschieden werden, wo das Rotationszentrum auf dem 2D-Grafikobjekt liegen soll. Dies ist im Beispiel durch *1 Finger on Object* (diese *Interaction Component* definiert die 2D-Koordinate, an der der erste Finger das Objekt berührt) oder *2 Finger on Object (Midpoint)* (die 2D-Koordinate des Mittelpunktes der beiden auf das Objekt platzierten Finger) umsetzbar. Bei der RST-Technik hingegen ist das Rotationszentrum stets der Mittelpunkt des Grafikobjektes und es bedarf keiner expliziten Auswahl. Bei RNT wird der Rotationswinkel durch die Bewegung (Drag) eines einzelnen Fingers bestimmt, der zuvor im Rotationsbereich des Grafikobjektes platziert wurde (*RNT 1 Finger Drag in RNT Rot. Reg.*). Bei RST hingegen wird der Rotationswinkel durch eine Gerade bestimmt, die die beiden auf dem Grafikobjekt platzierten Finger verbindet. Diese Gerade verändert ihre Lage mit der Bewegung der Finger, der Rotationswinkel ergibt sich aus dem Winkel der Geraden zu ihrer ursprünglichen Lage (*RST 2 Finger Rot on Object*).

Abbildung 30 ist des Weiteren zu entnehmen, wie die Reihenfolge der *Subtasks* festgelegt wird. Bei RST müssen die beiden *Subtasks* (*RST Define Rot Center* und *RST Define Rot Angle*) in genau dieser Reihenfolge ausgeführt werden.

#### (Be-)greifbare- Interaktionstechniken

Als (be-)greifbare *Interaktionstechnik* soll exemplarisch die *Interaktionstechnik* TNT Block [Liu et al., 2006] verwendet werden. Hier wird ein physikalisches Objekt auf einem horizontalen Bildschirm abgelegt. Das Grafikobjekt, welches sich unter dem physikalischen Objekt be-

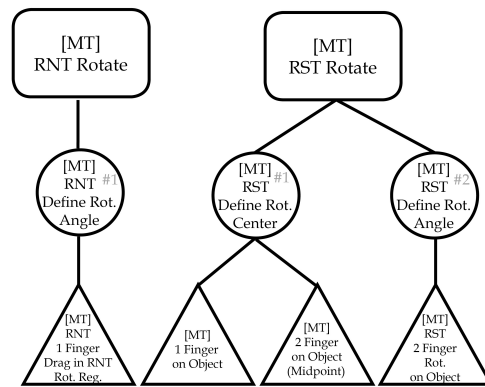


Abbildung 30: Beispiel-Taxonomie für den Interaktionstask 2D Rotation - Multitouch *Interaktionstechniken*

findet, wird zur Rotation selektiert und als Rotationszentrum wird der 2D-Mittelpunkt des physikalischen Objektes auf dem Bildschirm verwendet. Dies wird durch *TNT Define Rot Center (Subtask)* und *Object on Object (Interaction Component)* umgesetzt, siehe Abbildung 31. Da die *Subtasks* auch in diesem Beispiel einer festgelegten Reihenfolge unterliegen, erfolgt anschließend die Auswahl des Rotationswinkels durch Drehen des physikalischen Objektes (*Define Rot Angle*). Dies kann auf zwei verschiedene Arten geschehen: entweder in einem 1:1 Verhältnis, so dass sich das Grafikobjekt verhält, als wäre es mit dem physikalischen Objekte fest verbunden (*Object Z Rotation*) oder in einem 1:N Verhältnis, indem der Rotationswinkel für das Grafikobjekt durch Multiplikation mit einem Faktor N aus dem Rotationswinkel des physikalischen Objektes errechnet wird. Der letzte Fall kann von Vorteil sein, wenn kleine Winkel sehr genau eingestellt werden müssen ( $N < 1$ ) oder wenn sehr schnell sehr große Winkel eingestellt werden sollen ( $N > 1$ ). Es zeigt sich erneut die kontextabhängige Auswahlmöglichkeit der *Interaction Components*. Alle in dieser *Interaktionstechnik* enthaltenen *Interaction Components* haben jedoch eine schlechte Eignung für Anwendungsfälle, in denen kein horizontales Display verwendet wird. Ein solcher würde zusätzliche technologische Anforderungen an das System stellen, zum Beispiel die Verwendung magnetischer physikalischer Objekte (vgl. [Leitner and Haller, 2011]). Exemplarisch stellt Abbildung 32 zwei *Interaktionstechniken* für Stifte dar. *RNT Rotate* ist identisch mit der bereits beschriebenen Multitouch-Variante RNT, nur dass die Durchführung mit einem Stift, statt mit einem Finger erfolgt. Dies könnte kontextabhängig vorteilhaft sein, um eine höhere Präzision bei der Rotation zu erreichen. Die zweite *Interaktionstechnik* beschreibt die in Unterabschnitt 3.3.1 erwähnte *Corner to Rotate (CTR)* Technik. Hier werden Widgets an einem oder mehreren Punkten (oft Eckpunkten) des Grafikobjektes eingeblendet, die sich mit einem 2D-Pointer verschieben lassen, wodurch das Objekt um seinen lokalen Mittelpunkt rotiert. Diese Technik ist in vielen

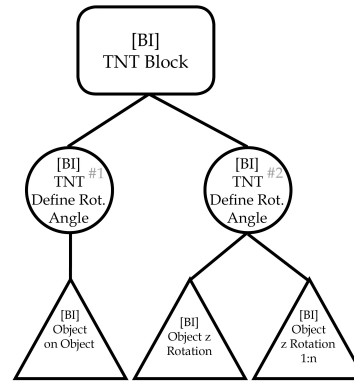


Abbildung 31: Beispiel-Taxonomie für den *Interaktionstask* 2D Rotation - *Interaktionstechnik* für (be-)greifbare Interaktion

PC-Anwendungen, wie zum Beispiel Microsoft Powerpoint, implementiert. Für Fingerinteraktionen ist sie eher ungeeignet, da die Widgets für die Verwendung durch einen Finger zu klein sind oder anderenfalls sehr viel Platz einnehmen müssten. Die *Subtasks* dieser Technik unterliegen einer festgeschriebenen Reihenfolge: Zunächst muss der CTR-Modus aktiviert werden, anschließend der Rotationswinkel definiert und schließlich die Aktion beendet bzw. bestätigt werden. Der *Subtask Select CTR Mode* kann entweder direkt durch die *Interaction Component Object Tip* umgesetzt werden, oder es müssen alle weiteren *Subtasks* auf dieser Ebene erfüllt werden. Die weiteren *Subtasks* auf diesem Level (*Trig. Context Menu* und *Context Menu Select CTR*) unterliegen erneut einer festen Reihenfolge. Die Unter-*Subtasks* stellen in diesem Beispiel ein Kontext Menü zur Selektion dar, zum Beispiel das Einblenden von Pushbuttons, mit denen die Funktion CTR ausgewählt werden kann. Dies ist vorteilhaft, wenn die direkte Selektion durch *Object Tip* mit dem Stift für die Funktion CTR nicht erfolgen kann, da noch weitere Interaktionen ermöglicht werden müssen. Abbildung 32 zeigt, dass anschließend die Definition des Rotationswinkels über das beschriebene Verschieben (Drag) des Widgets geschieht und dass die Bestätigung der Aktion anschließend durch ein erneutes *Object Tip* erfolgt. In diesem Beispiel kann zwischen einem normalen und einem länger andauernden Berühren gewählt werden *Object Long Tip*. Die letztgenannte Variante kann verwendet werden, um unbeabsichtigtes Bestätigen vorzubeugen, benötigt aber mehr Zeit.

Handgesten-  
Interaktionstechniken

Bisher wurden direkte Interaktionstechniken vorgestellt, bei denen das zu rotierende Grafikobjekt direkt auf dem Bildschirm mit einem Finger, Stift oder Objekt virtuell berührt und somit für die Rotation selektiert wurde. Handgesten erfolgen frei im Raum, weshalb sie eine vorherige Selektion des Grafikobjektes erfordern. In diesem Beispiel wird dies über eine Zeigegeste basierend auf Ray Casting oder Virtual Hand (beschrieben in Unterabschnitt 3.3.3) und einer Greifgeste zur Bestätigung realisiert, siehe Abbildung 33. Die anschließende Rotation



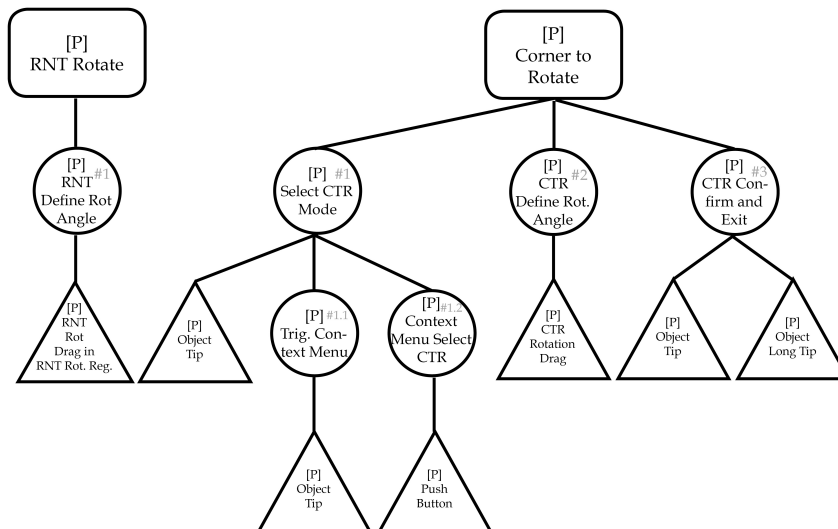


Abbildung 32: Beispiel-Taxonomie für den *Interaktionstask* 2D Rotation - *Interaktionstechniken* für Stift-Interaktion

erfolgt durch die Übertragung der Handrotation auf das Grafikobjekt (*2D Hand Orientation*) oder durch die Übertragung einer horizontalen Handbewegung bei der die Entfernung zum Ausgangspunkt den Rotationswinkel bestimmt (*Hand Translation X*). Zur Bestätigung der Rotation kann entweder das Beenden der Greifgeste (*Grab Release*) oder ein längeres Nicht-Bewegen der Hand (*Time Trigger*) verwendet werden. Diese *Interaction Components* zu *Confirm and Exit* haben jedoch oft den Nachteil, dass sie einen *Exit Error* (siehe Seite 110) erzeugen.

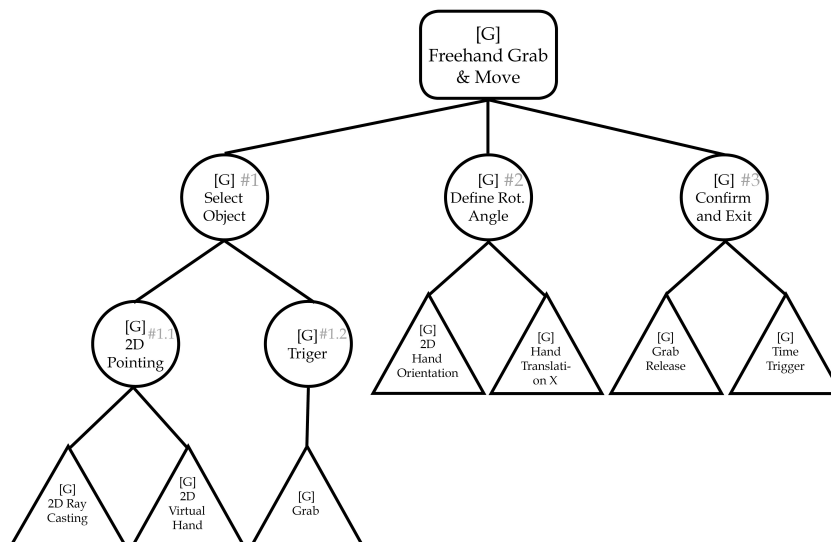


Abbildung 33: Beispiel-Taxonomie für den *Interaktionstask* 2D Rotation - *Interaktionstechnik* für Handgesten-Interaktion

Das vorgestellte Beispiel zeigt nur einige Möglichkeiten auf, wie ein konkreter *Interaktionstask* realisiert werden kann. Es sind zahlreiche

*Nebenläufige Subtasks*

weitere *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* zu den verschiedenen *Subtasks* denkbar. In diesem Beispiel können jedoch die unterschiedlichen Komponenten der Hierarchie, die Reihenfolgen, mehrfach auftretende *Interaction Components*, mehrfach unterteilte *Subtasks* und mehrere technologische Umsetzungen gut demonstriert werden. Es werden jedoch ausschließlich sequentielle *Subtasks* berücksichtigt. Ein Beispiel für nebenläufig ausführbare *Subtasks* ist in Abbildung 34 zu sehen. Hier ist die RNT Technik [Kruger et al., 2005] (siehe Unterabschnitt 3.3.1, Abbildung 6 auf Seite 56) vollständig mit Rotation und Translation abgebildet. Beide *Interaction Components* basieren auf einer Einfinger-Geste. Das System unterscheidet automatisch welcher Teil der Technik durchgeführt wird anhand der Region auf dem Grafikobjekt, in die der Finger platziert wurde. Auch wenn nur der Rotations-*Subtask* des *Interaktionstask* RNT ausgeführt wird, kann in diesem Beispiel auch der *Subtasks* der Translation als ausgeführt angesehen werden (die ist Voraussetzung für die Erfüllung des *Interaktionstasks*), indem eine Translation um den Faktor „0“ durch beide Finger vom Anwender ausgeführt wurde.

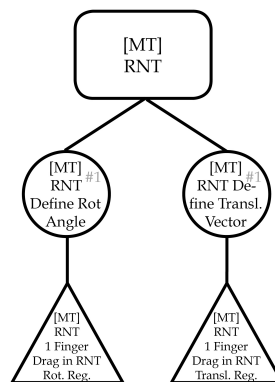


Abbildung 34: Vollständige Darstellung von RNT - Die Kombination von Rotation und Translation

#### Subtask-Übergänge

Bei der Reihenfolge der *Subtasks* kann es erforderlich sein zu definieren, welche *Subtasks* aufeinander folgen, da nicht immer beliebige Übergänge oder nebenläufige Bearbeitung möglich sind. Ein Beispiel dazu befindet sich in Abbildung 53 in Abschnitt A.1 im Anhang dieser Arbeit auf Seite 172. Hier kann der Übergang zu *3TTRW Widget Transf.* nur nach Erfüllung von *3TTRW Trigger Widget* erfolgen. Dies kann in der Datenstruktur entsprechend gespeichert werden und wird in der Baumvisualisierung durch Übergangspfeile gekennzeichnet.

#### 4.2.3 Abschließende Bewertung der Taxonomie für das Interaktionsdesign

In diesem Abschnitt wurde die Erstellung einer Taxonomie für Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen auf Basis existierender Taxonomien aus der VR beschrieben. Diese setzt

sich aus *Interaktionstasks*, *Interaktionstechniken*, *Subtasks* und *Interaction Components* zusammen. Wie *Interaction Components* und andere Komponenten im konkreten Fall aussehen können und welche Auswahlmöglichkeiten es dadurch gibt, wurde anhand eines einfachen konkreten Beispiels für die 2D Rotation erläutert. Der wesentliche Unterschied der hier vorgestellten Taxonomie zu den VR-Taxonomien ist die Unterteilung auf Ebene der *Interaktionstechniken*, die verschiedenen Technologien und Metaphern unterliegen können. Der allgemeine Aufbau der Taxonomie ist in Abbildung 27 dargestellt. Während bei den VR-Taxonomien ein Interaktionstask immer in derselben Reihenfolge von Subtasks absolviert wird (siehe zum Beispiel Travel-Task nach [Bowman et al., 1997], Abbildung 18 auf Seite 75), ist dies bei natürlichen Benutzungsschnittstellen nicht zwangsläufig der Fall. Beispielsweise ist abhängig von direkter oder indirekter Interaktionstechnik eine Objektselektion vor einer Manipulation erforderlich oder nicht. Auch eine Bestätigung einer Manipulation ist bei einigen Techniken erforderlich, bei anderen ist sie automatisch enthalten. Der sequentielle Ablauf von Subtasks ist also bei allen Technologien und Interaktionstechniken unterschiedlich. Des Weiteren ist mit der vorgestellten Taxonomie die Abbildung nebenläufiger Subtasks möglich, die bei natürlichen Benutzungsschnittstellen im Gegensatz zur VR häufiger auftreten, zum Beispiel wenn bei einer zwei-Finger-Multitouch-Interaktion gleichzeitig Rotation und Skalierung manipuliert werden. Genau wie existierende Taxonomien ist die hier Entwickelte beliebig erweiterbar um neue *Interaktionstasks*, *Interaktionstechniken*, *Subtasks* oder *Interaction Components*. Für einen Entscheidungsprozess beim Interaktionsdesign kann sie als Basis dienen, da Auswahlmöglichkeiten auf Ebene der *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* entstehen. Es existieren *Interaction Components*, die mehrfach in der Taxonomie vorkommen. Auch *Subtasks* mit zugehörigen *Interaction Components*, beispielsweise zur Selektion von Grafikobjekten, könnten mehrfach auf identische Weise vorhanden sein. Daher bietet es sich an, diese *Subtasks* und *Interaction Components* als wiederverwendbare Softwarekomponenten für einen schnellen Entwurf von Interaktionstechniken zu realisieren. Diese Tatsache zeigt aber auch, dass Redundanzen in der Taxonomie entstehen und sie sehr schnell sehr groß und unübersichtlich werden kann. Daher ist es wenig sinnvoll für Interaktionsdesigner, mit der Datenstruktur der Taxonomie direkt zu interagieren. Wie in der Visualisierung des Prozesses des Interaktionsdesigns in Abbildung 25 zu sehen ist, genügen dem Interaktionsdesigner die *Interaktionstasks* als Eingabe für den Prozess und die *Interaktionstechniken* als Ausgabe. Sofern die *Interaction Components* als Softwarekomponenten existieren, kann er durch Festlegung der Subtasks mit *Interaction Components* schnell eine vorgeschlagene *Interaktionstechnik* realisieren. Für ein Computersystem, in dem die Taxonomie als Datenstruktur gespeichert ist, ist dies Größe der Taxonomie aufgrund der geringen

Verwendung für  
Koaktivität

Nächster Schritt  
zum  
Interaktionsdesign

Datenmenge pro Baumknoten jedoch als unkritisch anzusehen. Für die Visualisierung bietet sich eine Zerteilung an, wie im Beispiel in Unterabschnitt 4.2.2 abgebildet.

In diesem Abschnitt wurden zunächst Einzelanwender-Interaktionen betrachtet. In den meisten Fällen werden diese jedoch auf gleiche Art und Weise in koaktiven Anwendungen verwendet. Es wurde daher beim Entwurf der Taxonomie berücksichtigt, dass sich auch kollaborative Gesten oder Multiuser-Interaktionstechniken abbilden lassen. Dies ist möglich, da in der Taxonomie bewusst nicht festgelegt ist, welche *Interaction Component* oder welcher *Subtask* von welchem Anwender, welcher Hand, welchem Finger oder welchem Objekt ausgeführt wird. Im Beispiel aus Unterabschnitt 4.2.2, wird bereits angedeutet, dass verschiedene *Interaction Components* unterschiedlich gut für ein gegebenes Szenario geeignet sein können, also die Gebrauchstauglichkeit beeinflussen. Beispielsweise können Einfinger-Gesten in koaktiven Szenarien besser sein, Zweifinger-Gesten erlauben jedoch häufig eine präzisere Interaktion. Auch eine (be-)greifbare Interaktion kann besser geeignet sein für präzise Eingaben, ist für vertikale Bildschirmanordnungen jedoch nur mit zusätzlichem Aufwand realisierbar, da (be-)greifbare Objekte an Ihnen nicht ohne weiteres fixiert werden können. Bestätigungen bei Zeigegesten können über ein zeitliches Verweilen an einer Position besser ausgeführt werden, wenn ein *Exit Error*<sup>1</sup> vermieden werden muss. Auch ganze Technologien können für bestimmte Szenarien besser geeignet sein als andere, zum Beispiel kann eine Stiftinteraktion für Handschrifteingabe besser geeignet sein als eine Fingereingabe. Solche Kontextabhängigkeiten werden im folgenden Abschnitt adressiert, indem ein Evaluierungsverfahren vorgestellt wird, das die Elemente der Taxonomie mit aus Charakteristika erstellten Konfigurationen bewertet. Dadurch wird es einem Interaktionsdesigner erleichtert, eine qualifizierte Entscheidung für ein konkretes Problem zu treffen und die Gebrauchstauglichkeit des zu entwickelnden interaktiven Systems bereits früh in der Entstehung zu adressieren.

<sup>1</sup> Ein Exit Error entsteht, wenn Teile der Bewegung, die das Ende einer Geste festlegen, noch in die eigentliche Bewegung mit übernommen werden oder wenn die Verbindung zwischen einem Finger oder Objekt und einem Bildschirm beendet wird und noch kleine Translations- oder Rotationsbewegungen erkannt und auf das Interaktionsobjekt übertragen werden [Tuddenham et al., 2010].

4.3 BEWERTUNG VON INTERAKTIONSTECHNIKEN AUF BASIS VOR-  
GEGEBENER CHARAKTERISTIKA

Bisher wurden in diesem Kapitel Charakteristika zur Beschreibung von interaktiven Systemen und eine Taxonomie von Interaktionstechniken für natürliche Benutzungsschnittstellen präsentiert. Dies geschah vorbereitend für den Entwurf eines strukturierten Prozesses zum Interaktionsdesign, dessen Ansatz in Abbildung 25 auf Seite 94 abgebildet ist. Alle für die Eingabe erforderlichen Anforderungen (Requirements) des Prozesses, die für ein konkretes interaktives System von Bedeutung sind, sind somit bekannt: änderbare und nicht änderbare Charakteristika, qualitative Parameter, sowie die Interaktionstasks aus der Taxonomie. Damit der Prozess des Interaktionsdesigns qualifizierte Aussagen bezüglich geeigneter Design-Alternativen treffen kann, bedarf es jedoch zunächst der Analyse, inwieweit die *Interaktionstechniken*, die zu allen zu realisierenden *Interaktionstasks* möglich sind, im konkreten Kontext, der durch Charakteristika und qualitative Parameter beschrieben werden kann, geeignet sind. Deshalb wird in diesem Abschnitt ein Bewertungsschema und -konzept vorgestellt, das die Taxonomiekomponenten *Interaktionstechnik* und *Interaction Component* mit den Charakteristika und mit den qualitativen Parametern kombiniert und diese Kombinationen bewertet. Hier wird insbesondere die Koaktivität bei der Interaktion berücksichtigt, die über Charakteristika beschrieben werden kann und so in die Bewertung eingeht. Der Bewertungsansatz ist jedoch auch für Einzelnutzeranwendungen verwendbar.

Existierende Taxonomien berücksichtigen lediglich die Strukturierung von Interaktionstechniken, beinhalten aber keine Bewertung. Dieser entscheidende Unterschied erlaubt es im Rahmen eines Auswahlverfahrens die Eignung unterschiedlicher Taxonomiekomponenten beurteilen zu können.

## 4.3.1 Bewertungsschema und -schlüssel

Ziel des hier vorgestellten Bewertungsschemas soll es sein, Interaktionsdesignern auf Basis der vorgestellten Taxonomie Entscheidungshilfen auf Ebene der *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* bereitzustellen, da dies die beiden Ebenen sind, auf denen sich Auswahlmöglichkeiten und -notwendigkeiten ergeben. Wie in Unterab-

schnitt 4.2.2 an einigen einfachen Beispielen gezeigt wurde, ergibt sich oft schon für einfache *Interaktionstasks* eine Vielzahl von verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten. Einige dieser unterschiedlichen *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* eignen sich unter bestimmten Gegebenheiten jedoch besser als andere. Solche Gegebenheiten können durch Charakteristika beschrieben werden. Des Weiteren ist die Eignung von den Anforderungen an qualitative Parameter abhängig. Beispielsweise müssen bestimmte Interaktionen besonders schnell, andere wiederum besonders präzise erfolgen können. Es ergibt sich daher die Notwendigkeit, Kombinationen der *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* mit Charakteristika und qualitativen Parametern zu bewerten. So können zum Beispiel *Interaktionstechniken* oder *Interaction Components*, die eine besonders schnelle Interaktion (Kombination mit dem qualitativen Parameter Speed) bei einem bestimmten Systemaufbau (verschiedene Charakteristika aus der Kategorie System) eine gute oder auch eine schlechte Bewertung bekommen. Ein solcher Bewertungsansatz ist in bisherigen Taxonomien, beispielsweise aus der VR, nicht enthalten. Auf der Taxonomie-Ebene der *Subtasks* existiert keine Auswahlmöglichkeit für einen Interaktionsdesigner, daher sind für diese auch keine Bewertungen erforderlich. Eine Eignung von *Subtasks* ergibt sich aber automatisch aus den Bewertungen der darüberliegenden *Interaktionstechnik*, die die Technologie und die angewendete Metapher enthält, sowie der *Interaction Components*, die als Kindknoten die einzelnen Schritte der Interaktionstechnik beschreiben.

Berücksichtigung  
der Koaktivität

Das Bewertungsschema adressiert insbesondere den Faktor der Koaktivität. Koaktive Systeme unterscheiden sich durch die Anzahl der Nutzer, deren unterschiedliches Wissen und unterschiedliche Erfahrung mit dem System, dem Hardwareaufbau, sowie der Position der Anwender. Diese Besonderheiten können wie in Unterabschnitt 4.1.2 erläutert wurde, einfach durch Charakteristika beschrieben werden. So können beispielsweise die in Unterabschnitt 3.1.2 erwähnten Wahrnehmungsunterschiede in koaktiven Szenarien vorab beschrieben und beim Interaktionsdesign berücksichtigt werden.

Kombinationen

Abbildung 35 visualisiert die aufgestellten Pools von Charakteristika, qualitativen Parametern, sowie den *Interaktionstechniken* beziehungsweise *Interaction Components* aus der Taxonomie.

Das Bewertungsschema definiert drei verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von *Interaktionstechniken* beziehungsweise *Interaction Components* mit qualitativen Parametern und Charakteristika. Sie sind in Tabelle 4 aufgelistet. Hierbei ist jeweils in eckigen Klammern die erlaubte oder erforderliche Häufigkeit der Objekte für die Kombination angegeben. So ist der Tabelle zu entnehmen, dass Kombinationen von Charakteristika und qualitativen Parametern sich jeweils auf nur eine einzelne *Interaktionstechnik* oder *Interaction Component* beziehen. Es können dabei mehrere (1 bis n) Charakteristika angegeben sein,

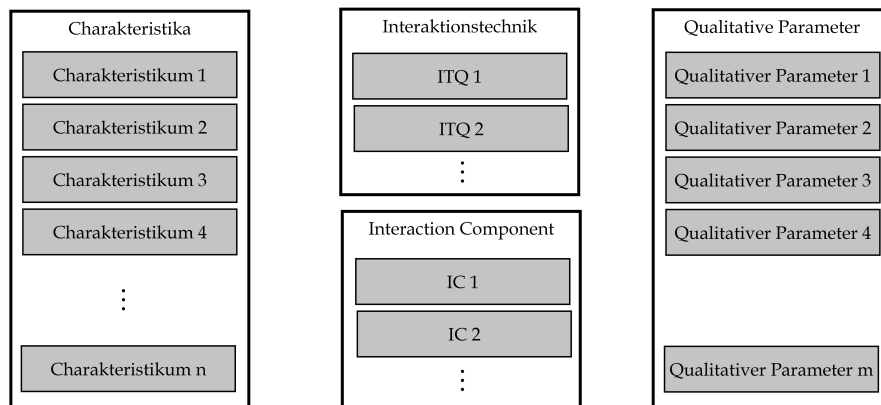


Abbildung 35: Pools von *Interaktionstechniken* (ITQ) bzw. *Interaction Components* (IC), *Charakteristika* und qualitativer Parameter als Grundlage für bewertbare Kombinationen

wobei mindestens ein Charakteristikum auftauchen muss. Die zusätzliche Angabe von qualitativen Parametern ist optional (0 bis n), da sich Evaluierungen nicht immer auf qualitative Parameter beziehen. Meistens beziehen sie sich jedoch auf einen einzelnen qualitativen Parameter, wie beispielsweise die Geschwindigkeit, mit der eine Interaktionsaufgabe durchgeführt werden kann.

| Kombination   | Beschreibung   |
|---------------|--|
| Kombination 1 | <i>Interaction Component</i> [1], <i>Charakteristika</i> [1..n] und qualitative Parameter [0..n] |
| Kombination 2 | <i>Interaktionstechnik</i> [1], <i>Charakteristika</i> [1..n] und qualitative Parameter [0..n]   |
| Kombination 3 | <i>Interaction Component</i> [1] und <i>Interaction Component</i> [1]                            |

Tabelle 4: Kombinationsmöglichkeiten von *Interaktionstechniken* bzw. *Interaction Components*, *Charakteristika* und qualitativer Parameter

Gegebenheiten eines interaktiven Systems und die resultierende Eignung einer Interaktion ergeben sich häufig aus mehreren Charakteristika. So könnte beispielsweise eine gute Eignung für ein interaktives System mit einer Interaktionstechnik nur dann gegeben sein, wenn drei Charakteristika vorhanden sind. Wenn jedoch nur zwei dieser Charakteristika realisierbar sind, kann sich eine andere, gegebenenfalls schlechtere Wertung für die Interaktion ergeben. Auch die Anforderung von mehreren qualitativen Parametern ergibt je eine eigene Wertung. Ein solches Bewertungsprinzip muss verwendet werden, da Charakteristika und qualitative Parameter nicht immer problemlos miteinander koexistieren können. Eine eins-zu-eins Bewertung

und das Bilden eines arithmetischen Mittels der Einzelbewertungen wäre daher nicht zielführend für eine Gesamtbewertung von Kombinationen. Abbildung 36 zeigt schematisch einige Beispiele für die Kombinationen 1 und 2 gemäß Tabelle 4.

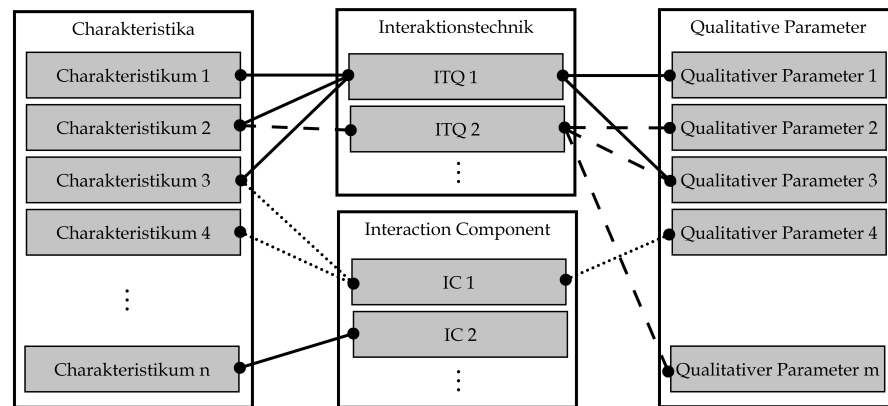


Abbildung 36: Kombinationsbeispiele für Kombination 1 und Kombination 2 gemäß Tabelle 4 (die unterschiedlichen Linienarten repräsentieren je eine Kombination)

Koexistenz von  
Interaction  
Components

Neben der Kombination von *Interaktionstechniken* beziehungsweise *Interaction Components* mit Charakteristika und qualitativen Parametern ist auch eine Kombination von zwei *Interaction Components* (Kombination 3 aus Tabelle 4) möglich. Dies erlaubt eine Forcierung oder Verhinderung bestimmter *Interaction Component* Kombinationen. Bestimmte *Interaction Components* können besser mit bestimmten anderen *Interaction Components* koexistieren. So können in *Interaktionstechniken* mit gemischter Technologie beispielsweise zu viele Übergänge zwischen Interaktionstechnologien, die einen flüssigen Arbeitsprozess stören, vermieden werden, indem die Kombination von *Interaction Components* mit gleicher Technologie besser bewertet wird, als Kombinationen von *Interaction Components* mit unterschiedlichen Technologien. Solche Übergänge können allerdings auch gewollt sein oder erzwungen werden. Wenn beispielsweise bestimmte Technologien für einen *Interaktionstask* besonders gut geeignet sind, so dass ein Übergang förderlich sein kann, beispielsweise bei der Verwendung digitaler Stifte bei der Texteingabe, obwohl zuvor ohne Stifte interagiert wurde. Die Charakteristika, die einen Kontext beschreiben, können eine unterschiedliche Gewichtung für die Bewertung haben, was zusätzlich berücksichtigt werden muss. Charakteristika werden daher mit Faktoren (CF) versehen. Der Faktor 1 beschreibt eine niedrige Relevanz, Faktor 2 eine mittelmäßige und der Faktor 3 eine hohe Relevanz. So kann unterschieden werden, welcher von einer Reihe an Charakteristika in welchem Maße verantwortlich für die Bewertung ist. Für den qualitativen Parameter Geschwindigkeit könnte beispielsweise das Charakteristikum Anwendererfahrung bezüglich einer Interaktionsaufgabe von größerer Bedeutung sein als das Charakteristikum

CF - Charakteristika  
Faktoren



Bildschirmausrichtung. Diese Unterteilung ermöglicht eine detailliertere Beschreibung des Kontextes auf Basis der Charakteristika. Es können alle Charakteristika angegeben und das System vollständig beschrieben werden, besonders wichtige oder weniger wichtige Charakteristika werden aber dennoch unterschiedlich berücksichtigt.

Da es nicht möglich ist, absolute Aussagen über die Eignung einer *Interaktionstechnik* oder einer *Interaction Component* in einem gegebenen Kontext zu treffen, soll der hier verwendete Wertungsschlüssel vor allem die Möglichkeit bieten, relative Beziehungen zwischen den möglichen Kombinationen auszudrücken. Er unterscheidet daher lediglich vier Wertungsstufen, die in Tabelle 5 aufgelistet sind.

Wertungsschlüssel

| Wertung | Beschreibung                         |
|---------|--------------------------------------|
| X       | Kombination ist nicht möglich        |
| -       | Kombination ist nicht empfehlenswert |
| *       | Kombination ist gut möglich          |
| **      | Kombination ist sehr gut möglich     |

Tabelle 5: Bewertungsschlüssel für die Kombinationen von *Interaktionstechniken* / *Interaction Components*, Charakteristika und qualitativer Parameter

Die Bewertung „X“ sagt aus, dass eine Kombination nicht realisierbar ist, da sie beispielsweise technologisch nicht möglich oder ergonomisch nicht praktikabel ist. Dies kann bei der Kombination verschiedener Charakteristika der Fall sein. Die Bewertung „-“ hingegen beschreibt eine Kombination, die zwar realisierbar ist, aber viele negative Eigenschaften mit sich bringt. Die negativen Eigenschaften müssen hierbei überwiegen. Eine mit „\*“ bewertete Kombination hat einige positive, aber auch einige negative Eigenschaften, wobei die positiven leicht überwiegen. Bei einer mit „\*\*“ bewerteten Kombination überwiegen die positiven Eigenschaften hingegen deutlich und die wenigen Negativen sind vernachlässigbar. Durch diese einfachen Abstufungen soll es Forschern und Entwicklern einfach möglich sein, eigene Bewertungen abzugeben und - wie im Verlauf der Arbeit noch beschrieben wird - in ein automatisches Auswahlverfahren einzupflegen. Die Tabellen 6 bis 8 zeigen drei beispielhafte Bewertungen. Das Feld *ID* beschreibt die fortlaufende Nummerierung der Bewertungen zur einfacheren Referenz. Das Feld *CF* gibt den Faktor an, mit dem ein Charakteristikum in die Bewertung einfließt, *Qual. Par.* steht für den oder die qualitativen Parameter, auf den sich eine Bewertung bezieht, *B* für die Bewertung gemäß Tabelle 5 und *TA* für technologische Anforderung (siehe im folgenden Abschnitt 4.4). Im Feld *Referenz* sind die zugehörigen Literaturverweise, die der Bewertung zugrunde liegen, aufgelistet. Eine Referenz oder eine textliche Beschreibung, aus der die Bewertung hervorgeht, müssen angegeben werden, damit später

eine begründete und somit qualifizierte Aussage getroffen werden kann.

Die nachfolgenden Daten dienen lediglich der Veranschaulichung. Sie sind frei erfunden und nicht in das Auswahlwerkzeug übernommen worden. Alle im Kontext dieser Arbeit vorgenommenen Bewertungen befinden sich in Anhang B und Anhang D.

| ID    | Interaktionstechnik         | Charakteristika  | CF          | Qual. Par. | B  | TA      | Referenz   |
|-------|-----------------------------|--|-------------|------------|----|---------|------------|
| BSP_1 | [MT] Simple 6DOF Multitouch | User:TaskExperience:Low<br>Application:Data:3D<br>System:DisplayAlignment:Horizontal | 3<br>1<br>1 | Speed      | ** | (keine) | [Referenz] |

Tabelle 6: *Interaktionstechnik*-Bewertung (fiktiv) gemäß Kombination 1 aus Tabelle 4

| ID    | Interaction Comp.             | Charakteristika  | CF          | Qual. Par. | B | TA      | Referenz   |
|-------|-------------------------------|--|-------------|------------|---|---------|------------|
| BSP_2 | [MT] 1 Finger Horizontal Drag | User:TaskExperience:Low<br>Application:Data:3D<br>System:DisplayAlignment:Horizontal | 1<br>1<br>3 | Precision  | * | (keine) | [Referenz] |

Tabelle 7: *Interaction Component*-Bewertung (fiktiv) gemäß Kombination 2 aus Tabelle 4

| ID    | Interaction Component         | Interaction Component | B | Referenz   |
|-------|-------------------------------|-----------------------|---|------------|
| BSP_3 | [MT] 1 Finger Horizontal Drag | [P] Pen vertical Drag | - | [Referenz] |

Tabelle 8: *Interaction Component* zu *Interaction Component*-Bewertung (fiktiv) gemäß Kombination 3 aus Tabelle 4

#### Zugrundeliegende Datenbestände

Damit der Integrationsprozess wie geschildert funktionieren kann, muss zunächst ein signifikant großer Datenbestand an Bewertungen vorhanden sein. Dazu bedarf es zahlreicher Studien zu Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen. Der Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit waren eigene empirische Studien zur Untersuchung von 3D-Multitouchtechniken, 3D-Techniken mit (be-)greifbaren Interaktionstechniken, sowie Navigationstechniken in virtuellen Umgebungen, die in Anhang A beschrieben werden. Die Studien waren erforderlich, um einen ausreichend großen Datenbestand für das vorgestellte Bewertungsschema zu erheben. Nur so ließ sich prüfen, ob das Schema für das heterogene Gebiet der natürlichen Benutzungsschnittstellen geeignet ist.

Die resultierenden Ergebnisse wurden anschließend zunächst in das vorgestellte Bewertungsschema überführt (siehe Anhang B), sowie in ein Auswahlwerkzeug übertragen. So entstand ein Datensatz von insgesamt 157 Bewertungen, der in Anhang B tabellarisch dargestellt ist. Des Weiteren wurden insgesamt 22 Bewertungen aus Studien Dritter (siehe Anhang D) eingepflegt, um die Anwendbarkeit für das

Gebiet der natürlichen Benutzungsschnittstellen nicht nur auf eigene Interaktionstechniken zu begrenzen und weiter zu untermauern. Auf die technologischen Anforderungen, die aus existierenden Studien hergeleitete Design-Alternativen mit sich bringen können und wie diese Anforderungen adressiert werden können, wird in Abschnitt 4.4 näher eingegangen.

#### 4.3.2 Übersicht über das Bewertungsschema und den Bewertungsschlüssel

In diesem Abschnitt wurde ein Bewertungsschema und -schlüssel für Kombinationen von *Interaktionstechniken* bzw. *Interaction Components* aus der entwickelten Taxonomie, Charakteristika, sowie qualitativer Parameter vorgestellt. Das Verfahren basiert auf eigenen empirischen Studien zu natürlichen Benutzungsschnittstellen, die den Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit bildeten und in Anhang A vorgestellt werden. Es lässt sich jedoch problemlos auch auf Studien aus der Literatur übertragen, wie in Anhang D geschildert wird. Dieses Verfahren ermöglicht es, Gegebenheiten zu beschreiben, unter denen eine bestimmte Interaktion unmöglich, gut oder schlecht geeignet ist. Solche Gegebenheiten, die im Rahmen dieser Arbeit auch als Kontext bezeichnet werden, und Bewertungen von Kombinationen mit Interaktionskomponenten können im Zuge eines strukturierten Verfahrens des Interaktionsdesigns zur Darstellung von Gestaltungsrichtlinien verwendet werden. Die Möglichkeit, Taxonomiekomponenten bewerten zu können, stellt die Neuerung und den wesentlichen Vorteil gegenüber existierenden Taxonomie-Ansätzen dar. Durch die Bewertungen kann eine kriteriengeleitete Entscheidungsfindung stattfinden. Dazu ist stets erforderlich, dass die Beschreibung von interaktiven Anwendungen durch Charakteristika vollständig ist, um alle einflussenden Faktoren, die zu einer Bewertung führen, korrekt berücksichtigen zu können.

Design-Alternativen, die das Ergebnis eines kriteriengeleiteten Auswahlverfahrens bilden, können neue technologische Anforderungen an ein interaktives System mit sich bringen. Auf diese wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

## 4.4 TECHNOLOGISCHE ANFORDERUNGEN



Wenn ein Auswahlverfahren auf Basis der im vorherigen Abschnitt geschilderten Bewertungen von Interaktionskomponenten Vorschläge zu Alternativen beim Interaktionsdesign machen soll, können hieraus neue technologische Anforderungen an das System entstehen. So erfordern es manche koaktive Interaktionstechniken beispielsweise, dass eine Anwenderidentifizierung stattfindet (siehe auch Unterabschnitt 3.2.5) oder dass die Erkennung bestimmter Handgesten möglich sein muss. In diesem Abschnitt werden einige signifikante technologische Anforderungen für koaktive Szenarien mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vorgestellt, die im Rahmen der Forschungsarbeiten rund um die vorliegende Arbeit identifiziert wurden und im entwickelten Auswahlverfahren berücksichtigt werden.

4.4.1 *Identifizierte technologische Anforderungen für den Kontext dieser Arbeit*

Nachfolgend werden technologische Anforderungen an ein interaktives System vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit identifiziert wurden. Dabei finden insbesondere solche Anforderungen Berücksichtigung, die die Koaktivität eines Systems technologisch realisieren oder verbessern. Sie wurden für das Auswahlverfahren berücksichtigt, wie anschließend in Abschnitt 4.5 beschrieben wird und mit in die Datenbank übernommen. Die zugehörigen Datensätze sind in Anhang B aufgelistet.

Wie bei allen für das entwickelte Auswahlverfahren erstellten Datensätzen, sind auch die technologischen Anforderungen einfach erweiterbar beziehungsweise lassen sich um Neue ergänzen. Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit wurden Basisanforderungen identifiziert. Neue Anforderungen ergaben sich aus den durchgeführten Studien zu verschiedenen Interaktionstechniken (siehe Anhang A) und einige wurden insbesondere für koaktive Szenarien aufgrund ihrer technologischen Notwendigkeit identifiziert beziehungsweise aus Studien aus der Literatur übernommen. Alle Anforderungen werden nachfolgend beschrieben.

*Basisanforderungen  
der Technologien für  
natürliche Benutzungsschnittstellen*

Basisanforderungen ergeben sich allein aus den *Interaktionstechniken* oder *Interaction Components* und sind daher bereits bei der Vorstellung der Taxonomie in Abschnitt 4.2 durch den in eckigen Klammern stehenden Teil der Kurzbeschreibung angegeben. Andere technolo-

gische Anforderungen ergeben sich erst aus der Kombination mit Charakteristika oder qualitativen Parametern beziehungsweise bei der Entwicklung neuartiger Interaktionstechniken.

Aus den in Abschnitt 3.2 vorgestellten Technologien für natürliche Benutzungsschnittstellen ergeben sich die in Tabelle 9 aufgelisteten Basisanforderungen. Diese resultieren sich aus den Anwendungsfeldern und Technologien, die in dieser Arbeit adressiert werden.

| ID      | Kurzbeschreibung                | Erläuterung   |
|---------|---------------------------------|---|
| REQ_Bo1 | [MT] Multitouch                 | Mehrere Fingerberührungen auf einem Bildschirm müssen erkannt werden (je 2DOF).                   |
| REQ_Bo2 | [BI] (Be-)greifbare Interaktion | Objekte, die auf oder an einem Bildschirm verwendet werden, müssen erkannt werden (je 3DOF).      |
| REQ_Bo3 | [P] Stiftinteraktion            | Stiftpositionen auf einem Display müssen erkannt werden (2 DOF pro Stift).                        |
| REQ_Bo4 | [G] Hand- und Ganzkörpergesten  | Beliebig komplexe Gesten verschiedener Körperteile müssen erkannt werden (6DOF und mehr möglich). |

Tabelle 9: Technologische Basisanforderungen für koaktive Systeme

Die zur Untersuchung verschiedener neuartiger Interaktionskonzepte durchgeführten eigenen Studien (siehe Anhang A) warfen ebenfalls neue Anforderungen an die Technologie auf, die nicht durch die Basisanforderungen abgedeckt sind. Die betroffenen Interaktionskomponenten aus der Taxonomie, sowie zugehörige Charakteristika und qualitative Parameter finden sich mit der jeweiligen Angabe der technologischen Anforderung (TA) in den Datensätzen in Abschnitt B.1. Die Anforderungen ergeben sich immer erst aus Kombinationen der Komponenten mit Charakteristika beziehungsweise qualitativen Parametern, da sie von diesen abhängig sind. Beispielsweise kann eine technologische Anforderung erst entstehen, wenn eine bestimmte Anzahl Personen (über Charakteristika beschrieben) mit dem System interagieren soll, oder wenn hohe Präzision (durch einen qualitativen Parameter beschrieben) erforderlich ist. Zu den bisher in eigenen Studien identifizierten Anforderungen gehören die in Tabelle 10 aufgelisteten.

Einige technologische Anforderungen entstehen schließlich durch die Koaktivität, tauchen also nicht in Einzelnutzerszenarien auf. Der von Fu et al. beschriebene Prototyp zur Erforschung astrophysischer

*Weitere  
Anforderungen aus  
eigenen Studien*

*Weitere  
Anforderungen für  
koaktive Szenarien*

Daten mit Multitouch-Interaktionstechniken [Fu et al., 2010] erfordert beispielsweise eine Unterscheidung, ob zwei Finger, die an einer Multitouch-Geste beteiligt sind, von einer Hand oder von zwei Händen stammen. Diese Möglichkeit der Unterscheidung von Körperteilen und Anwendern bieten die meisten technologischen Ansätze zur Realisierung natürlicher Benutzungsschnittstellen nicht. Für den Kontext dieser Arbeit, in der auch koaktive Interaktionen berücksichtigt werden sollen, wurden daher die in Tabelle 11 genannten technologischen Anforderungen unterschieden.

Da insbesondere für die Erforschung und das Rapid Prototyping neuartiger interaktiver Systeme oft unklar ist, welche Realisierung die am besten geeignetste ist, berücksichtigt das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Auswahlverfahren, die genannten technologischen Anforderungen. Diese sind auf einfache Art und Weise durch neue Anforderungen erweiterbar.

#### 4.4.2 *Zusammenfassung der technologischen Anforderungen*

In diesem Abschnitt wurden technologische Anforderungen an interaktive und insbesondere koaktive Systeme mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vorgestellt. Diese werden benötigt, wenn ein Auswahlverfahren zur Unterstützung beim Interaktionsdesign Design-Alternativen vorschlagen soll. Diese Design-Alternativen repräsentieren oftmals Interaktionstechniken, die diese technologischen Anforderungen mit sich bringen. Die Identifizierung und Dokumentation der technologischen Anforderungen erlaubt es einem automatischen Auswahlverfahren, den Interaktionsdesigner auf die technologischen Anforderungen jeder Design-Alternative hinzuweisen. Das konzipierte Auswahlverfahren, wird im folgenden Abschnitt vorgestellt, die Präsentation des prototypisch implementierten Auswahlwerkzeuges zur automatischen Auswahl erfolgt in Abschnitt 5.2.

| ID      | Kurzbeschreibung               | Erläuterung  |
|---------|--------------------------------|--|
| REQ_So1 | HGR - Hand Gesture Recognition | Insbesondere bei Systemen zur (Ganzkörper-) Gestenerkennung (die in die Klasse der natürlichen Benutzungsschnittstellen gemäß Definition aus Abschnitt 2.2, Seite 23 fallen) ist es technologisch meist nicht möglich, auch Handgesten zuverlässig zu erkennen. Dies liegt meist in der unzureichenden Auflösung optischer Trackingsysteme begründet. Die Möglichkeit Handgesten, wie zum Beispiel Greif- oder Zeigegesten, zu erkennen, wurde in einer Studie zu berührungslosen VR-Interaktionen identifiziert (siehe Abschnitt A.2) und in die Liste der technologischen Anforderungen als <i>HGR</i> übernommen. |
| REQ_So2 | 3DOT - 3D Object Tracking      | Die Basisanforderung für (be-) greifbare Interaktion erfordert lediglich die Erkennung von drei Freiheitsgraden von Objekten auf oder an einem Bildschirm (s.o.). Für einige Interaktionstechniken ist jedoch die 3D Position und Lage von Objekten im Raum erforderlich, wie zum Beispiel in der durchgeführten Studie zu (be-)greifbaren Interaktionstechniken in Abschnitt A.3 zu sehen ist. Die Analyse von 6DOF kann beispielsweise über optische Trackingverfahren oder unter Verwendung von Lagesensoren erfolgen. Die Möglichkeit wird allgemein als <i>3DOT</i> zusammengefasst.                            |

Tabelle 10: Technologische Anforderungen für koaktive Systeme aus durchgeführten Studien

| ID      | Kurzbeschreibung                | Erläuterung   |
|---------|---------------------------------|---|
| REQ_K01 | UID - User Identification       | Das System muss die Interaktionen verschiedener Nutzer voneinander unterscheiden können.  |
| REQ_K02 | BPID - Body Part Identification | Das System muss verschiedene Körperteile aller Anwender voneinander unterscheiden können (Arme, Hände, Finger etc.).  |
| REQ_K03 | UA - User Authentication        | Das System muss jede Interaktion einem existierendem Nutzerprofil zuordnen können. So können Rechte oder individuelle Benutzungsschnittstellen realisiert werden. |
| REQ_K04 | StaG - Staple Gesture           | Das System muss das Stapeln oder die Kombination von (be-) greifbaren Objekten erkennen können. Dies ist mit klassischen Erkennungsverfahren nicht möglich.       |

Tabelle 11: Weitere technologische Anforderungen für koaktive Systeme



#### 4.5 EIN AUSWAHLVERFAHREN FÜR FORSCHER UND INTERAKTIONS- DESIGNER



In diesem Abschnitt wird ein Auswahlprozess vorgestellt, mit dem auf Basis der konzipierten Taxonomie, des Bewertungsschemas und der technologischen Anforderung eine strukturierte Analyse und Ausgabe existierenden Design-Wissens erfolgen kann. Dieses Verfahren kann sowohl Interaktionsdesignern als auch HCI-Forschern als Auswahl- und Gestaltungswerkzeug für existierende Interaktionskonzepte mit natürlichen Benutzungsschnittstellen dienen. Des Weiteren wird in diesem Abschnitt die Integration des Auswahlprozesses in den Prozess des Usability Engineering aufgezeigt.

##### 4.5.1 Entwicklung eines Auswahlprozesses

Durch das in Abschnitt 4.3 vorgestellte Bewertungsverfahren besteht die Möglichkeit, qualifizierte Aussagen über die Eignung von *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* unter bestimmten Gegebenheiten zu treffen. Diese Einzelaussagen können herangezogen werden, um einen Prozess des Interaktionsdesigns, wie in Abbildung 37 abgebildet, durchzuführen (ursprünglich beschrieben in Unterabschnitt 4.1.1). Abbildung 38 zeigt eine detailliertere Darstellung von Abbildung 37 in die unter anderem die Bewertungen als Eingang, sowie die im vorherigen Kapitel beschriebenen technologischen Anforderungen als Teil der Ausgabe für den Prozess mit übernommen wurden. Des Weiteren zeigt die Abbildung die Taxonomie als wichtige Grundlage für die Definition der *Interaktionstasks*, *Interaktionstechniken*, *Subtasks* und *Interaction Components* für die Requirements und die Bewertungen. In dieser Abbildung wurde zur Förderung der Übersichtlichkeit jeweils nur eine Komponente in jedem Block dargestellt, auch wenn diese mehrfach auftauchen können<sup>2</sup>. Die Interaktionstasks in der Abbildung bilden gemäß der Taxonomie jeweils einen *Interaktionstask* als Wurzel eines Baumes, der alle anderen Komponenten der Taxonomie enthält.

Da in Abschnitt 4.3 ein einfaches Bewertungsschema zur Verwendung

<sup>2</sup> In der Taxonomie befinden sich mehrere Interaktionstasks; die Requirements und die Bewertungen können jeweils aus mehreren Interaktionstasks, Charakteristika und qualitativen Parametern bestehen; eine Design-Alternative kann mehrere Charakteristika und technologische Anforderungen enthalten.

aufgestellt wurde, kann es nicht Ziel eines Auswahlprozesses sein, nach einer einzigen perfekten Lösung zu suchen. Ziel soll es sein, mehrere Design-Alternativen vorzuschlagen, die eine gute Eignung für ein gegebenes Problem besitzen. Dies entspricht dem Prozessabschnitt „Produce Design Solutions“ aus dem Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210 (siehe Abschnitt 3.4). Alternativ können auch besonders schlecht geeignete Design-Alternativen ausgegeben werden, die dem Interaktionsdesigner als Negativbeispiele hilfreich bei der Umsetzung sein können. Zusammen mit jeder Design-Alternative sollen Anmerkungen zu spezifischen Vor- oder Nachteilen der Lösung aufgelistet sein. Falls es widersprüchliche Bewertungen innerhalb des Systems gibt, sollen auch diese mit der Möglichkeit der Diskussion als Antwort präsentiert werden (siehe Abbildung 38). Anhand dieser Ergebnispräsentation soll der Interaktionsdesigner schließlich eigenständig eine Lösung für das gegebene Interaktionsproblem erstellen. Tabelle 12 fasst die erstellten Eigenschaften des Auswahlverfahrens zusammen, die aus dem Prozessansatz (Abbildung 37) dem Bewertungsschema (Abschnitt 4.3) und der erstellten Taxonomie (Abschnitt 4.2) resultieren. Die Tabelle wird nachfolgend als Anforderungstabelle zur Umsetzung des Auswahlverfahrens referenziert.

| ID   | Beschreibung  |
|------|---|
| PR01 | Als Requirements sollen Interaktionstasks [1..n], Charakteristika [0..n] und qualitative Parameter [0..n] vom Interaktionsdesigner als Eingabe des Prozesses verwendet werden können.   |
| PR02 | Ausgabe des Prozesses soll eine Liste von Design-Alternativen sein.   |
| PR03 | Eine Design-Alternative soll eine konkrete Interaktionstechnik (lediglich erforderliche Interaction Components und die zugehörigen Subtasks) aus der Taxonomie, eine Auflistung der zusätzlich erforderlichen Charakteristika (änderbare Charakteristika), technologische Anforderungen zur Realisierung der Interaktionstechnik, Anmerkungen (Referenzen oder Begründungen zur Bewertung der Interaktionstechnik), sowie Diskussionen über widersprüchliche Bewertungen der Technik enthalten. |

Tabelle 12: Anforderungen an den Auswahlprozess

#### Der Auswahlprozess für HCI-Forscher

Der in Abbildung 38 dargestellte Auswahlprozess ist abhängig von einer Vielzahl Eingabedaten, die von HCI-Forschern getätigt werden müssen. Dazu zählen vor allem zahlreiche relevante *Interaktionstasks*, die in Taxonomie-Komponenten gemäß Taxonomie-Struktur (siehe Unterabschnitt 4.2.1) heruntergebrochen werden müssen. Diese *Interakti-*

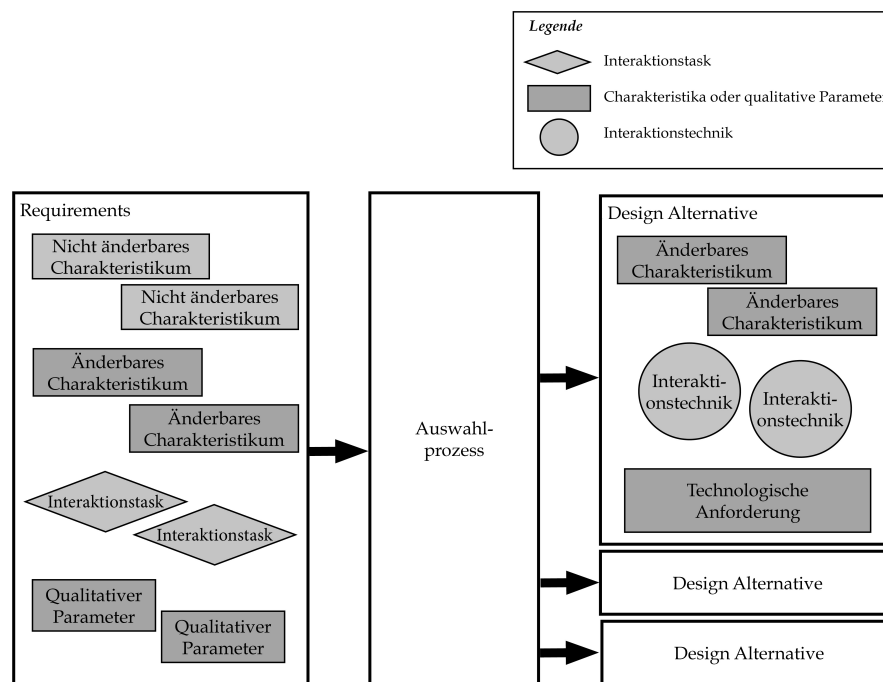


Abbildung 37: Einfache Übersicht des Prozesses des Interaktionsdesigns

onstasks sollten durch zahlreiche unterschiedliche *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* Auswahlmöglichkeiten bieten. Des Weiteren müssen Evaluierungen gemäß Bewertungsschema Abschnitt 4.3 vorgenommen werden, die auf durchgeführten Studien basieren und HCI-Forscher müssen Charakteristika (siehe Abschnitt 4.1) sowie qualitative Parameter (siehe Unterabschnitt 4.1.1) definieren. Alle Komponenten und Evaluierungen sind kurz aber vollständig zu beschreiben, zu begründen und zu referenzieren, um sie später für Interaktionsdesigner verständlich und nachvollziehbar darstellen zu können.

Für HCI-Forscher steht damit ein umfangreiches Nachschlagewerk zur Verfügung, welches einen Überblick über existierende Forschungsarbeiten und existierendes Design-Wissen aus dem Bereich der koaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen bietet. Für Interaktionsdesigner ist diese Datensammlung jedoch kaum verwendbar, da sie unstrukturiert und aufgrund ihrer Größe unübersichtlich, sowie für seine Anwendungszwecke unnötig komplex ist. Für diese Nutzergruppe ist es daher sinnvoll, eine einfachere Übersicht sowie ein Suchverfahren in Form einer Automatisierung des Auswahlprozesses zu entwerfen, das den Datenbestand auf die wesentlichen Informationen reduziert.

Einem Interaktionsdesigner stellt sich das Problem, dass er auf einfache Art und Weise existierendes Design-Wissen zu einem bestimmten Interaktionsproblem erhalten möchte. Dies ist durch das in dieser Arbeit entwickelte strukturelle Vorgehen möglich. Wie Abbildung 38 zeigt, kann auf Basis der vorgestellten Komponenten ein Prozess er-

*Der Auswahlprozess  
für  
Interaktionsdesigner*

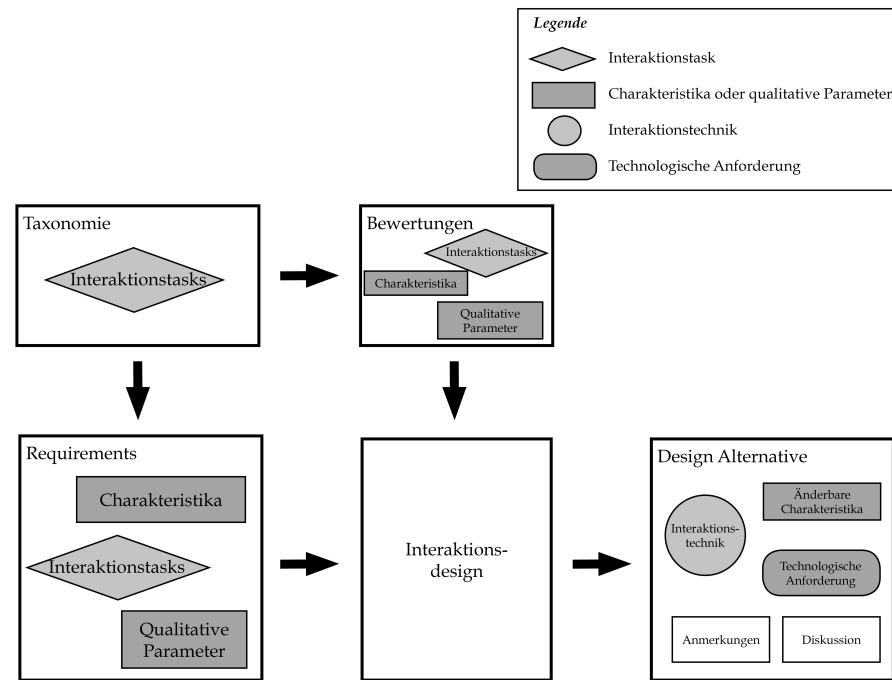


Abbildung 38: Erweiterte Übersicht des Prozesses des Interaktionsdesigns mit Taxonomie und Bewertungen

Design-Alternativen  
als Ausgabe

stellt werden, dessen Ausgabe Design-Alternativen sind. Dazu ist es erforderlich, dass ein Interaktionsdesigner zunächst alle Requirements angibt. Dafür definiert sie oder er zunächst die erforderlichen *Interaktionstasks* und somit die notwendigen Funktionen des Systems, die durch die Anwender ausgeführt werden sollen. Des Weiteren können optional Charakteristika, die das Zielsystem, seine Anwender sowie die Anwendung (vgl. Unterabschnitt 4.1.2) beschreiben und qualitative Parameter, die optimal adressiert werden sollen, angegeben werden. Die Ausgabe kann aus mehreren sogenannten Design-Alternativen bestehen (siehe Abbildung 38 und Tabelle 12). Eine Design-Alternative enthält dabei eine *Interaktionstechnik*, die den *Interaktionstask* erfüllen kann, sowie alle zugehörigen *Subtasks* mit je einer *Interaction Component*, der diesen löst. Die *Interaktionstechnik* ist somit eine konkrete Lösung des *Interaktionstasks*, die Geste, gegebenenfalls Metapher und technologische Realisierung beinhaltet. Des Weiteren ergeben sich durch die Auswahl der *Interaction Components* gegebenenfalls technologische Anforderungen, die das System erfüllen muss, sowie änderbare Charakteristika, die es zu erfüllen gilt. Änderbare Charakteristika als Teil der Design-Alternative sind Anforderungen an das Zielsystem, die nicht in Konflikt stehen mit den nicht änderbaren Charakteristika. Sie können jedoch mit anderen änderbaren Charakteristika aus den Requirements in Konflikt stehen. Wenn ein Interaktionsdesigner beispielsweise keine Vorgabe bezüglich der Anordnung eines Bildschirms macht, einige *Interaktionstechniken* oder *Interaction Com-*

*ponents* aber nur bei waagerechten Bildschirmen geeignet sind, ist dies durch ein entsprechendes Charakteristikum in der Design-Alternative angegeben. War als Charakteristikum ein vertikaler Bildschirm in den Requirements angegeben, so wird innerhalb der Ausgabe auf diesen Konfigurationskonflikt hingewiesen. In der Ausgabe befinden sich schließlich noch Anmerkungen, also textuelle Beschreibungen zur Design-Alternative, Literaturreferenzen sowie der Verweis auf Diskussionen, sofern diese zu Teilen der Design-Alternative existieren (s.u.). Design-Alternativen können *Interaktionstechniken* enthalten, die aus *Interaction Components* zusammengesetzt wurden, die in dieser Konstellation neu sind, das heisst so nie zusammen getestet oder umgesetzt wurden. Dies basiert auf den Bewertungen der *Interaction Components* und führt dazu, dass eine vorgeschlagene Design-Alternative gemäß des hier vorgestellten Prozesses zwar eine bekannte *Interaktionstechnik* vorschlägt, die konkreten Umsetzungen der *Subtasks* durch *Interaction Components* aber eine gänzlich neue Realisierung der Interaktionstechnik entstehen lassen können. Um eine solche neue Technik in der Praxis testen zu können, bedarf es eines Werkzeuges zum schnellen Entwurf, wie das in Abschnitt 5.1 ab Seite 136 vorgestellte coaNUI. Als Ergebnis des Auswahlprozesses können auch auf Basis der Bewertungen als ungeeignet bewertete Design-Alternativen sein. Diese sind ebenfalls einfach im Auswahlprozess ermittelbar und zeigen dem Interaktionsdesigner existierende Ergebnisse, die Interaktionen unter den gegebenen Voraussetzungen als ungeeignet klassifizieren. Wie bereits exemplarisch geschildert, können dem Interaktionsdesigner Design-Alternativen präsentiert werden, die Konfigurationskonflikte mit seinen Requirements aufweisen. Wenn diese entscheidende Vorteile bei der Interaktion mit dem System aufweisen kann der Designer über eine Neukonfiguration des Gesamtsystems gemäß solcher Design-Alternativen nachdenken.

Ein Auswahlalgorithmus kann nun sequentiell aus den existierenden Eingabedaten (Requirements) und den von HCI-Forschern eingegebenen Daten beziehungsweise Datenstrukturen (Taxonomie, Charakteristika und qualitative Parameter) eine Ergebnisübersicht darstellen. Ein einfacher sequentieller Algorithmus arbeitet dabei wie nachfolgend dargestellt:

*Der Auswahl-  
Algorithmus*

1. Zu den aus den Requirements stammenden *Interaktionstasks* werden aus der Taxonomie existierende *Interaktionstechniken* sowie alle potentiell möglichen *Interaction Components* herausgesucht.
2. Zu den gefundenen *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* wird nach Bewertungen gesucht, die zu den aus den Requirements stammenden Charakteristika und qualitativen Parametern passen.
3. Über Ausschlussverfahren und arithmetische Mittel werden gute Lösungen mit *Interaction Components* konstruiert, die eine In-

*Interaktionstechnik* mit insgesamt besonders guter oder besonders schlechter Bewertung erfüllen können. Dabei werden auch die Bewertungen der Kombinationen von mehreren *Interaction Components* analysiert, um Koexistenzen und Medienbrüche zu berücksichtigen.

4. Es wird nach Bewertungen gesucht, die den *Interaktionstask* besonders gut erfüllen aber einen Konfigurationskonflikt mit den Charakteristika oder qualitativen Parametern aus den Requirements aufweisen.
5. Die Ergebnisausgabe erfolgt in drei Blöcken: Ergebnisse, die besonders gute Design-Alternativen gemäß der Requirements liefern; Ergebnisse, die schlechte Design-Alternativen gemäß der Requirements liefern; Ergebnisse, die besonders gute Design-Alternativen liefern, aber Konfigurationskonflikte gegenüber den Requirements enthalten. Darüber hinaus können jedoch auch alle weiteren vom System errechneten Bewertungen und Interaktionstechniken eingesehen werden.

In Abschnitt 5.2 wird ein prototypisch realisiertes Auswahlwerkzeug beschrieben, in welchem dieser Algorithmus umgesetzt wurde.

#### 4.5.2 Integration in den Prozess des Usability Engineering

In Abschnitt 3.4 wurden die Relevanz des Usability Engineering, sowie einige anerkannte Prozessmodelle vorgestellt. Der Motivation von Cooper et al. folgend, das Interaktionsdesign in das Usability Engineering zu integrieren [Cooper et al., 2007], soll in diesem Abschnitt die Integration des entwickelten Auswahlprozesses in ein anerkanntes Verfahren des Usability Engineering beschrieben werden.

Erweiterung von  
ISO 9241-210

Abbildung 13 auf Seite 68 zeigt den Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210. Es ist ein zyklisches Modell mit unterschiedlichen Iterationsmöglichkeiten, das vier Phasen beziehungsweise Aktivitäten beschreibt, ohne Details zur Umsetzung einer Phase vorzugeben. Insbesondere die Phase *Produce Design Solutions* ist sehr allgemein gehalten und unterscheidet nicht zwischen Komponenten der Anwendung, wie beispielsweise einer Interaktionstechnik oder einer visuellen Repräsentation. Abbildung 39 zeigt eine Erweiterung des Modells um eine Komponente des Interaktionsdesigns, wie es in Unterabschnitt 4.5.1 beschrieben wurde. Das Interaktionsdesign ist demnach Teil des Lösungsentwurfs (*Produce Design Solutions*). Neben den Design-Alternativen werden innerhalb dieses Schrittes auch weitere Teile der Gesamtlösung entworfen, zum Beispiel die Visualisierung, der Hardwareaufbau, akustische oder haptische Rückmeldungsmöglichkeiten oder die Gestaltung der Hardware, die in dieser Arbeit nicht behandelt werden. Die Requirements für das Interaktionsdesign

gehen mit den Anforderungen an das Gesamtsystem einher und werden entsprechend in den Prozessschritten *Understand and Specify the Context of Use* beziehungsweise *Specify the User and Organisational Requirements* erhoben. Die Aktivität *Evaluate Design against Requirements* beinhaltet weiterhin die Evaluierung des Gesamtsystems bezüglich der aufgestellten Requirements. Die Bewertung der Interaktionstechniken gemäß des erstellten Auswahlverfahrens in dieser Arbeit findet im Abschnitt *Produce Interaction Design Alternatives* statt.

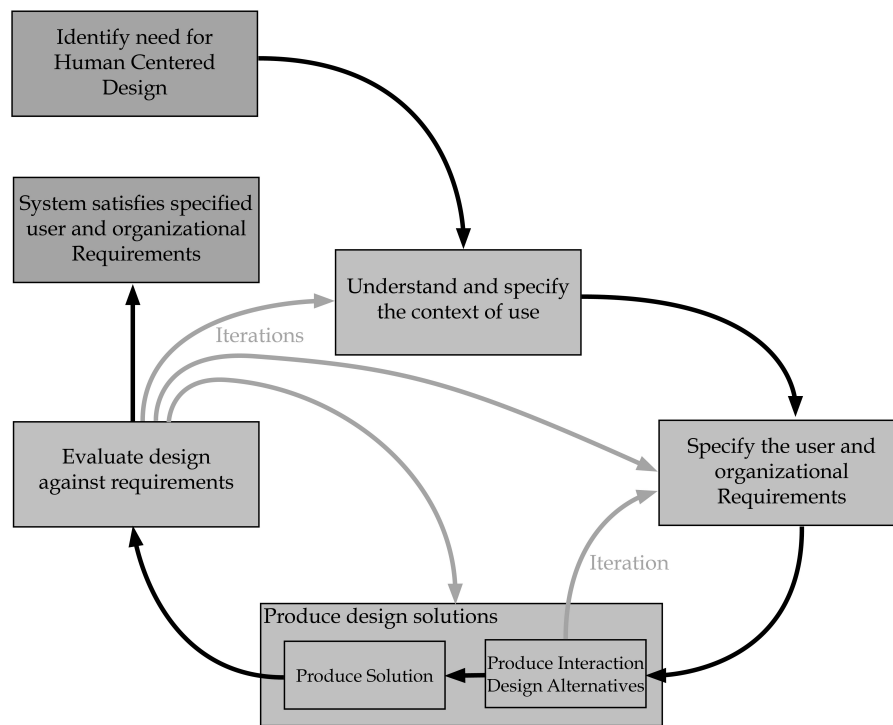


Abbildung 39: Um eine Komponente des Interaktionsdesigns erweitertes Verfahrensmodell nach EN ISO 9241-210

In Unterabschnitt 3.4.3 wurde die Herausforderung der Erstellung eines hochwertigen Erstentwurfs in dieser Phase beschrieben. Der Vorteil der Integration des Interaktionsdesigns gemäß des hier entwickelten Konzeptes ist es, das auf Basis einer großen Menge existierenden Design-Wissens bereits im ersten Entwurf ein gebrauchstauglicher Prototyp entstehen kann. Dies kann dazu beitragen, die Zahl der notwendigen Iterationen des gesamten Usability Engineering Prozesses und damit die Gesamtzeit bei der Systementwicklung zu reduzieren. Da das Auswahlverfahren für einen Interaktionsdesigner auch gute Realisierungen vorschlägt, die Konfigurationskonflikte gegenüber den ursprünglichen Requirements besitzen, kann es im Einzelfall möglich sein, die Requirements anzupassen, um ein insgesamt nutzungsfreundlicheres System zu realisieren. Aus diesem Grunde wurde hier ein zusätzlicher Schritt zurück zu „Specify the User and organisational Requirements“ hinzugefügt (siehe Abbildung 39). In späteren Zyklen des

*Vorteile der  
Integration des  
Interaktionsdesigns*

Gesamtprozesses ist ein erneutes Erstellen von Design-Alternativen nur dann erforderlich, wenn die Requirements sich geändert haben. Die Requirements des in Unterabschnitt 4.5.1 vorgestellten Verfahrens (siehe auch Abbildung 38) sind dabei eine Untermenge der Requirements aus dem ISO 9241-210, die in Abbildung 39 dargestellt sind. Damit die Integration wie hier angeregt erfolgreich verlaufen kann, muss jedoch sichergestellt werden, dass das Verfahren zur Erstellung von Design-Alternativen korrekt arbeitet und zu verständlichen und nachvollziehbaren Ausgaben führt. Dies wird in Kapitel 6 analysiert.

#### 4.5.3 Übersicht über das Auswahlverfahren

In diesem Abschnitt wurde ein Auswahlverfahren vorgestellt, mit dem Interaktionsdesigner auf einfache Art und Weise nach Design-Wissen über natürliche Benutzungsschnittstellen in koaktiven Szenarien suchen können. Das Verfahren basiert auf der entwickelten Taxonomie, den Evaluierungen auf Basis von Charakteristika und qualitativer Parameter sowie den technologischen Anforderungen. Um eine gute Übersicht über ein konkretes Gestaltungsproblem zu bekommen, ist es erforderlich, dass HCI-Forscher Ihre Erkenntnisse, insbesondere die Ergebnisse aus Interaktions- und Usability-Studien, in das Verfahren einfließen lassen. Abbildung 40 zeigt die beiden erwähnten Rollen innerhalb des Verfahrens. Zunächst werden Interaktionstaxonomie, Charakteristika und qualitative Parameter von HCI-Forschern festgelegt (1) und zusammen mit den Bewertungen gemäß Abschnitt 4.3 in das System eingepflegt (2). Der Interaktionsdesigner definiert daraufhin die *Interaktionstasks*, die sein interaktives System erfüllen muss sowie die Beschreibungen der weiteren Anforderungen in Form von Charakteristika und qualitativer Parameter (3). Als Ergebnis ergeben sich verschiedene Design-Alternativen, die Positiv- und Negativbeispiele beschreiben und zusammengefasst Gestaltungsrichtlinien für den Interaktionsdesigner sind (4).

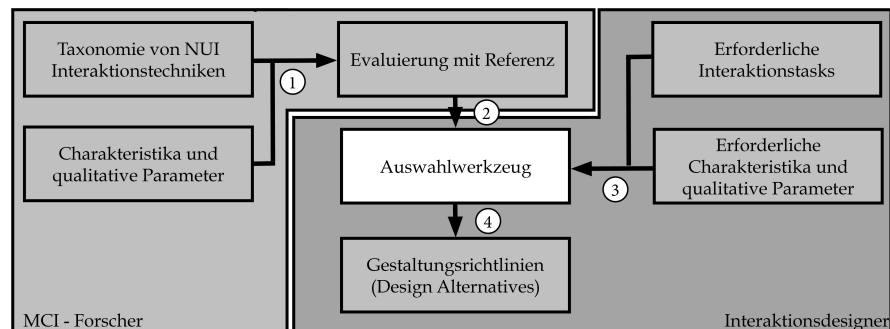


Abbildung 40: Auswahlprozess und Rollen

Der nachfolgende Abschnitt fasst alle Komponenten des in diesem Kapitel beschriebenen Ansatzes noch einmal zusammen, bevor in



Kapitel 5 auf die umgesetzten prototypischen Implementierungen zu den vorgestellten Konzepten eingegangen wird.

## 4.6 ZUSAMMENFASSUNG



In diesem Kapitel wurde ein eigens konzipiertes und umgesetztes strukturiertes Verfahren zum Interaktionsdesign für interaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen vorgestellt, welches aus fünf Phasen besteht. Zunächst wurde in Abschnitt 4.1 für das Anwendungsgebiet relevante Charakteristika identifiziert und zum Zwecke der Übersichtlichkeit klassifiziert (Phase 1). Charakteristika können verwendet werden, um die Gegebenheiten rund um ein interaktives System zu beschreiben. Diese Gegebenheiten, auch als Kontext bezeichnet, sind die Eingabe für den erstellten strukturierten Prozess des Interaktionsdesigns. Auf Basis der Charakteristika kann später eine kriteriengeleitete Entscheidungsfindung erfolgen. Es wurde zwischen allgemeinen Charakteristika mit Allgemeingültigkeit für den Anwendungskontext und weiteren änderbaren beziehungsweise nicht änderbaren Charakteristika unterschieden, die auch Konfigurationskonflikte aufweisen können. Durch die Charakteristika kann insbesondere die Koaktivität eines interaktiven Systems beschrieben werden. Als Klassen wurden exemplarisch *User*, *Anwendung* und *System* definiert. Alle Klassen und eingeordnete Charakteristika lassen sich jedoch auf einfache Art und Weise um Neue erweitern. Neben den Charakteristika wurden auch qualitative Parameter, wie zum Beispiel die Geschwindigkeit oder die Präzision einer Interaktion als wichtige Eigenschaften vorgestellt und deren Verwendung im Auswahlverfahren beschrieben.

In Abschnitt 4.2 wurde auf Basis existierender Arbeiten aus dem Forschungsgebiet VR und den Interaction Tasks aus Task Model nach Paterno [Paterno et al., 1997] eine Taxonomie von Interaktionstechniken vorgestellt (Phase 2). In dieser werden *Interaktionstasks* in *Interaktionstechniken*, *Subtasks* und *Interaction Components* heruntergebrochen, mit dem Ziel, Elemente auf gleicher Ebene bewertbar zu machen. Des Weiteren lassen sich mit der Taxonomie analog zu den Task Models von Paterno zeitliche Abläufe und nebenläufige Subtasks einer Interaktionstechnik, sowie unterschiedliche Technologien zur Realisierung abbilden. Sie ist beliebig erweiterbar und zeigt Auswahlmöglichkeiten, sowie Entscheidungsnotwendigkeiten für den Interaktionsdesigner auf. Komponenten der Taxonomie können des Weiteren als wiederverwendbare Softwarekomponenten umgesetzt werden. Mit ihr können sowohl Einzelanwender-Szenarien als auch koaktive Szenarien abgebildet werden.

Anhand von einigen einfachen Beispielen wurde in diesem Kapitel geschildert, dass verschiedene Interaktionskonzepte unterschiedlich gut unter bestimmten Voraussetzungen geeignet sein können. Diese Voraussetzungen lassen sich durch die Charakteristika und die qualitativen Parameter beschreiben. Daher wurden in Abschnitt 4.3 ein Bewertungsschema und ein Bewertungsschlüssel vorgestellt, das die Kombinationen von Komponenten der Taxonomie mit Charakteristika und qualitativen Parametern kombiniert bewertbar macht (Phase 3). Die Abschnitte 4.1 bis 4.3 beschreiben folglich, dass die strukturierte Herangehensweise und Zerlegung von Interaktionstechniken sich für eine Bewertung von Forschungsergebnissen eignet.

Der in diesem Kapitel vorgestellte Prozess des Interaktionsdesign stellt Ergebnisse in Form von Design-Alternativen dar, die zusammengekommen als Gestaltungsrichtlinien herangezogen werden können. Design-Alternativen können dabei technologische Anforderungen an das interaktive System stellen und in Phase 4 des Prozesses ermittelt werden. Im Rahmen der durchgeführten Forschungsarbeiten und empirischen Studien wurden einige solcher Anforderungen identifiziert und in Abschnitt 4.4 präsentiert.

Durch die ersten vier Phasen des Prozesses wird die in Unterabschnitt 1.3.3 vorgestellte Stufe 1 des Lösungsansatzes abgedeckt.

**Stufe 1:**

Ein Schema für eine Interaktionstaxonomie soll erstellt werden, mit dem sich alle natürlichen Interaktionstechniken strukturieren und darstellen lassen. Die Komponenten dieser Taxonomie sollen in Kombination mit qualitativen Parametern und Anwendungscharakteristika eine Bewertungsmöglichkeit auf Basis von Studien aus der Interaktionsforschung bieten.

Auf Basis der konzipierten Taxonomie, des Bewertungsschemas und der technologischen Anforderung kann eine strukturierte Analyse und Ausgabe von existierenden Design-Wissen erfolgen (Phase 5). Dazu wurde in Abschnitt 4.5 ein Auswahlverfahren auf Basis eines sequentiellen Suchalgorithmus vorgestellt. Phase 5 adressiert die in Unterabschnitt 1.3.3 vorgestellte Stufe 2 des Lösungsansatzes.

**Stufe2:**

Es soll ein allgemeines Auswahlverfahren zur kriteriengeleiteten Erstellung von interaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen entwickelt werden, das für beliebige Anwendungsszenarien aus dem in dieser Arbeit untersuchten Anwendungsgebiet geeignet ist.

Das Auswahlverfahren wurde in ein Software-Werkzeug überführt, das sowohl HCI-Forschern zur Dokumentation dienen kann, als auch Interaktionsdesignern bei der Entscheidungsfindung zu einem spezifischen Interaktionsproblem auf Basis vorgegebener Kriterien, die durch

Charakteristika beschrieben werden. Die prototypische Implementierung dieses Werkzeuges wird im nachfolgenden Kapitel 5 vorgestellt. Es eignet sich zur Erschaffung von empirischem Wissen. Des Weiteren können neue Forschungsfragen mit diesem Werkzeug identifiziert werden.

Als Ergebnis des Auswahlprozesses ergeben sich Design-Alternativen, die positive Beispiele, negative Beispiele und positive Beispiele mit Konfigurationskonflikten aufweisen. Abschnitt 4.5 zeigt außerdem, wie das hier erstellte Verfahren des strukturierten Interaktionsdesigns in den Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210 erfolgen kann. Abbildung 40 auf Seite 130 zeigt den gesamten strukturierten Prozess mit den beiden involvierten Personengruppen HCI-Forscher und Interaktionsdesigner.

Zusammengefasst wurden in diesem Kapitel die ersten beiden Stufen des dreistufigen Lösungsansatzes im Detail beschrieben und deren Umsetzbarkeit wurde dargelegt. Im folgenden Abschnitt wird durch prototypische Implementierungen aufgezeigt, wie der Auswahlprozess automatisiert und in ein Software-Werkzeug überführt werden kann. Des Weiteren wird die ausstehende Stufe 3 detailliert beschrieben, in dem ein Software-Framework vorgestellt wird, das ein einfaches Testen und Evaluieren von neuartigen Interaktionstechniken für das Themengebiet dieser Arbeit ermöglicht. Anschließend wird in Kapitel 6 eine Aussage über die qualitative Eignung des Verfahrens und des Auswahl-Werkzeuges im Rahmen einer kritischen Evaluierung vorgenommen.

## PROTOTYPISCHE IMPLEMENTIERUNG DES AUFGESTELLTEN KONZEPTE

---

In diesem Kapitel werden zwei prototypische Implementierungen vorgestellt, die im Rahmen der Forschungsaktivitäten rund um die vorliegende Arbeit entstanden sind. Zum einen handelt es sich um coaNUI, ein Software-Framework und Hardwarekomponenten, die zum Rapid Prototyping von natürlichen Benutzungsschnittstellen verwendet werden können. Durch Erweiterung existierender Bibliotheken und Protokolle sind diese Komponenten auf einfache Art und Weise kombinierbar und zukünftig um neue erweiterbar. Das Framework kann somit verwendet werden, um Interaktionsstudien durchzuführen und die Ergebnisse in den im vorigen Kapitel vorgestellten Bewertungsprozess einfließen zu lassen. Es zeigt die Umsetzbarkeit von Stufe 3 des Lösungsansatzes aus Unterabschnitt 1.3.3.

**Stufe 3:**

Es soll ein Technologie-Framework entwickelt werden, welches alle aus dem Auswahlverfahren resultierenden Anforderungen an ein koaktives System mit natürlichen Benutzungsschnittstellen adressiert und die Interaktionsdaten dem Entwickler gegenüber transparent zur Verfügung stellt. Durch die Verwendung wiederverwendbarer Softwarekomponenten kann dieses Framework als Testbed zum schnellen Entwurf und Testen von Interaktionstechniken verwendet werden.

Des Weiteren wird ein Werkzeug vorgestellt, welches den Bewertungsprozess automatisiert und somit von Interaktionsdesignern als Suchwerkzeug für existierendes Design-Wissen und von HCI-Forschern als Archivierungswerkzeug und Nachschlagewerk verwendet werden kann.

### 5.1 COANUI: EIN WERKZEUG ZUR TECHNISCHEN REALISIERUNG KOAKTIVER SZENARIEN MIT NATÜRLICHEN BENUTZUNGS-SCHNITTSTELLEN

In diesem Abschnitt wird *coaNUI* vorgestellt, ein Soft- und Hardware-Framework, das durch den Einsatz verschiedener Technologien in der Lage ist, alle in Unterabschnitt 4.4.1 aufgestellten technologischen Anforderungen zu erfüllen und somit als Rapid Prototyping Werkzeug beim Interaktionsdesign für interaktive Anwendungen verwendet werden kann. Es stellt einem Entwickler von der Interaktionshardware stammende Eingangsdaten aufbereitet zur Verfügung und setzt die Komponenten des Taxonomie-Konzeptes aus Unterabschnitt 4.2.1 als wiederverwendbare Software-Komponenten ein.

#### 5.1.1 Komponenten des *coaNUI* Frameworks

Zur Realisierung der technologischen Anforderungen und um ein schnelles Testen unterschiedlichster natürlicher Benutzungsschnittstellen analog zu den in Unterabschnitt 3.4.2 auf Seite 78 beschriebenen VR Testbeds zu ermöglichen, wurden nachfolgend beschriebene Soft- und Hardwarekomponenten entwickelt und zu einem Framework zusammengefügt. Kernkomponente und Namensgeber des Frameworks ist *coaNUI* (**co**active **N**atural **U**ser **I**nterfaces), welches eine einheitliche, für einen Softwareentwickler transparente Verwendung unterschiedlichster Eingabequellen ermöglicht. Das Framework deckt alle technologischen Anforderungen aus Unterabschnitt 4.4.1 ab und kombiniert die in Tabelle 2 auf Seite 53 dargestellten Vorteile einzelner Technologien natürlicher Benutzungsschnittstellen miteinander. Alle nachfolgend beschriebenen Komponenten wurden im Rahmen der Forschungsaktivitäten rund um die vorliegende Arbeit konzipiert. Einige Softwarekomponenten entstammen studentischen Abschlussarbeiten oder Projektgruppen und sind entsprechend gekennzeichnet. In diesem Abschnitt wird des Weiteren auf die Anforderungen aus Unterabschnitt 4.4.1 (Tabellen 9 bis 11) eingegangen. Die Anforderungen mit dem prefix *REQ\_* werden mit Referenz auf die zugehörige Tabelle, in der sie beschrieben werden, genannt.

*useTable* - Ein interaktiver Tisch

Die technologischen Forschungsarbeiten begannen mit dem *useTable*, einem interaktiven Tisch für den unterschiedliche Anwendungen im Rahmen eines User Centered Designs untersucht wurden. Die Aktivitäten wurden im Rahmen von insgesamt vier studentischen Projektgruppen an der Universität Paderborn unternommen, wobei sowohl Hard- als auch Softwareentwicklungen im Fokus der Projektgruppe standen. Der *useTable* (siehe Abbildung 41) ist 112 cm hoch und bietet eine Bildschirmdiagonale von ca. 55". Die visuelle Ausgabe erfolgt durch Rückprojektion durch einen Projektor, der Ausgaberechner ist dabei auch in der Lage, eine zusätzliche vertikale

Projektion zu steuern (sogenannte *L-Shape* Anordnung). Der useTable kann durch optisches Tracking und kombiniertes FTIR und DI (siehe Unterabschnitt 3.2.1) eine theoretisch unbegrenzte Anzahl von Fingerberührungspunkten (REQ\_Bo1 aus Tabelle 9, Seite 119) sowie mit Markern versehene Objekte (REQ\_Bo2 aus Tabelle 9) gemäß der open-Framework Erweiterung ofxFiducialFinder (siehe Unterabschnitt 3.2.2) auf der Projektionsfläche erkennen. Für die Analyse des Kamerabildes wird die Open Source Software CCV [CCV] verwendet, die um eine ofxFiducialFinder Komponente erweitert wurde. Alle erkannten Daten werden mit Hilfe des TUIO Protokolls (siehe Unterabschnitt 3.2.6) auf Basis von UDP an beliebige Empfänger gesendet. Dabei bestehen die Fingerinformationen aus reinen 2D-Positionsdaten, während bei den Objekten noch ein dritter Freiheitsgrad zur Angabe des 2D-Rotationswinkels hinzukommt.

Des Weiteren nutzt der useTable die Anoto Digital Pen Technologie bei der über Bluetooth mit einem Rechner verbundene digitale Stifte auf der Projektionsfläche verwendet werden können [Leitner et al., 2009] (REQ\_Bo3 aus Tabelle 9). Dazu befindet sich ein an jeder Position eindeutiges Punktmuster auf der Projektionsfläche. Der Anoto-Stift sendet nun seine 2D-Positionsdaten, sowie weitere Parameter (siehe Unterabschnitt 3.2.2) an den Empfänger. Hier wurde ein Wrapper realisiert, der die Daten in das TUIO-Protokoll konvertiert und wiederum anderen Empfängern zur Verfügung stellt.



Abbildung 41: Der useTable - Ein interaktiver Tisch (eigene Fotografien, Montage aus [Fast, 2011])

Um fortgeschrittene Gesten mit (be-)greifbaren Objekten zu ermöglichen, wurden rund um die useTable Aktivitäten die *Smart Fiducials* entwickelt. Hierbei handelt es sich um Objekte, die in der Lage sind, ihre für die Erkennung erforderlichen Markierungen dynamisch zu ändern. Bei der optischen Erkennung mit Hilfe von IR-Licht kann dies beispielsweise über IR-LEDs erfolgen (siehe Abbildung 42, links),

*Smart Fiducials*

aber auch mechanische oder elektrische Änderungen der Markierung sind denkbar. Der *Smart Fiducials* Ansatz wurde als Gebrauchsmuster [Nebe et al., 2010] angemeldet und ist in [Klompmaaker et al., 2011b] näher erläutert. Fortgeschrittene Interaktionen ergeben sich beispielsweise durch Hardware-Pushbuttons auf Objekten (siehe Abbildung 42, rechts) oder durch stapelbare Objekte (REQ\_Ko4 aus Tabelle 11, Seite 122), die über elektrische Verbindungen das Muster eines Basis-Objektes verändern (siehe Abbildung 42, links). Die bereits erwähnte CCV-Erweiterung erkennt diese Musterveränderungen und sendet die geänderte ID über TUIO an registrierte Anwendungen, die entsprechend darauf reagieren können.

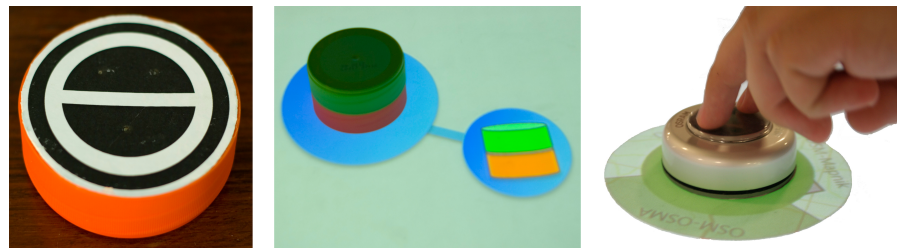


Abbildung 42: Smart Fiducials - Fortgeschrittene (be-)greifbare Interaktionen durch dynamische Marker

#### *dSensingNI*

*dSensingNI* entstand im Rahmen der Masterarbeit von Alex Fast [Fast, 2011], wurde anschließend konzeptionell angepasst und erweitert und auf der TEI 2012 publiziert [Klompmaaker et al., 2012d]. Das Softwarewerkzeug verwendet eine Tiefenbildkamera und ist nach vorheriger Konfiguration in der Lage, Objekte auf oder über einem beliebig angeordneten und geformten Bildschirm, zu erkennen (REQ\_Bo2 aus Tabelle 9, Seite 119). Anders als die Objekterkennung des useTable sind somit auch 3D-Positionen ohne Kontakt zum Bildschirm analysierbar (REQ\_Bo4 aus Tabelle 9, Seite 119; REQ\_So2 aus Tabelle 10, Seite 121). Des Weiteren erkennt *dSensingNI* Handinteraktionen wie beispielsweise Zeige- oder Greifgesten (REQ\_So1 aus Tabelle 10). Durch intelligentes Auswerten lassen sich fortgeschrittene Interaktionen wie das Greifen, Bewegen und Loslassen von Objekten erkennen, auch wenn die Objekte dabei vollständig verdeckt werden. Durch die Analyse von Volumenveränderungen erkennt die Software auch das Stapeln (REQ\_Ko4 aus Tabelle 11, Seite 122) oder Aneinanderreihen von Objekten. Außerdem können Multitouchgesten erkannt werden (REQ\_Bo1 aus Tabelle 9, Seite 119), da einzelne Finger und deren Berührungen auf dem Bildschirm oder auf Objekten mit der Tiefenbildkamera analysiert werden können. *dSensingNI* sendet alle Informationen über erkannte Objekte, Hände und Finger über TUIO und dessen 3D-Profilen `/tuio/3Dobj` und `/tuio/3Dcur` [Kaltenbrunner et al., 2005] an beliebige Empfänger. Weitere Informationen über die Funktionsweise und die Verwendung finden sich in [Klompmaaker et al., 2012d] und auf der *dSensingNI* Webseite [dSensingNI].



Zur Integration in das hier beschriebene Gesamt-Framework wurde dSensingNI so erweitert, dass es mit mehreren Tiefenbildkameras angesteuert werden kann. So können größere Bereiche mit ausreichender Genauigkeit abgedeckt werden.

Das *DirActNI* Framework verwendet eine Tiefenbildkamera um Ganzkörper-, Hand- und Armgesten zu erkennen (REQ\_Bo4 aus Tabelle 9, Seite 119). Es wurde von Alexander Dridger im Rahmen seiner Masterarbeit entwickelt [Dridger, 2012] und anschließend auf der ASME CIE 2012 vorgestellt [Klompmaier et al., 2012a]. *DirActNI* analysiert Körperneige- und Drehgesten, Armbewegungsgesten zur Navigation in 3D-Welten sowie Zeige- und Greifgesten (REQ\_So1 aus Tabelle 10, Seite 121). Da solche Gesten beliebig komplex sind und es unterschiedlich vieler Daten mit verschiedenen Freiheitsgraden bedarf, eine komplexe Geste zu analysieren, verwendet *DirActNI* ein proprietäres Datenformat zur Übertragung an die Anwendung beziehungsweise die *coaNUI core* Komponente.

*DirActNI*

Der *coaNUI User Tracker* verwendet ebenfalls Tiefenbildkameras und analysiert aus dem resultierenden Kamerabild die Anwenderpositionen und kann somit Anwender voneinander unterscheiden (REQ\_Ko1 aus Tabelle 11, Seite 122). Er ist so konzipiert, dass die Kameras die Anwender aus der Vogelperspektive betrachten, was eine beliebige Anordnung von Bildschirmen ermöglicht. Aus dieser Perspektive können jedoch nicht die herkömmlichen Analyse-Algorithmen zum Körpertracking (wie zum Beispiel OpenNI [OpenNI] oder das Kinect SDK [Kinect-SDK]) zum Einsatz kommen, die eine Frontalansicht der Personen erfordern. Der *coaNUI User Tracker* analysiert die Positionen von Armen und Händen eines jeden Anwenders und ermittelt aus zusammenhängenden Formen zusammengehörige Körperteile einzelner Nutzer (REQ\_Ko2 aus Tabelle 11, Seite 122). Der Screenshot in Abbildung 43 zeigt wie drei Anwender und sechs Hände erkannt werden. Das rote Rechteck in der Abbildung definiert den gültigen Interaktionsbereich. Der *coaNUI User Tracker* sendet die Handpositionen als 3D Raumpunkte, sowie User IDs an die *coaNUI core* Komponente (siehe unten).

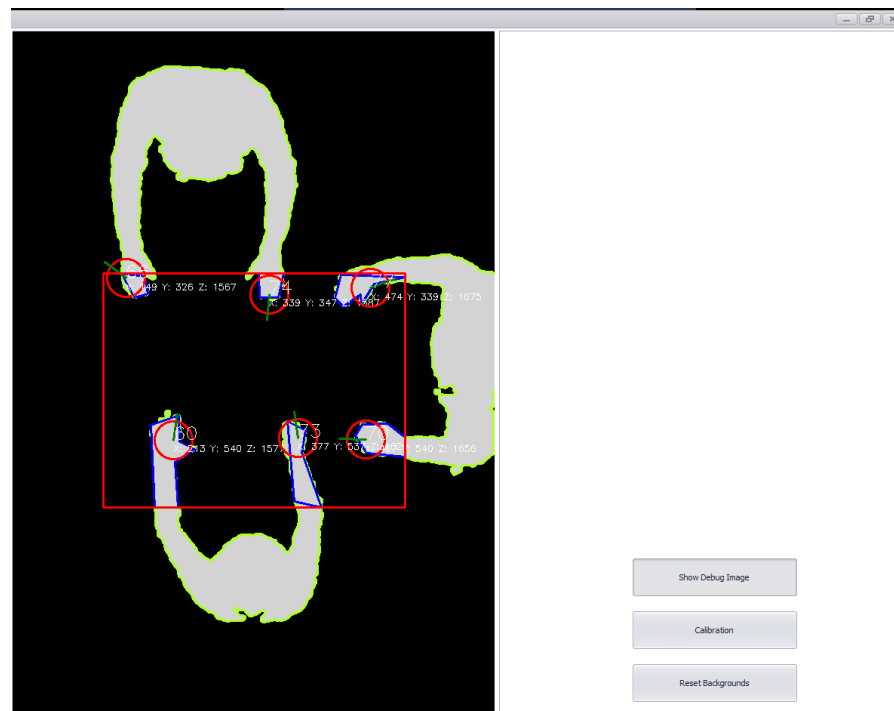
*coaNUI User Tracker*

In das *coaNUI Framework* wurde des Weiteren eine RFID-Authentifizierung integriert. Ein an einen Rechner angeschlossener RFID-Reader sendet dabei einen erkannten RFID-tag an die *coaNUI core* Komponente. Hierzu wird ein eigenes, simples Protokoll, welches einen Zeitstempel beinhaltet, verwendet.

*RFID-basierte  
Authentifizierung*

Die Kernkomponente des Frameworks ist *coaNUI core*. Hier laufen alle Informationen über erkannte Interaktionsformen zusammen. Dazu gehören, wie in Abbildung 44 zu sehen ist, beliebige TUIO Sender, *coaNUI User Tracker* Informationen über Anwender- und Handpositionen, Informationen über gelesene RFID-tags sowie proprietäre Daten, wie die des Ganzkörpergestenerkenners *DirActNI*. *coaNUI core* versucht nun, jede Interaktion einem Anwender zuzuordnen. Dazu werden die

*coaNUI Core*

Abbildung 43: Screenshot des *coaNUI User Tracker*

3D-Informationen der Hände aus dem *coaNUI User Tracker* verwendet und mit in der Nähe erfolgten Interaktionen (zum Beispiel ein Multitouch-Ereignis oder ein neu abgelegtes Objekt) verglichen. Sofern die Distanz einen einstellbaren Schwellenwert unterschreitet, kann die Interaktion diesem Anwender zugeordnet werden. Der *coaNUI User Tracker* vergibt an jeden erkannten Anwender eine eindeutige User ID. Diese wird an *coaNUI core* übertragen und von dort in eine erweiterte Form des TUIO Protokolls (*TUIOEx*) integriert und an die Anwendung weitergesendet. *TUIOEx* verwendet die 3D-Profile */tuio/3Dobj* und */tuio/3Dcur* und enthält des Weiteren eine Anwender-ID.

Wenn von der RFID-Komponente Daten eingehen, wird analysiert, welche Hand welches Anwenders sich in der Nähe der bekannten RFID-Reader Position befindet. Dieser Anwender ist nun nicht nur durch seine User ID identifiziert, sondern auch durch ein zuvor erstelltes Anwenderprofil authentifiziert (REQ\_K03 aus Tabelle 11, Seite 122). *coaNUI core* vergibt in diesem Fall eine neue, unverwechselbare User ID, die einem gespeicherten Anwenderprofil zugeordnet werden kann. Alle beteiligten Komponenten des *coaNUI Frameworks* sind in Abbildung 44 dargestellt.

Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben wurde, können die *Interaction Components* und *Subtasks* der erstellten Taxonomie als wiederverwendbare Softwarekomponenten gestaltet werden. In Abbildung 44 ist dies exemplarisch mit dem 3D-Autorenwerkzeug Unity 3D [Unity] veranschaulicht. Zahlreiche *Interaction Components* der erstellten Taxonomie-Beispiele wurden als C#-Skript für Unity3D entwickelt, um das *coaNUI*

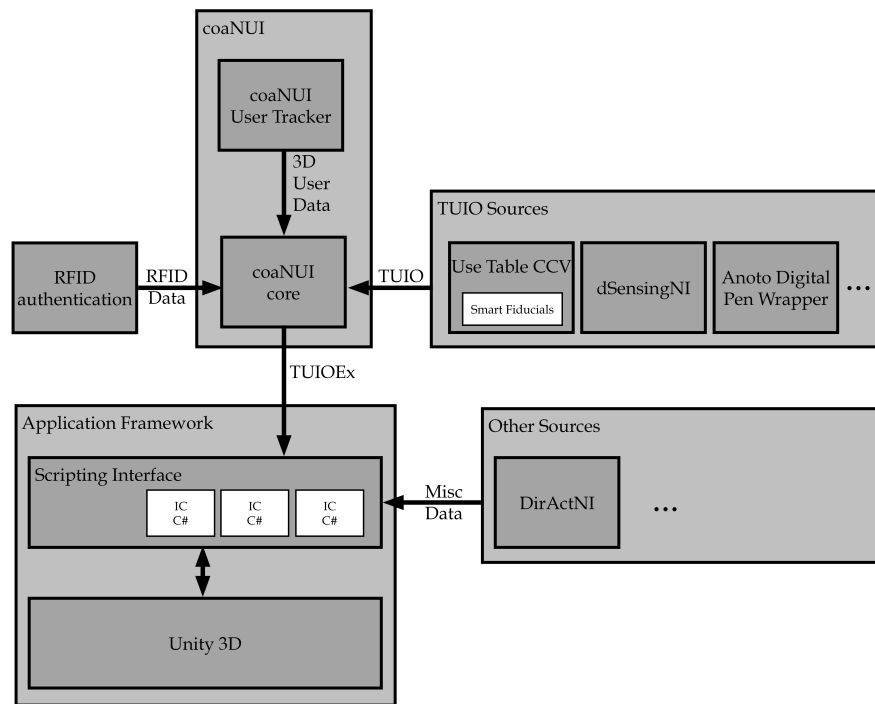


Abbildung 44: Das coaNUI Framework mit Quell- und Zielkomponenten

Konzept zu veranschaulichen. Es ist jedoch anzumerken, dass es in den meisten Fällen sinnvoll ist, Managerkomponenten zu verwenden, die den Netzwerkempfang und die weitere Aufteilung der *TUIOEx* Nachrichten übernehmen, da ansonsten Netzwerk-Zugriffskonflikte entstehen können. Die entwickelten *C#-Interaction Components* können problemlos auch für andere Anwendungen, zum Beispiel auf .NET basierende, verwendet werden.

#### 5.1.2 Zusammenfassung des coaNUI Frameworks

In diesem Abschnitt wurde das coaNUI Framework vorgestellt. Es ermöglicht die Realisierung aller in Unterabschnitt 4.4.1 analysierten und vorgestellten technologischen Anforderungen an koaktive Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen. coaNUI ermöglicht gleichzeitige Interaktionen durch Multitouch, (be-)greifbare Interaktion, Stiftinteraktion und Hand- beziehungsweise Ganzkörpergesten. Des Weiteren kann durch einen User Tracker und eine RFID Komponente eine Anwenderidentifizierung beziehungsweise -authentifizierung erfolgen. Die Kommunikation erfolgt über TUIO, einige proprietäre Protokolle für komplexe 3D Daten sowie TUIOEx mit Anwenderinformationen in Richtung der Anwendung. Tabelle 13 zeigt eine Übersicht über alle in Unterabschnitt 4.4.1 vorgestellten Anforderungen und die zugehörige Komponenten des coaNUI Frameworks, die diese Anforderung erfüllen. Die Komponenten von coaNUI wurden in eigenen Studien, sowie Abschlussarbeiten, die im Rahmen

der vorliegenden Arbeit entstanden sind, entwickelt und getestet (siehe Anhang A).

Das *coaNUI Framework* kann in Verbindung mit wiederverwendbaren Softwarekomponenten aus der Interaktionstaxonomie zum schnellen Erstellen und Testen neuartiger Interaktionstechniken oder Metaphern verwendet werden und nutzt die Vorteile einzelner Technologien in einem hybriden Systemaufbau aus. Es ist daher ein ideales Werkzeug, um neue Interaktionskonzepte zu testen, zu evaluieren und die Ergebnisse anschließend in einen Auswahlprozess für das Interaktionsdesign zu übertragen.

| ID      | Kurzbeschreibung                | coaNUI Komponenten                        |
|---------|---------------------------------|---|
| REQ_Bo1 | [MT] Multitouch                 | useTable CCV, dSensingNI                  |
| REQ_Bo2 | [BI] (Be-)greifbare Interaktion | useTable CCV, dSensingNI                  |
| REQ_Bo3 | [P] Stiftinteraktion            | Anoto Digital Pen Wrapper                 |
| REQ_Bo4 | [G] Hand- und Ganzkörpergesten  | dSensingNI, DirActNI                      |
| REQ_So1 | HGR - Hand Gesture Recognition  | dSensingNI, DirActNI                      |
| REQ_So2 | 3DOT - 3D Object Tracking       | dSensingNI                                |
| REQ_Ko1 | UID - User Identification       | coaNUI User Tracker                       |
| REQ_Ko2 | BPID - Body Part Identification | coaNUI User Tracker                       |
| REQ_Ko3 | UA - User Authentication        | coaNUI User Tracker + RFID authentication |
| REQ_Ko4 | StaG - Staple Gesture           | Smart Fiducials, dSensingNI               |

Tabelle 13: Technologische Anforderungen für den Kontext dieser Arbeit und zugehörige *coaNUI* Komponenten, die diese Anforderungen erfüllen

## 5.2 REALISIERUNG EINES WERKZEUGS ZUR AUTOMATISIERUNG DES AUSWAHLPROZESSES

Neben dem zuvor beschriebenen Framework zum Rapid Prototyping und zur möglichen anschließenden Bewertung neuartiger Interaktionstechniken wurde auch der in Abschnitt 4.5 erstellte Auswahlprozess zur Ermittlung von Design-Alternativen prototypisch in ein Softwarewerkzeug überführt, um die Realisierbarkeit des Prozesses zu demonstrieren. In diesem Abschnitt werden das Werkzeug und die Abdeckung der zuvor aufgestellten Anforderungen an den enthaltenen Auswahlprozess geschildert.

### 5.2.1 Funktion des Auswahlwerkzeuges

Zur Evaluierung des vorgestellten Prozesses und der Verfeinerung des Auswahlalgorithmus wurde ein Werkzeug zur automatischen Analyse und zur Eingabe aller erforderlichen Daten entwickelt. Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen Screenshots dieses Werkzeuges, weitere Abbildungen befinden sich in Anhang C. Es erlaubt die Eingabe der Suchparameter Interaktionstaks, Charakteristika und qualitative Parameter (siehe Abbildung 45, hierdurch wird die Anforderung PRo1 aus Tabelle 12, Seite 124 erfüllt) durch einen Interaktionsdesigner und erstellt Design-Alternativen gemäß des in Abbildung 38 dargestellten Schemas dar (siehe Abbildung 46, hierdurch wird die Anforderung PRo2 aus Tabelle 12 erfüllt). Des Weiteren ermöglicht es die Eingabe und das Editieren der Taxonomie- und Evaluierungsdaten sowie das Festlegen von Charakteristika und qualitativer Parameter durch HCI-Forscher (Screenshots siehe Anhang C).

Um der Anforderung zur Berücksichtigung unterschiedlicher Meinungen zu begegnen (siehe Unterabschnitt 3.4.3, ist Teil der Anforderung PRo3 aus Tabelle 12), bestehen mit dem entwickelten Werkzeug Diskussionsmöglichkeiten (siehe Abbildung 70 auf Seite 199). Sobald auf Ebene der *Interaktionstechnik*- oder *Interaction Component*-Bewertungen sich widersprechende Aussagen eingetragen werden, wird ein Diskussions-Thread zu diesem Widerspruch generiert. Ausgangspunkt sind die angegebenen Begründungen und Referenzen, die zu allen erstellten Bewertungen geführt haben. Den Ideen eines *Issue Based Information Systems* (siehe Unterabschnitt 3.4.3) folgend, haben alle Nutzer des Werkzeuges die Möglichkeit, Stellungnahmen zu einem aufgetretenen Konflikt abzugeben. Des Weiteren können alle in das Werkzeug eingegebenen Bewertungen von Anwendern kommentiert werden. So können auf Basis angegebener Kommentare und Referenzen die Bewertungen oder Gewichtungen der Faktoren diskutiert und gegebenenfalls editiert werden.

*Konflikte und  
Diskussionsmöglich-  
keiten*

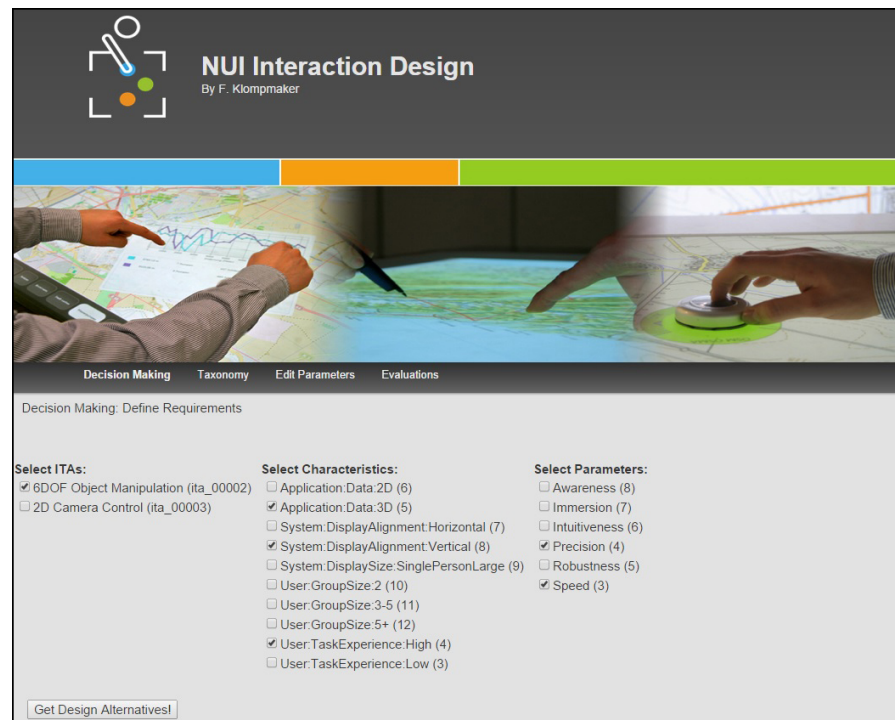


Abbildung 45: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Eingabemaske zum Suchen nach Design Alternativen

### 5.2.2 Zusammenfassung des Auswahlwerkzeuges

In diesem Abschnitt wurde ein Software-Werkzeug vorgestellt, das den entworfenen Auswahlprozess des Interaktionsdesigns beinhaltet und für die spätere Evaluierung des Verfahrens herangezogen werden soll. Das Werkzeug ermöglicht HCI-Forschern die Archivierung ihrer Forschungsarbeiten und Interaktionsdesignern das Suchen nach existierendem Design-Wissen in Form von aus Design-Alternativen bestehenden Gestaltungsrichtlinien. Design-Alternativen enthalten jeweils Charakteristika, die abgedeckt werden oder zusätzlich abgedeckt werden müssen, eine spezifische *Interaktionstechnik* gemäß Taxonomie, technologische Anforderungen an das koaktive System sowie gegebenenfalls Anmerkungen und Diskussionen zur Evaluierung. Somit wird schließlich auch die Anforderung PR03 aus Tabelle 12, Seite 124 erfüllt. Eine Übersicht über alle aufgestellten Anforderungen und wie diese adressiert wurden ist Tabelle 14 zu entnehmen.



Abbildung 46: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Darstellung der Ausgabe (Design Alternative mit der besten Bewertung)

| ID   | Beschreibung  |
|------|---|
| PRo1 | Eingabemaske des Auswahlwerkzeuges (Siehe Abbildung 45)   |
| PRo2 | Ausgabe-Darstellung des Auswahlwerkzeuges (Siehe Abbildung 46)  |
| PRo2 | Ausgabe-Darstellung des Auswahlwerkzeuges, Referenzen und Diskussionsmöglichkeit (Siehe Abbildung 46) |

Tabelle 14: Adressierte Anforderungen an den Auswahlprozess (Anforderungen siehe Tabelle 12, Seite 124)

### 5.3 FAZIT DER PROTOTYPISCHEN IMPLEMENTIERUNG

In diesem Abschnitt wurden zwei prototypische Implementierungen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurden, vorgestellt: *coaNUI* als Software-Framework zum Rapid Prototyping von Interaktionstechniken und zur Bewertung dieser, sowie ein Werkzeug, das den entwickelten Auswahlprozess des Interaktionsdesigns automatisiert.

*coaNUI* ist ein Framework, welches alle identifizierten technologischen Anforderungen aus Unterabschnitt 4.4.1 adressiert. Mit *coaNUI* können die Komponenten der Interaktionstaxonomie leicht als wiederverwendbare Softwarekomponenten realisiert werden. Das Framework kann somit zum schnellen Testen von neuen Interaktionstechniken verwendet werden, deren Ergebnisse über das Bewertungsverfahren klassifiziert werden können. *coaNUI* ist daher eine konkrete Umsetzung von Stufe 3 des in Unterabschnitt 1.3.3 vorgestellten Lösungsansatzes dieser Arbeit.

**Stufe 3:**

Es soll ein Technologie-Framework entwickelt werden, welches alle aus dem Auswahlverfahren resultierenden Anforderungen an ein koaktives System mit natürlichen Benutzungsschnittstellen adressiert und die Interaktionsdaten dem Entwickler gegenüber transparent zur Verfügung stellt. Durch die Verwendung wiederverwendbarer Softwarekomponenten kann dieses Framework als Testbed zum schnellen Entwurf und Testen von Interaktionstechniken verwendet werden.

Das in Abschnitt 5.2 vorgestellte Werkzeug zur automatisierten Suche und Entscheidungshilfe kann von HCI-Forschern zum Eintragen und somit Dokumentieren von neuen Forschungsergebnissen und neuen Interaktionstechniken verwendet werden. Es wurde gezeigt, dass das Werkzeug die Anforderungen PR01 - PR03 aus Tabelle 12, Seite 124 erfüllt. Des Weiteren haben Interaktionsdesigner mit diesem Werkzeug die Möglichkeit, auf einfache Art und Weise nach existierendem Design-Wissen für ein gegebenes Interaktionsproblem zu suchen. Im folgenden Kapitel wird das erstellte Konzept aus Kapitel 3, sowie die Werkzeuge aus diesem Kapitel auf Basis von zahlreichen Tests und Kontrollfragestellungen evaluiert, sowie kritisch gewürdigt.



In diesem Kapitel werden das aufgestellte Konzept zum strukturierten Vorgehen beim Interaktionsdesign von koaktiven Anwendungen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen, sowie die entwickelten prototypischen Implementierungen bewertet und kritisch gewürdigt. Dabei sollen jeweils die Vor- und Nachteile, die durch den Ansatz und die Implementierungen entstanden, einander gegenübergestellt werden und schließlich in einer übergreifenden Bewertung der vorliegenden Arbeit resultieren.

Die Bewertung der einzelnen Punkte orientiert sich an eigenen Erkenntnissen, die während der Konzeption, der Implementierung und des Testens der Verfahren und Werkzeuge gemacht wurden. Auch fließen relevante Ergebnisse zur Einschätzung und Evaluierung aus der Literatur mit ein. Des Weiteren wird Feedback aus der Wissenschaftswelt, das in Form von Artikel-Reviews, Diskussionen auf internationalen Konferenzen und Workshops, sowie durch Fachgespräche mit Kolleginnen und Kollegen erhalten wurde, berücksichtigt und für die Bewertung aufgegriffen. Bewertungen von konkreten Interaktionstechniken, sowie die Darlegung der Umsetzbarkeit des Ansatzes durch die Anwendung eigener und externer Studienergebnisse befinden sich im Anhang dieser Arbeit, um eine kompakte Übersicht mit guter Lesbarkeit in diesem Kapitel zu gewährleisten.

In Abschnitt 6.1 wird zunächst der strukturierte Prozess des Interaktionsdesigns untersucht, bevor in den Abschnitten 6.2 und 6.3 die prototypischen Implementierungen betrachtet werden. Abschließend wird in Abschnitt 6.4 zusammengefasst dargelegt, dass der hier entwickelte Ansatz sinnvoll ist und er die extrahierten Anforderungen ganzheitlich berücksichtigt. Es werden jedoch auch mögliche Verbesserungen sowie geeignete Erweiterungen der Arbeiten adressiert.

### 6.1 BEWERTUNG DES STRUKTURIERTEN VORGEHENS BEIM INTERAKTIONSDESIGN

In diesem Abschnitt werden die Vor- und Nachteile des strukturierten Vorgehens beim Interaktionsdesign, das in dieser Arbeit konzipiert wurde, betrachtet. Die Kapitelstruktur gleicht derjenigen in Kapitel 4, in dem die einzelnen Phasen des Vorgehens (siehe Abbildung 47) erneut adressiert werden.

Nachfolgend werden daher die Definition von Charakteristika und qualitativen Parametern (Phase 1), das Aufstellen der Taxonomie (Phase 2), die Bewertung von Interaktionskomponenten gemäß des aufgestellten Schemas (Phase 3) sowie das Aufstellen von technologischen Anforderungen (Phase 4) betrachtet. Diese Schritte sind für MCI-Forscher konzipiert worden. Anschließend werden die theoretischen Grundlagen, die dem Auswahlwerkzeug (Phase 5) für Interaktionsdesigner zugrundeliegen, bewertet, bevor eine abschließende Übersicht und kritische Würdigung des Vorgehens erfolgt. Die praktischen Komponenten, die die Schritte 3 und 4 betreffen, werden in Abschnitt 6.2 adressiert.



Abbildung 47: Fünf Phasen des Vorgehens beim Interaktionsdesign

#### 6.1.1 Definition von Charakteristika und qualitativen Parametern

In Abschnitt 4.1 wurde geschildert, wie Charakteristika verwendet werden können um interaktive und insbesondere auch koaktive Systeme zu beschreiben. Des Weiteren wurde geschildert, dass qualitative Parameter wie beispielsweise Geschwindigkeit, Präzision oder Nutzerzufriedenheit einer Interaktionstechnik in Studien verwendet werden, um eine Interaktionstechnik zu bewerten und mit anderen zu vergleichen.

##### Vorteile

Durch die Charakteristika steht eine einfache Methode zur Verfügung, eine interaktive Anwendung, potentielle Anwender und den Kontext des Systems zu beschreiben. Dies ist hilfreich, da von solchen Charakteristika die Eignung verschiedener Interaktionstechniken und -technologien abhängig sein kann. Durch Verwendung einfacher sprachlicher Begriffe, durch Kategorisierung und durch die Allgemeinhaltung des Ansatzes sind diese Charakteristika weitestgehend selbsterklärend und ohne technisches oder domänenbezogenes Wissen verwendbar. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zahlreiche Beispiele für Charakteristika vorgestellt und in den durchgeführten Studien (siehe

Anhang A) und Evaluierungen (siehe Anhang B) angewendet. Jedoch ist die Anzahl der Charakteristika und der Gruppierungen unbegrenzt erweiterbar. So ist zu erwarten, dass auch beliebige zukünftige Systeme mit diesem Ansatz vollständig beschrieben werden können.

Vor allem koaktive Anwendungen zeichnen sich häufig durch heterogene Eigenschaften, insbesondere bei der Beschreibung der Anwender, aus. So kann es eine Anforderung an das System sein, dass sowohl Anwender mit Erfahrung bei der Interaktion als auch Anwender ohne Erfahrung, koaktiv arbeiten sollen. Der Vorteil des hier konzipierten Ansatzes ist es, dass sich auch solche Eigenschaften durch Charakteristika beschreiben lassen. Das genannte Beispiel könnte durch ein Charakteristikum *User:TaskExperience:Heterogeneous* versehen werden. Bei der Definition der qualitativen Parameter wurde ebenfalls Wert auf eine einfache sprachliche Beschreibung gelegt. Qualitative Parameter wurden auf Basis von existierenden Interaktionsstudien und Usability-Befragungen in den Ansatz übernommen. Auch die im Rahmen dieser Arbeit erwähnten qualitativen Parameter sind keinesfalls vollständig, sondern durch beliebige neue erweiterbar.

Durch die eigens durchgeführten Studien im Rahmen dieser Arbeit (siehe Anhang A), die daraus resultierenden Evaluierungen (siehe Anhang B) und die Evaluierungen aus externen Studien (siehe Anhang D) konnte aufgezeigt werden, dass alle Studien zu Interaktionstechniken sich durch Charakteristika und qualitative Parameter beschreiben lassen.

Ein kritischer Aspekt bei der Beschreibung durch Charakteristika und qualitative Parameter entsteht dadurch, dass MCI-Forscher bei der Aufstellung von Charakteristika auf eine vollständige aber minimale Angabe achten müssen. Es müssen alle erforderlichen Charakteristika angegeben werden, unterschiedliche Gewichtungen sind dabei möglich. Dies ist nur durch sorgfältige Arbeit auf der Seite des MCI-Forschers zu erreichen und nicht maschinell überprüfbar. Die Vollständigkeit ist erforderlich, da eine Interaktionstechnik ohne das angegebene Charakteristikum nicht wie bewertet angewendet werden kann. Ist die Angabe nicht minimal, enthält sie Charakteristika, die für die Realisierung und Bewertung des Systems nicht erforderlich sind und die Interaktionstechnik nicht beeinflussen. Dies führt im späteren Auswahlverfahren zu zusätzlichen Anforderungen an das zu entwerfende System, die unnötig sind. Hieraus entsteht auch die Anforderung an MCI-Forscher, Studien nur mit einem Minimum an erforderlichen Charakteristika durchzuführen, beziehungsweise während der Studiendurchführung im System zu variieren um den Einfluss der Charakteristika genau bewerten zu können.

Die Möglichkeit, heterogene Eigenschaften, wie Anwendergruppen aus Personen mit unterschiedlichen Charakteristika (Alter, Erfahrung mit der Interaktion, Körpergröße etc.) zu beschreiben, wurde zuvor als Vorteil erwähnt. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nicht, um be-

*Nachteile*

stimmte Ausprägungen einer Heterogenität zu beschreiben. Hier muss der Interaktionsdesigner im Einzelnen beachten, wer die zukünftigen Anwender des Systems sind. Alternativ könnte das Verfahren jedoch verwendet werden, um jeden einzelnen Anwender durch ein Charakteristikum zu beschreiben. Die genaue Zusammensetzung einer Anwendergruppe ist jedoch selten im Voraus bekannt. Des Weiteren würde diese Variante das Auffinden von passenden Ergebnissen gemäß des verwendeten Algorithmus erschweren, da die Anzahl der passenden Studien durch die Angabe vieler Charakteristika aus einer Gruppe sinkt.

Charakteristika können untereinander Konfigurationskonflikte aufweisen. Beispielsweise ist die Verwendung eines kleinen Bildschirms (beschrieben zum Beispiel durch *System:DisplaySize:Small*) in Kombination mit einer großen Anzahl an Anwendern (beschrieben zum Beispiel durch *User:GroupSize:5+*) meistens problematisch. Solche Konfigurationskonflikte müssen bisher bei der Aufstellung der Anforderungen an ein System in Form von Charakteristika manuell vom Interaktionsdesigner verhindert werden. Auf diesen Aspekt wird später noch einmal eingegangen.

Des Weiteren muss vom MCI-Forscher bei der Erstellung von Charakteristika und qualitativen Parametern auf die klare Unterscheidung von beiden geachtet werden. Qualitative Parameter sind bewertbare und von der Realisierung abhängige Eigenschaften einer Interaktionstechnik. Sie können durch physikalische Messgrößen oder durch Usability-Erhebungen analysiert werden. Alle Parameter, die dies nicht erfüllen, aber ein System beschreiben oder als Anforderung dienen, sind Charakteristika. So ist die Definition des Charakteristikums *System:DisplaySize:Small* erlaubt, obwohl sich die Displaygröße physikalisch messen lässt. Sie betrifft jedoch nicht die Interaktionstechnik und wird durch diese nicht beeinflusst. Hingegen wäre beispielsweise ein Charakteristikum *InteractionTechnique:Precision:High* nicht erlaubt, weil es genau die Anforderungen an einen qualitativen Parameter erfüllt.

#### 6.1.2 Aufstellung der Interaktionstaxonomie

In diesem Abschnitt wird auf die Vor- und Nachteile der in Abschnitt 4.2 vorgestellten Taxonomie von Interaktionstechniken eingegangen.

##### Vorteile

Da sich die in dieser Arbeit konzipierte und vorgestellte Taxonomie von Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen an Ideen existierender Arbeiten orientiert (insbesondere an der VR Taxonomie von Bowman und Hodges [Bowman and Hodges, 1997] und den Task Models nach Paterno et al. [Paterno et al., 1997]), ist sichergestellt, dass sich beliebige Aktivitätsabfolgen von Interaktionstechniken damit abbilden lassen. In Anhang A und Anhang D wird

dies außerdem am Beispiel von drei eigenen und fünf Studien Dritter zu verschiedenen Interaktionstechniken demonstriert. Die Taxonomie betrachtet nur den Eingabeteil einer Interaktionstechnik. Dieser Umstand kommt der Übersichtlichkeit und Komplexität der Taxonomie zu Gute und lässt Interaktionstechniken zunächst losgelöst von Systemantworten verwenden. Des Weiteren wurde die Taxonomie so angelegt, dass sie ohne spezielles Wissen über die jeweilige Implementierung, die verwendete Technologie oder die Domäne, in der die Technik eingesetzt werden soll, verständlich ist. Somit ist sie geeignet um die Kommunikation zwischen MCI-Forschern, Entwicklern und Interaktionsdesignern zu fördern, da sie von diesen Personengruppen gleichermaßen anwendbar ist. Die Taxonomie erlaubt die Definition von nebenläufig ausführbaren Teilschritten einer Interaktionstechnik, sequentiellen Schritten, sowie von Abhängigkeiten einzelner Schritte untereinander. Sie ist problemlos erweiterbar, um auch künftige Technologien, Interaktionstechniken und Sonderfälle abbilden zu können. Da die Taxonomie in dieser Arbeit zur Entscheidungsfindung beziehungsweise zur Analyse existierenden Design-Wissens verwendet werden soll, wurde sie so gestaltet, dass sich Entscheidungsmöglichkeiten und -notwendigkeiten mit ihr abbilden lassen. Diese lassen sich anschließend durch Algorithmen auswerten und beliebig zu neuen Interaktionstechniken kombinieren.

Schließlich stand bei der Entwicklung der Taxonomie auch die Möglichkeit der Abbildung von koaktiven Interaktionstechniken im Vordergrund. Innerhalb der Taxonomie ist daher zunächst nicht festgelegt, welcher Anwender mit welchem Eingabegerät oder Körperteil eine Eingabe verursacht. Dieser Umstand ist für die Eignung einer Technik zunächst nicht von Bedeutung, sondern wird erst durch die konkrete Implementierung relevant. Systeme wie das vorgestellte Framework *coaNUI* können dann verwendet werden, um Interaktionstechniken auf bestimmte Personen zu beschränken.

Elemente der Taxonomie können als wiederverwendbare Softwarekomponenten, beispielsweise innerhalb des Frameworks *coaNUI*, entwickelt werden. Dies ermöglicht ein schnelles Testen und Modifizieren einer Technik sowie eine Kombination von Komponenten zu neuen Interaktionstechniken.

Ein Nachteil des vorgestellten Taxonomiekonzeptes ist, dass der Baum einer Interaktionstechnik durch Redundanzen schnell sehr groß und unübersichtlich werden kann. Dies lässt sich jedoch durch geeignete Visualisierungsmaßnahmen und -werkzeuge minimieren, in dem jeweils nur Teile der Taxonomie dargestellt werden und sich Knoten ausblenden beziehungsweise zusammenfassen lassen (siehe Visualisierungen in Unterabschnitt 4.2.2 und Anhang A).

Es muss bei der Definition von Komponenten in der Taxonomie stets auf eine kurze aber eindeutige und verständliche Formulierung geachtet werden. Ist dies nicht der Fall fällt es HCI-Forschern schwer

*Nachteile*

herauszufinden, ob eine Komponente bereits in der benötigten Form existiert oder ob ein Neueintrag erforderlich ist. Diese Analyse muss bisher manuell erfolgen.

Da die Taxonomie derzeit lediglich den Eingabeteil berücksichtigt ist mit ihr keine Abbildung vollständiger Interaktionstechniken möglich. Aussagen über ein geeignetes Feedback vom System sind nicht möglich. Dieser Aspekt wird später noch einmal aufgegriffen.

### 6.1.3 *Bewertungsschema und -schlüssel*

In Abschnitt 4.3 wurde ein Bewertungsschema und -schlüssel vorgestellt, mit dem die Komponenten *Interaktionstechnik* und *Interaction Component* mit Charakteristika und qualitativen Parametern kombiniert bewertet werden können.

#### *Vorteile*

Schema und Schlüssel wurden bewusst übersichtlich und einfach gehalten. Ziel ist es nicht, absolute Aussagen über Kombinationen zu treffen, sondern lediglich Vergleichsaussagen über die Eignung bestimmter Komponenten im Kontext einer Anwendung treffen zu können. Die Kontexte werden über Charakteristika beschrieben. Durch Faktoren können diese in ihrer Relevanz gewichtet werden, was eine vollständige Beschreibung von weniger und von besonders relevanten Charakteristika erlaubt. Dieses Schema ermöglicht auf Basis der definierten Taxonomie die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung beziehungsweise bei der Analyse existierenden Design-Wissens. Das Schema ist durch seine Kompaktheit leicht verständlich und sehr schnell anwendbar.

#### *Nachteile*

Eine Herausforderung ist, dass MCI-Forscher ihre Studienergebnisse einheitlich in dieses Schema überführen müssen. Insbesondere bei Ergebnissen aus Usability-Befragungen ist abzuwägen, welche Bewertung des Schlüssels die Ergebnisse bestmöglich repräsentiert. Da die Einschätzung dem jeweiligen MCI-Forscher obliegt, besteht die Gefahr, dass unterschiedliche Einschätzungen und schließlich Bewertungen zu heterogenen Evaluierungen und somit verfälschten Suchergebnissen führen. Jedoch sind Bewertungen nur eine Momentaufnahme und können im Nachhinein verändert werden. Dies kann beispielsweise vorkommen wenn eine neue Interaktionstechnik getestet wurde, die deutliche Vorteile gegenüber einer Technik aufweist, die bereits mit bestmöglicher Wertung des Schlüssels versehen wurde.

### 6.1.4 *Technologische Anforderungen*

Das aufgestellte Bewertungsschema erlaubt die Kombination verschiedener Charakteristika und wurde vorbereitend für eine automatisierte Analyse existierenden Design-Wissens konzipiert. Solches Design-Wissen kann jedoch neue, bisher nicht berücksichtigte technologische Anforderungen an ein System stellen. Beispielsweise gibt es Interakti-

onstechniken, die eine Unterscheidung einzelner Anwender erfordern, was nur unter zusätzlichem technologischen Aufwand möglich ist.

Die Angabe von technologischen Anforderungen hilft dem Interaktionsdesigner bei der Auswahl geeigneter Interaktionstechniken, da nur bestimmte Technologien für sie oder ihn einsetzbar sind und die Implementierung neuer geplant werden muss. Das hier verwendete Verfahren für einen Auswahlprozess ist um beliebige neue Anforderungen erweiterbar, weshalb auch zukünftige Technologien problemlos integriert werden können. Beispielsweise könnte zukünftig auch der Auflagedruck eines Fingers bei einer Multitouch-Technik analysiert werden, was nicht mit allen Erkennungsverfahren möglich ist.

*Vorteile*

Bisher werden in diesem Verfahren jedoch keine Koexistenzen und Interferenzen zwischen technologischen Realisierungen berücksichtigt. Beispielsweise ist der Einsatz von auf IR-Licht basierenden Tiefenbildkameras in Kombination mit optischen Multitouch-Erkennungsverfahren oft problematisch. Solche Probleme müssen derzeit noch vom Entwickler beziehungsweise Designer berücksichtigt werden, könnten zukünftig aber durch Charakteristika abgebildet werden, die eine konkrete Technologie repräsentieren und Konflikte in Kombination mit anderen Charakteristika aufweisen.

*Nachteile*

Technologische Anforderungen sind Teil einer Bewertung gemäß des vorgestellten Bewertungsschlüssel und werden in Schritt 2 des Prozesses (Abbildung 40 auf Seite 130) definiert. Dies erschwert gegebenenfalls die Übersichtlichkeit gegenüber einer Definition innerhalb der Komponente in der Taxonomie und kann zu einer redundanten Angabe von technologischen Anforderungen führen. Jedoch lässt sich nur auf diese Weise die Kombination mit den Charakteristika der interaktiven Anwendung abbilden. Eine Multitouch-Technik kann beispielsweise abhängig von der Personenzahl (durch Charakteristika angegeben) unterschiedliche technologische Anforderungen an das System stellen, wie zum Beispiel die Unterscheidbarkeit von Anwendern oder Körperteilen.

#### 6.1.5 Das Auswahlverfahren

Auf Basis der Bewertungen und der Definition von technologischen Anforderungen wurde in Abschnitt 4.5 vorbereitend für eine Automatisierung ein Auswahlverfahren konzipiert sowie ein Algorithmus für dieses Verfahren skizziert.

Der Auswahlprozess ist gradlinig und vergleicht alle vorliegenden Evaluierungen und inwiefern diese mit den Anforderungen an ein zukünftiges System übereinstimmen. Die Ausgabe erfolgt in Form von Design-Alternativen. Diese zeigen eine bestimmte Technik auf, die im Kontext besonders gut oder besonders schlecht geeignet sein dürfte. Des Weiteren werden gegebenenfalls zusätzlich benötigte Charakteristika aufgelistet, technologische Anforderungen an das System gestellt

*Vorteile*

und dargelegt, welche Charakteristika mit dieser Design-Alternative abgedeckt werden und welche gegebenenfalls nicht. Auf Basis dieser Ausgabe kann ein Interaktionsdesigner eine qualifizierte Entscheidung bezüglich der Eignung verschiedener Interaktionstechniken treffen. Da das Verfahren bewusst so gestaltet wurde, dass es eine Vielzahl von Ideen mit Eignungsgrad präsentiert, wird die Entscheidung über die finale Umsetzung beim Interaktionsdesigner belassen. Das Verfahren eignet sich also nicht für totale Aussagen über die bestmögliche Technik, sondern zu Analyse und Ausgabe von existierendem Design-Wissen in einem gegebenen Kontext.

Da Evaluierungen von MCI-Forschern unterschiedlich vorgenommen werden können, berücksichtigen Design-Alternativen auch Diskussionen, die zu diesen Evaluierungen getätigt werden. So können verschiedene Meinungen zu Interaktionstechniken unter gegebenen Kontexten als Teil des existierenden Design-Wissens mit berücksichtigt werden. Auch Anmerkungen und Referenzen zu getätigten Studien oder weiterer Literatur sind Teil der Design-Alternative. Das Verfahren berücksichtigt daher die in Tabelle 12 auf Seite 124 aufgestellten Anforderungen PR01 bis PR03.

Das Verfahren ist des Weiteren in der Lage, neue Interaktionstechniken zu identifizieren, die auf diese Art und Weise noch nie getestet oder implementiert wurden. Dazu können Komponenten aus der Taxonomie, die die Interaktionstechnik erfüllen, beliebig neu kombiniert werden. So kann das Verfahren verwendet werden, um neue Interaktionstechniken zu realisieren und anschließend zu testen.

#### *Nachteile*

In der vorliegenden Arbeit wurde lediglich ein einfacher Algorithmus zur Analyse existierenden Design-Wissens prototypisch implementiert, um die Funktionalität des Verfahrens und der Werkzeuge zu demonstrieren. Inwiefern dieser Algorithmus verbesserungsfähig ist, beispielsweise durch unterschiedliche Gewichtungen bei der Auswertung der einzelnen Komponenten, wurde bisher nicht analysiert.

Bezüglich der neu kombinierten Interaktionstechniken, die das Verfahren erstellen kann, ist des Weiteren noch zu erforschen, wie die Eignung unterschiedlicher Techniken abgeschätzt werden kann. Nicht jede Kombination, insbesondere nicht die von verschiedenen Technologien, erscheint immer sinnvoll.

#### 6.1.6 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde das strukturierte Vorgehen beim Interaktionsdesign für natürliche Benutzungsschnittstellen, das in dieser Arbeit entwickelt wurde, bewertet und kritisch gewürdigt. Das Vorgehen wurde in einen Software-Prototypen überführt, der im nachfolgenden Abschnitt bewertet wird. Anschließend wird das Softwareframework coaNUI betrachtet, mit dem für das Vorgehen Interaktionstechniken entwickelt, getestet und evaluiert werden können. In Abschnitt 6.4



wird auf weitere Aspekte, die sowohl das Verfahren, als auch die prototypischen Implementierungen als Gesamtheit betrachten, eingegangen. Insbesondere werden dort Ausblicke für zukünftige Weiterentwicklungen des Ansatzes vorgestellt.

## 6.2 BEWERTUNG DES AUSWAHLWERKZEUGES

*Vorteile*

Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile des in Abschnitt 5.2 beschriebenen Auswahlwerkzeuges geschildert und die Software somit kritisch gewürdigt. Das Auswahlwerkzeug realisiert den in dieser Arbeit entwickelten und in Abschnitt 4.5 geschilderten Auswahlprozess. Das Auswahlwerkzeug wurde so gestaltet, dass es zwei unterschiedlichen Personengruppen als Hilfsmittel zur Verfügung stehen kann. HCI-Forscher haben die Möglichkeit, die Software als Suchwerkzeug zu verwenden. Durch die Suche nach existierenden Interaktionstechniken für bestimmte Szenarien und Kontexte können HCI-Forscher bisher unbekannte Realisierungen entdecken. Des Weiteren kann analysiert werden, zu welchen Interaktionstechniken oder Kontexten es noch keine oder nicht ausreichend viele Studien gibt. Diese Lücken können anschließend durch eigene Studien gefüllt werden. Durch die Pflege des Werkzeuges mit eigenen Studienergebnissen, dient es schließlich auch zur Archivierung von Gestaltungswissen.

Interaktionsdesigner können das Auswahlwerkzeug verwenden, um für ein zu realisierendes Szenario nach existierenden Interaktionstechniken zu suchen, die sich für dieses oder ein sehr ähnliches Szenario gut oder weniger gut zu eignen scheinen. Anhand dieser Vorschläge kann die Entscheidungsfindung für das eigene Szenario qualitativ verbessert und beschleunigt werden.

Die Software wurde so gestaltet, dass sie von beiden Personengruppen leicht zu bedienen ist. Die Bezeichnungen der Charakteristika und qualitativen Parameter wurde anhand des natürlichen Sprachgebrauchs getroffen, so dass kein technologisches Fachwissen auf Seite der Interaktionsdesigner vorhanden sein muss.

Die Anwendung wurde als Webanwendung auf Basis von PHP, MySQL und HTML realisiert. So kann eine Speicherung von großen Mengen an Gestaltungswissen und ein global einheitlicher Datenbestand geschaffen werden. Eine Installation von Software auf den zu verwendenden Geräten ist daher nicht erforderlich.

Die Anforderungen PR01 bis PR03 (siehe Tabelle 12 auf Seite 124) an den Auswahlprozess wurden alle adressiert (siehe Abbildungen der Anwendung in Anhang C). Insbesondere PR03 beinhaltet wichtige Punkte, die für eine sinnvolle Verwendung der Software erforderlich sind. So werden dem Interaktionsdesigner nach einer Suche verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten vorgeschlagen, die gut oder weniger gut geeignet sind. Die Entscheidung der Verwendung bleibt beim Interaktionsdesigner. Des Weiteren werden Literaturverweise auf Studien beziehungsweise Diskussionen zu den einzelnen Bewertungen aufgeführt. Dies ermöglicht nachgelagert eine tiefergehende Recherche zu bestimmten Techniken und in Summe eine qualifizierte Aussage über die Eignung einer bestimmten Interaktionstechnik. Verwendet ein HCI-Forscher das Werkzeug, so kann es zu Konflikten zu

bereits existierenden Bewertungen kommen. Durch die Möglichkeit der Diskussion zu verschiedenen Bewertungen, können verschiedene Meinungen begründet und anschließend Evaluierungen editiert werden.

Als Nachteil des Auswahlwerkzeuges ist die aktuelle Übersichtlichkeit bei großen Datenbeständen zu erwähnen. Beim Eintragen neuer Studienergebnisse ist zunächst zu recherchieren, ob beispielsweise die erstellte Interaktionstechnik oder Komponenten davon schon mit einer Taxonomie im System existieren. Hierzu muss der MCI-Forscher, der Daten in das Auswahlwerkzeug eintragen möchte, sein Wissen über die Struktur der Taxonomie verwenden, um bereits eingetragene Komponenten aufzuspüren. Der Erfolg dieser Suche ist von konsistenter Benennung von Komponenten der Taxonomie abhängig. Hier kommt es im Fehlerfall zu Redundanzen im Datenbestand und nachfolgend zu unvollständigen Suchergebnissen.

*Nachteile*

Auch die Visualisierung der Design Alternativen bietet noch Optimierungsmöglichkeiten. So wären Filterregeln für Technologien und Interaktionsformen oder das Ausblenden bestimmter Teile einer Taxonomy sinnvoll, um die Übersichtlichkeit zu steigern.

Der erstellte Auswahlalgorithmus ist einfach gehalten und durch wenige Parameter zur Berechnung der Eignung von Komponenten im Quellcode konfigurierbar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein Auswahlalgorithmus existiert, der bessere Ergebnisse liefert. Der hier verwendete soll lediglich die Realisierbarkeit des Auswahlprozesses, -werkzeuges und Gesamtkonzeptes aufzeigen.

## 6.3 BEWERTUNG DES FRAMEWORKS COANUI

In Unterabschnitt 4.4.1 wurden technologische Anforderungen für den Kontext dieser Arbeit vorgestellt. Mit coaNUI (Abschnitt 5.1) wurden diese Anforderungen adressiert, wie in Unterabschnitt 5.1.2 dargelegt ist. In diesem Abschnitt wird coaNUI kritisch gewürdigt, indem die Vor- und Nachteile des Frameworks geschildert werden.

*Vorteile*

coaNUI dient als Entwicklungs- und Testframework HCI-Forschern zum Rapid Prototyping und Evaluieren neuartiger Interaktionstechniken. Dabei wurde insbesondere darauf geachtet, dass auch koaktive Interaktionen realisiert werden können.

coaNUI erlaubt die gleichzeitige Verwendung verschiedener NUI-Technologien. Da es komponentenbasiert ist und die einzelnen Komponenten über eine Netzwerkschnittstelle und ein angepasstes Protokoll kommunizieren, ist das Framework einfach erweiterbar und an keine Hardware und kein Betriebssystem gebunden. Exemplarisch aufgezeigt wurde diese Möglichkeit durch die Integration verschiedenster eigener Entwicklungen, siehe Unterabschnitt 5.1.1.

Neben der Möglichkeit, koaktiv mit dem Framework zu arbeiten, erlaubt die Authentifizierungsmöglichkeit via RFID in Kombination mit Personen-Tracking auch personenbezogene Interaktionen. Dies ist bei den meisten derzeit existierenden Lösungen nicht gegeben.

Das komponentenbasierte Framework coaNUI ermöglicht ein ideales Zusammenspiel mit den anderen in dieser Arbeit entwickelten Realisierungen. So lassen sich alle Komponenten der Taxonomie für Interaktionstechniken als eigenständige Softwarekomponenten testen und anschließend bewerten. Dies erweitert die Taxonomie um eine Test- und Evaluierungsmöglichkeit, die sich in anderen taxonomiebasierten Lösungen nicht finden.

*Nachteile*

Die technologischen Realisierungen für das coaNUI Framework sind prototypische Implementierungen und haben daher einige Schwächen, die einer Nutzung im kommerziellen Kontext noch im Weg stehen könnten. So ist das Personen-Tracking über Tiefenbildkameras fehleranfällig, wann immer es zu Verdeckungen kommt oder eine Person den räumlich begrenzten Erkennungsbereich verlässt. Da auch personenbezogene Interaktionen durch einen Abgleich mit dem Personen-Tracking geschehen, kann es hier zu Fehlern kommen. Für sicherheitskritische Anwendungen ist hier noch eine Verbesserung des Trackings erforderlich. Dies sollte zum einen durch eine bessere Abdeckung durch mehrere Kameras geschehen, zum anderen sollte die Software einen Benutzer sperren, sobald dieser nicht mehr vom Trackingsystem erkannt wird.

Auch die realisierten Multitouch- und (be-)greifbaren Komponenten haben Ihre technologischen Schwächen, die insbesondere bei schwankenden Umgebungslicht- und Temperaturverhältnissen auffallen. Dies ist jedoch durch die Verwendung kommerzieller Hardware optimier-

bar, sofern die Integration des benötigten TUIO / TUIOEx Protokolls möglich ist.

## 6.4 ABSCHLIESSENDE BEWERTUNG

In diesem Kapitel wurden das erstellte Konzept, sowie die prototypischen Implementierungen dieser Arbeit kritisch gewürdigt. Hierzu wurden jeweils die Vor- und Nachteile des erstellten, strukturierten Verfahrens zur Entscheidungsfindung (Abschnitt 6.1), des darauf aufbauenden Auswahlwerkzeuges (Abschnitt 6.2), sowie des Frameworks coaNUI zum Rapid Prototyping und zur Durchführung von Studien zu Interaktionstechniken (Abschnitt 6.3) betrachtet.

Es wurde dargelegt, dass die Vorteile aller Komponenten und Konzepte zur Erfüllung des Zieles dieser Arbeit führen: das Konzept und die Werkzeuge ermöglichen ein strukturiertes Erschaffen und Speichern von Design-Wissen, das unterschiedlichen Personengruppen auf einfache Art und Weise zur Verfügung steht. Dies unterstützt Entwickler und Interaktionsdesigner bei der Entscheidungsfindung und bei der Entwicklung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Alle im Laufe der Arbeit extrahierten Anforderungen an das Konzept und an technologische Realisierungen wurden adressiert beziehungsweise gelöst.

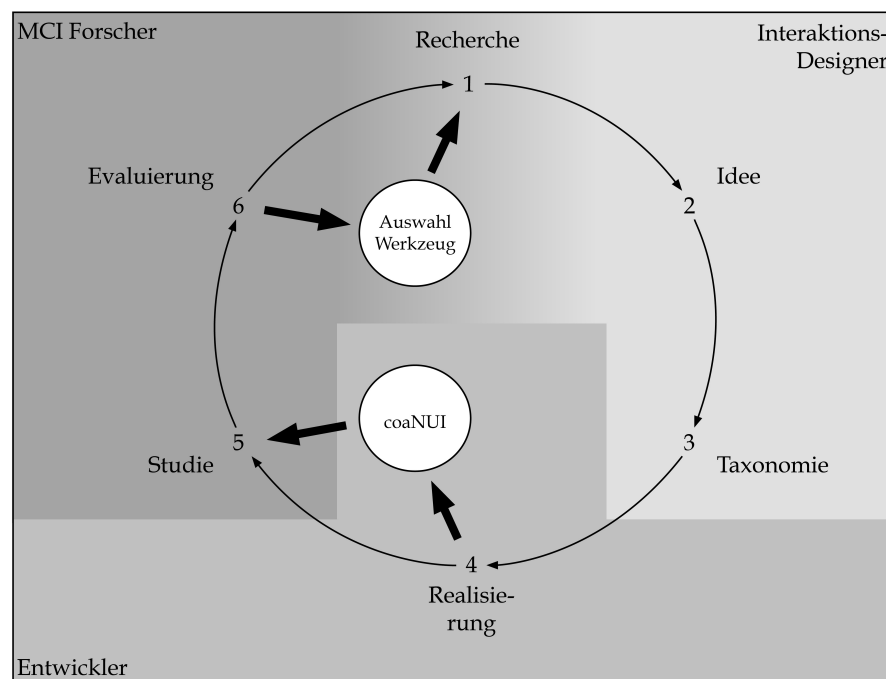


Abbildung 48: Übersicht über den gesamten Auswahl- und Entwicklungsprozess mit beteiligten Personen und Werkzeugen

Abbildung 48 zeigt einen Überblick über den gesamten Auswahl- und Entwicklungsprozess einer Interaktionstechnik und wie einzelnen Schritte von beteiligten Personen mit den entwickelten Werkzeugen absolviert werden können. Nach der Recherche nach existierenden vielversprechenden Realisierungen (Schritt 1: Recherche) mit Hilfe

des Auswahlwerkzeuges erfolgt die Entwicklung einer Idee (Schritt 2) durch den Interaktions-Designer. Anschließend kann diese Interaktionstechnik mit Hilfe der Taxonomie abgebildet (Schritt 3) und durch einen Entwickler realisiert werden (Schritt 4). Hierzu steht mit coaNUI ein Tool zur Verfügung, welches bereits viele technische Realisierungen ermöglicht und einfach durch neue Komponenten der Taxonomie erweiterbar ist. Eine von MCI-Forschern durchgeführte Studie zu dieser Interaktionstechnik (Schritt 5), bei der die Komponenten von coaNUI zum Einsatz kommen, führt zur Evaluierung, die in das Auswahlwerkzeug eingepflegt werden können (Schritt 6). Die Rollen der involvierten Personen sind nicht immer klar abgegrenzt. Oftmals werden mehrere Aufgaben beziehungsweise Rollen von der selben Person abgedeckt.

Im nachfolgenden Kapitel wird die gesamte Arbeit noch einmal abschließend und kompakt zusammengefasst.





## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

---

Nachfolgend wird die vorliegende Arbeit noch einmal kompakt zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf noch zu beantwortende Forschungsfragen, sowie weitere Anknüpfungspunkte gegeben.

## 7.1 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurde die Entwicklung eines strukturierten, kriteriengeleiteten Prozesses des Interaktionsdesigns für natürliche Benutzungsschnittstellen vorgestellt. Die in Abschnitt 1.2 aufgestellten, übergeordneten Ziele waren eine einfachere Zugänglichkeit von Design-Wissen zu solchen Benutzungsschnittstellen zu schaffen, die Strukturierung von Design-Wissen und dadurch eine bessere Auffindbarkeit zu ermöglichen, Design-Wissen so zu beschreiben, dass es von Personen mit unterschiedlichem Fachwissen verwendet werden kann und letztlich einen Beitrag dazu zu leisten, dass in der Forschung erworbenes Design-Wissen besser und schneller in Produkte übertragen werden kann.

Im ersten Kapitel wurde hierzu zunächst eine Einleitung in die Thematik gegeben, bevor Ausgangssituation, Motivation, Handlungsbedarf und daraus resultierend ein dreistufiger Lösungsansatz vorgestellt wurden.

In Kapitel 2 wurden erforderliche Grundlagen für den Kontext der Arbeit beschrieben und wichtige Begriffe definiert und voneinander abgegrenzt. Des Weiteren wurde die Notwendigkeit eigener Forschungsaktivitäten beschrieben. Im folgenden Kapitel 3 wurde der aktuelle Stand der Forschung im Bereich der natürlichen Benutzungsschnittstellen und des Interaktionsdesigns vorgestellt. Mit den Resümées wurde der Handlungsbedarf weiter untermauert. In der Forschung erworbenes Design-Wissen ist meist in wissenschaftlichen Publikationen oder in Design-Guidelines als ausführliche textuelle Beschreibung festgehalten und so schwer zugänglich. Daher ergibt sich als Handlungsbedarf eine einheitliche, strukturelle Beschreibungen zu erschaffen und einen Prozess des Interaktionsdesigns zu entwickeln, der das Design-Wissen für verschiedene Personengruppen einfach zugänglich macht. Des Weiteren wurde motiviert, dass natürliche Benutzungsschnittstellen auch für koaktive Szenarien aufgrund des positiven Einflusses auf die Awareness oft besonders gut geeignet sind. Der Prozess des Interaktionsdesigns sollte daher auch solche Szenarien abbilden können.

Das Vorgehen wurde in fünf Phasen unterteilt, die im anschließenden Kapitel 4 näher beschrieben wurden. Hierzu wurden zunächst Charakteristika und qualitative Parameter definiert und die Möglichkeit der Klassifizierung und einfachen textuellen Beschreibung erläutert. Mit Hilfe der in Abschnitt 4.2 vorgestellten Taxonomie lassen sich natürliche Benutzungsschnittstellen hierarchisch in verschiedene Komponenten unterteilen. Komponenten auf gleichen Ebenen in der Hierarchie lassen sich so vergleichen (siehe [Buxton, 1983]), was die Eignung unterschiedlicher Komponenten möglich macht. Komponenten sind austauschbar, beschreibbar und somit für eine Suche geeignet. Ferner können sie als eigenständige Softwaremodule realisiert werden. Die Taxonomie ist unabhängig von der Anwendungsdomäne,

der verwendeten Programmiersprache der interaktiven Anwendung und von der Technologie, auf der die zugehörige Hardware basiert. Komponenten der Taxonomie können kombiniert mit den Charakteristika der Anwendung und mit qualitativen Parametern auf Basis von Studienergebnissen bewertet werden. Dies ist der entscheidende Mehrwert zu existierenden Interaktionstaxonomien, die keine Verbindung zu Evaluierungsverfahren haben. Ein Bewertungsschema, das auch die technologischen Anforderungen die durch die Kombinationen entstehen, berücksichtigt und das durch Algorithmen automatisierbar ist, wurde in den weiteren Abschnitten des Kapitels vorgestellt. Es entstehen daher einheitliche Kriterien, die ein Interaktionsdesign bewertbar machen, wie in [Herczeg, 2006] gefordert. Durch das umgesetzte und im Detail ausgearbeitete Konzept wurden in diesem Kapitel die ersten beiden Stufen des Ansatzes beschrieben und ihre Umsetzbarkeit dargelegt.

In Kapitel 5 wurden die prototypischen Implementierungen, die die Realisierbarkeit des Konzeptes aufzeigen, vorgestellt. Hierzu gehört zum einen coaNUI, ein Software-Framework und Hardwarekomponenten, die zum Rapid Prototyping von natürlichen Benutzungsschnittstellen verwendet werden können. Mit coaNUI können auf schnelle und einfache Art und Weise Interaktionsstudien durchgeführt werden, deren Ergebnisse für das konzipierte Auswahlverfahren von Interaktionstechniken verwendet werden können. Zum anderen gehört zur prototypischen Implementierung das Auswahlwerkzeug, welches die einzelnen Schritte des Interaktionsdesigns aus Kapitel 4 abdeckt und somit das Suchen von Design-Alternativen zu einer konkreten Interaktionsaufgabe ermöglicht. Dieses Werkzeug zeigt die Realisierung von Stufe 3 des Lösungsansatzes auf und komplettiert ihn damit.

Nachdem die Umsetzbarkeit des dreistufigen Lösungsansatzes damit gezeigt wurde, wurden die einzelnen Schritte des Verfahrens, sowie die prototypischen Implementierungen in Kapitel 6 kritisch gewürdigt. Hierzu wurden jeweils die resultierenden Vor- und Nachteile beschrieben und einander gegenübergestellt. Die Vorteile zeigen dabei auf, dass die in Abschnitt 1.2 aufgestellten Ziele der Arbeit erreicht wurden. Die Nachteile werden im anschließenden Abschnitt erneut aufgegriffen. Hier wird beschrieben, wie diese in zukünftigen Forschungsaktivitäten adressiert und beseitigt werden könnten.

## 7.2 AUSBLICK

*Sprachliche  
Beschreibungen*

In diesem Abschnitt wird ein Ausblick auf Forschungsfragen gegeben, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht adressiert wurden, da sie nicht die Kernfragestellung betreffen, die bei der Bearbeitung des Themas neu entstanden oder an Bedeutung gewannen, sowie solche, die interessante Anknüpfungspunkt für zukünftige Arbeiten bieten. Spannend dürfte vor allem die Frage nach der sprachlichen Beschreibung von Komponenten, Charakteristika und Parameter sein. Werden hier unterschiedliche Bezeichnungen für die selbe Interaktion oder Eigenschaft verwendet, treten Redundanzen auf, die sich negativ auf das Auswahlverfahren auswirken können. Hier ergeben sich Überschneidungen mit anderen Wissenschaften und es existiert Bedarf an klaren Vorgaben. Einige Taxonomien aus der Literatur arbeiten bereits mit solchen Vorgaben, indem sie für höher gelegene Komponenten Namen vorgeben (siehe beispielsweise [Bowman and Hodges, 1997]). Diese gehen aber nicht tief genug, um auch kleine Interaktionsvorgänge eindeutig zu benennen. Um die Zuverlässigkeit des Auswahlverfahrens zu gewährleisten ist der Einsatz von menschlichen Gutachtern insbesondere zu Beginn der Datenerfassung sinnvoll. Dies verringert die Anzahl von redundanten Komponenten und Ergebnissen.

*Konfigurationskonflikte*

Das automatisierte Auffinden von Konfigurationskonflikten ist ein weiterer interessanter Punkt für weitere Forschungsarbeiten. Konfigurationskonflikte lassen sich im vorgestellten Verfahren mit Hilfe der Charakteristika beschreiben. Ein Konfigurationskonflikt taucht auf, wenn bestimmte Charakteristika miteinander kombiniert werden. Oftmals sind diese offensichtlich und können durch Angabe von Eigenschaften bestimmter Technologien einfach entdeckt werden, beispielsweise, wenn mehrere Technologien sich negativ auswirkende Interferenzen produzieren. Konfigurationskonflikte können aber auch durch Handlungen der Anwender entstehen. Solche Konflikte werden für gewöhnlich durch Interaktionsstudien entdeckt und könnten daher durch Erweiterungen des Auswahlwerkzeugs in das Verfahren integriert werden.

*Taxonomien*

In Unterabschnitt 3.4.1 wurden existierende Taxonomien aus der Literatur vorgestellt, die nicht allein den Eingabeteil einer Interaktion beschreiben. Beispielsweise stellt die Taxonomie von Shneiderman [Shneiderman, 1996] eine abstraktere Betrachtungsweise dar, als die in dieser Arbeit entwickelte Taxonomie. Während Shneiderman einzelne Schritte der Interaktion klassifiziert (beispielsweise *Zoom* oder *Filter*), bleibt die konkrete Realisierung hier zunächst offen. Wie genau ein *Zoom* realisiert ist und welche einzelnen Schritte in welcher Reihenfolge wie realisiert werden sollen, kann hingegen mit der hier vorgestellten Taxonomie abgebildet werden. Hingegen ist mit der hier entwickelten Taxonomie keine Aussage über die Eignung der Reihenfolge verschiedener Interaktionstasks möglich. Eine Kombination mit

solchen Taxonomien oder Gebrauchsmuster, die ebenfalls die Ausgabe eines interaktiven Systems betrachten, würde es zukünftig folglich erlauben, die Vorgehensweise bei der Verwendung eines interaktiven Systems vollständig abzubilden. Das abstrakte Vorgehen, die konkrete - auch technologische - Realisierung, als auch der Ausgabeteil der Interaktion könnten abgebildet werden. Somit ließen sich Interaktionen vollständig beurteilen. Jedoch bedarf es einer umfassenden Analyse- und Datenverwaltungsarbeit bis zu einem solchen Verfahren.

Die mögliche Integration des hier vorgestellten Verfahrens in den Prozess der menschenzentrierten Gestaltung nach ISO 9241-210 wurde in Unterabschnitt 4.5.2 beschrieben. Es wurde argumentiert, dass die notwendige Anzahl der Iterationen gesenkt werden kann, da die Qualität des Erstentwurfs gesteigert werden kann. Diese Aussage bedarf einer nachhaltigen Beweisführung, die nur durch langzeitliche Integration dieses Prozesses in reale Fertigungsabläufe zu erlangen ist. Selbiges gilt für die Aussage, dass neuartige Interaktionsformen leichter in reale Produkte auf dem Markt überführt werden können.

*Integration in UE  
Prozesse*



## DURCHGEFÜHRTE STUDIEN

---

Um einem Interaktionsdesigner bei der Entscheidungsfindung zu einem Interaktionsproblem behilflich zu sein, bedarf es zahlreicher Ergebnisse aus Studien, die die *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* von *Interaktionstasks* bewerten. Solche Studien existieren zahlreich in der Literatur. Im Rahmen dieser Arbeit wurden einige eigene Studien konzipiert, durchgeführt und die Ergebnisse in das in Abschnitt 4.3 vorgestellte Bewertungsschema überführt und in das Auswahlwerkzeug Abschnitt 5.2 eingetragen. Die meisten dieser Studien waren Inhalte von studentischen Abschlußarbeiten und wurden anschließend zu wissenschaftlichen Publikationen aufbereitet. Die hier vorgestellten Studien füllen signifikante - jedoch bei weitem nicht alle - Lücken in der Untersuchung zu Interaktionsproblemen mit natürlichen Benutzungsschnittstellen. Nachfolgend werden Studien zu 3D-Multitouchtechniken, berührungsloser VR Interaktion, sowie 3D-Interaktion über (be-)greifbare Objekte vorgestellt. Es erfolgt jeweils zunächst die Beschreibung des Systemaufbaus und der Interaktionsaufgabe woraus sich für die Taxonomie neue *Interaktionstasks* sowie Charakteristika zur Beschreibung ergeben. Anschließend werden die Ergebnisse der Studie beschrieben und in das Bewertungsschema überführt. Die in das Auswahlwerkzeug eingepflegten Bewertungen befinden sich in Abschnitt B.1 ab Seite 185.

### A.1 3D-MULTITOUCH STUDIE AN EINEM INTERAKTIVEN TISCH

Wie bereits in Unterabschnitt 3.3.1 dargelegt wurde, existieren zahlreiche Studien und Ansätze zur Manipulation von dreidimensionalen Grafikobjekten mit Hilfe interaktiver Displays und Multitouch-Gesten. Ziel der hier vorgestellten Studie war es, die recht komplexen Gesten aus existierenden Ansätzen (unter anderem [Hancock et al., 2009] und [Reisman et al., 2009]) zu vereinfachen und insbesondere Anwendern, die mit dieser Interaktionsaufgabe keine Erfahrungen besitzen, ohne lange Lernphase zur Verfügung zu stellen.

Die Studie wurde am interaktiven Tisch useTable (siehe Unterabschnitt 5.1.1 auf Seite 136) durchgeführt. Aufgabe jeder Testperson war es, mit Hilfe von drei verschiedenen Techniken einen 3D-Docking-Test durchzuführen, bei dem ein Tetraeder so verschoben und gedreht werden musste, dass seine Position und Orientierung mit einem Vorgegebenen übereinstimmen (siehe Abbildung 49, links). Die drei Techniken wurden von allen sechs Testpersonen (fünf männlich, eine weiblich, 21-40 Jahre, alle mit guter PC-Erfahrung aber kaum Erfahrung mit 3D

*Gegebenheiten und  
Systemaufbau*

Interaktionstechniken) in alternierender Reihenfolge durchgeführt, um Lerneffekte zu vermeiden. Die Abstände zwischen Start- und Zieltetraeder waren jeweils identisch und vor jedem Durchgang musste jeder Teilnehmer ohne Hilfestellung herausfinden, wie die jeweilige Technik funktioniert. Zu jeder Technik mussten zwei Docking-Aufgaben erfüllt werden mit unterschiedlichen Startpositionen und -orientierungen. Es ergeben sich aus diesem Systemaufbau die folgenden konfliktlosen Charakteristika, die in die in Unterabschnitt 4.1.2 beschriebenen Klassen eingeteilt wurden:

- User:TaskExperience:Low
- Application:Data:3D
- System:DisplayAlignment:Horizontal

Sie beschreiben den Versuchsaufbau, bei dem dreidimensionale Daten (*Application:Data:3D*) auf einem Tischdisplay (*System:DisplayAlignment:Horizontal*) von für diese Aufgabe unerfahrenen Anwendern (*User:TaskExperience:Low*) manipuliert werden müssen.

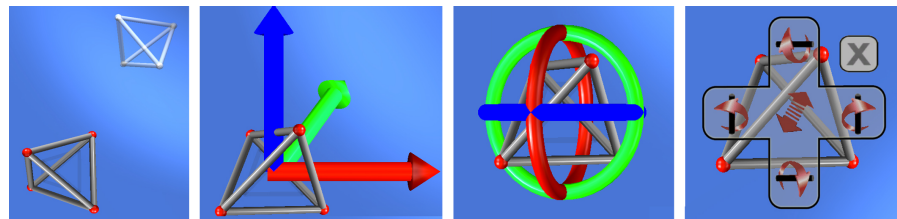


Abbildung 49: 3D-Multitouchtechniken (v.l.n.r.) - Docking Task, 3D-Widget zur Translation, 3D-Widget zur Rotation und 3-Touch-Widget

#### Interaktionstask

Die drei Interaktionstechniken, die jedem Anwender zur Verfügung standen waren [*Simple 6DOF Multitouch*], [*3D Translation / Rotation Widgets*] und [*3-Touch Translation/Rotation Widget*]. Diese wurden in der Taxonomie als *Interaktionstechniken* festgelegt, wie in Abbildung 50 zu sehen ist. Dabei wurde die Technik [*Simple 6DOF Multitouch*] allgemein als [*6DOF Multitouch*] bezeichnet, um im weiteren Verlauf andere konkrete Realisierungen dieser Technik zu integrieren, die die gleiche Abfolge der Subtasks besitzen. Die weitere Aufteilung des *Interaktionstasks* befindet sich in Abbildung 51 bis Abbildung 53.

Bei der [*6DOF Multitouch*] Technik kann das Grafikobjekt mit einem Finger entlang aller drei Koordinatenachsen verschoben werden. Berührt der Anwender die das Grafikobjekt repräsentierende Stelle des Multitouch-Bildschirms, so bestimmt die Richtung seiner Fingerbewegung die Richtung der Translation. Eine horizontale Bewegung (gemäß der Tischkanten) resultiert in einer Verschiebung entlang der globalen x-Achse der 3D-Szene und bei einer vertikalen Bewegung erfolgt die Translation entlang der y-Achse. Das Grafikobjekt bleibt dabei direkt unter dem Finger des Anwenders. Um eine Translation



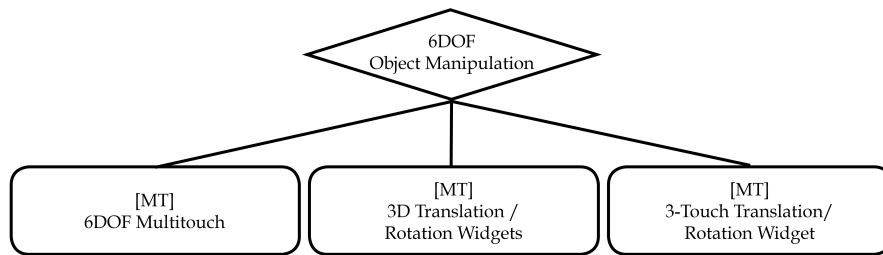


Abbildung 50: Aufbau des *Interaktionstasks* zur Multitouchinteraktion mit dreidimensionalen Daten

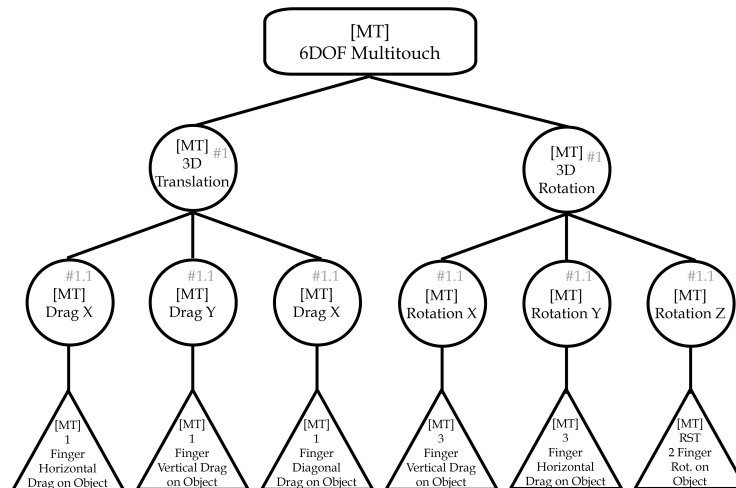


Abbildung 51: Aufbau der *Interaktionstechnik* [6 DOF Multitouch]

entlang der z-Achse durchzuführen, muss der Anwender eine diagonale Verschiebe-Geste durchführen. Für die Rotation um die z-Achse wird der Rotationsteil der RNS-Geste (siehe Abbildung 9 auf Seite 59) angewendet und für die Rotation um die x- und y-Achse wird der von Hancock et al. entwickelte 3-Finger-Rotationstechnik verwendet (siehe Abbildung 10 auf Seite 60). Da diese Interaktion insgesamt mit weniger Fingerberührungen auskommt, als die erwähnten existierenden Techniken, wurde die Hypothese aufgestellt, dass diese Technik von unerfahrenen Anwendern einfacher anzuwenden ist. Die *Interaktionstechnik* [6DOF Multitouch] wird in Abschnitt A.3 um weitere *Interaction Components* ergänzt, siehe Abbildung 64.

Die *3D Translation / Rotation Widgets* Technik (siehe Abbildung 49 Bild 2 und 3 v.l.) orientiert sich an bekannten 3D-Widgets aus Modellierungs- und 3D-Autorenwerkzeugen. Für die Translation werden virtuelle Pfeile entlang der globalen Koordinatenachsen eingeblendet, für die Rotation Ringe. Ein einfaches 1-Finger-Ziehen entlang der Pfeile oder Ringe resultiert in einer Translation bzw. Rotation gemäß der gewählten Achse. Als *Interaction Components* können daher hier die 1-Finger-Drag Komponenten, die bereits für die [6DOF Multitouch] Technik definiert wurden (siehe Abbildung 51) wiederverwendet werden (sie-

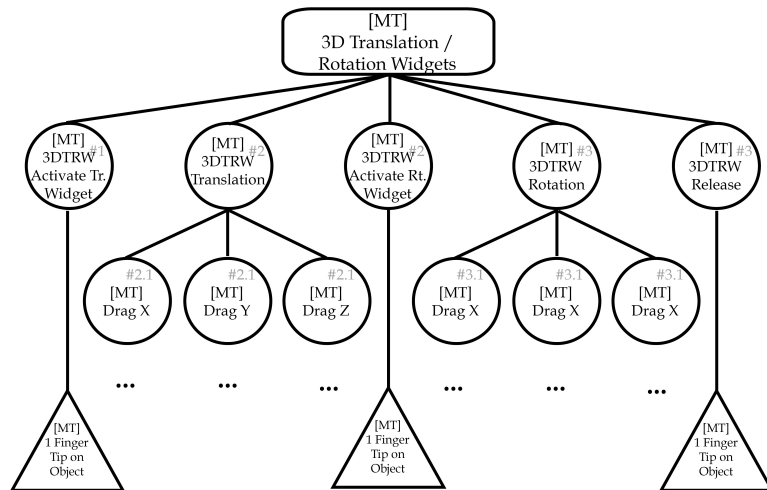


Abbildung 52: Aufbau der *Interaktionstechnik* [3D Translation/Rotation Widgets]

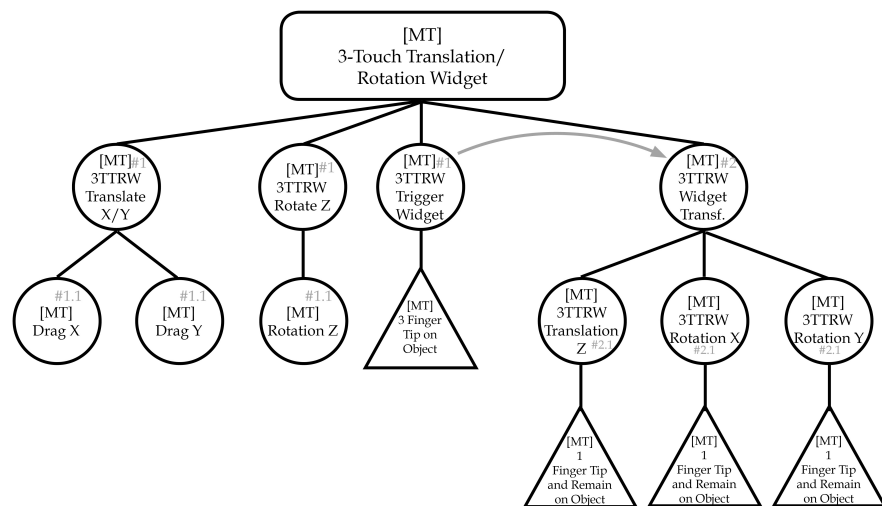


Abbildung 53: Aufbau der *Interaktionstechnik* [3-Touch Translation/Rotation Widget]

he Abbildung 52). Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass diese Technik gut geeignet ist für Anwender mit wenig Erfahrung bezüglich 3D und Multitouch, da diese oder ähnliche Widgets aus vielen Anwendungen bekannt sind.

Bei der [3-Touch Translation/Rotation Widget] Technik (Abbildung 50, rechts) wurde zum einen der Rotation- und Translationsteil der RST-Geste übernommen [Reisman et al., 2009]. Für die Translation entlang der z-Achse, sowie für die Rotation um die x- und y-Achse wurde ein 2D-Overlay-Widget konstruiert, welches durch eine Berührung des Grafikobjektes mit drei Fingern gleichzeitig erscheint. Für jede Funktion ist ein Button hinterlegt, der in einer Verschiebung bzw. Drehung resultiert. Verweilt ein Finger auf einem Button, so erfolgt eine kontinuierliche Bewegung. Die zugehörige *Interaktionstechnik*

mit *Subtasks* und *Interaction Components* ist in Abbildung 53 zu sehen. Abbildung 54 zeigt die Ergebnisse der Zeitmessung für die Absolvierung der Interaktionsaufgaben durch die Testpersonen. Es wird deutlich, dass die [3D Translation / Rotation Widget] Technik am intuitivsten nutzbar ist, da für sie deutlich weniger Zeit benötigt wurde, um die Funktion ohne Anleitung herauszufinden. Jedoch ist sie im anschließenden Docking-Test die langsamste und sie erweist auch keine Effektivitätssteigerung im zweiten Durchgang auf (angegeben durch -Avg. Time Saving During Task-). Die [6DOF Multitouch] Technik erfordert die längste Lernphase, wofür vor allem die Rotationsgesten mit drei Fingern verantwortlich waren. Sie weist dafür aber eine deutliche Effektivitätssteigerung im zweiten Durchgang auf. Die [3-Touch Translation/Rotation Widget] Technik benötigt durchschnittlich lange Lernzeit im Vergleich zu den anderen Techniken, weist aber eine gute Effektivitätssteigerung und die beste Durchschnittszeit auf. Allerdings hat diese Technik eine längere Minimaldauer für die Absolvierung, da die Widget-Buttons bei kontinuierlicher Betätigung in einer vorgegebenen Maximalgeschwindigkeit für Rotation und Translation resultieren, die geringer als die Maximalgeschwindigkeit von Drag-Gesten ist. Die *Interaction Component* [3-Finger Tip] war des Weiteren nicht intuitiv verwendbar und könnte durch eine einfachere Geste ersetzt werden, zum Beispiel einem Verweilen mit einem Finger auf dem Objekt über einen längeren Zeitraum. Für den Gesamtkontext, der dreidimensionalen Daten, taskunerfahrene Nutzer und ein horizontales Display beinhaltet, ist diese Technik jedoch die beste der drei getesteten. Die drei getesteten *Interaktionstechniken* werden unter Berücksichtigung der Charakteristika Speed, Robustness, Intuitiveness und Precision anhand der Testergebnisse wie in Tabelle 15 auf Seite 186 dargestellt übernommen.

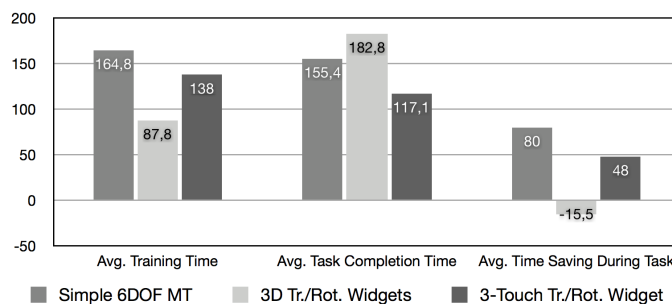


Abbildung 54: Ergebnisse der Zeitmessung der 3D-Multitouch Studie

Weitere Details zu dieser Studie finden sich in [Klompmaier and Nebe, 2010]. Die erstellte Taxonomie bildet lediglich exakt die hier vorgestellten Techniken ab. Dadurch ergeben sich auf Ebene der *Interaction Components* zunächst keine Auswahlmöglichkeiten, da in dieser Studie nur auf Ebene der *Interaktionstechniken* unterschieden und getestet

wurde. Die Taxonomie ist jedoch an jeder Stelle beliebig erweiterbar und weitere *Interaction Components* sind leicht integrierbar, wie im Folgenden gezeigt wird. Auch wenn an dieser Studie nur wenige Testpersonen teilnahmen, so sind die Tendenzen eindeutig und für die Bewertung der Komponenten zunächst ausreichend.

## A.2 STUDIE ZU BERÜHRUNGSLOSER VR-INTERAKTION

### Gegebenheiten und Systemaufbau

In diesem Abschnitt wird eine Studie präsentiert, die im Rahmen der von mir betreuten Masterarbeit von Alexander Dridger [Dridger, 2012] durchgeführt wurde und es werden resultierende Komponenten der aufgestellten Taxonomie gemäß der Studienergebnisse bewertet.

An der Studie nahmen zehn Testpersonen im Alter von 24 bis 35 Jahren teil. Es wurde ein tiefenkamerabasiertes Erkennungsverfahren für Ganzkörper- und Handinteraktionen umgesetzt und zwei verschiedene Interaktionskonzepte zur Navigation und Manipulation in dreidimensionalen Räumen wurden getestet. Die meisten Anwender hatten geringfügige Erfahrung mit 3D Programmen, aber nicht mit Ganzkörperinteraktionen. Bezüglich der Navigation mussten verschiedene Stationen in einer virtuellen Welt angesteuert werden, dessen Position den Probanden verbal beschrieben wurde. Des Weiteren musste ein Slalomkurs absolviert werden (siehe Abbildung 55, links). Um die Manipulation zu testen mussten die Testpersonen eine Sortieraufgabe (siehe Abbildung 55, mitte) und eine einfache *Türme von Hanoi* Aufgabe lösen (siehe Abbildung 55, rechts). Die virtuelle Umgebung wurde auf einer ca. 3m x 2m großen vertikalen Projektionsfläche angezeigt, die sich ca. 4m vom Anwender entfernt befand. Dabei wurde die Zeit gemessen und es wurden Fehler gezählt und dokumentiert. Schließlich wurde eine Usability-Befragung durchgeführt. Es ergeben sich aus diesem Systemaufbau die folgenden konfliktlosen Charakteristika, die in die in Unterabschnitt 4.1.2 beschriebenen Klassen eingeteilt wurden:

- User:TaskExperience:Low
- Application:Data:3D
- System:DisplayAlignment:Vertical
- System:DisplaySize: VeryLarge

### Interaktionstask

Es ergeben sich aus der Aufgabenstellung für die Interaktionstaxonomie zwei *Interaktionstasks*: [2D Camera Control] und [6DOF Object Manipulation]. [2D Camera Control] meint die Bewegung der Kamera auf einer planaren Fläche sowie die Rotation um die eigene Achse, wie es einem an die Schwerkraft gebundenen Menschen in der Realität entspricht, der seinen Oberkörper nur nach links und rechts drehen

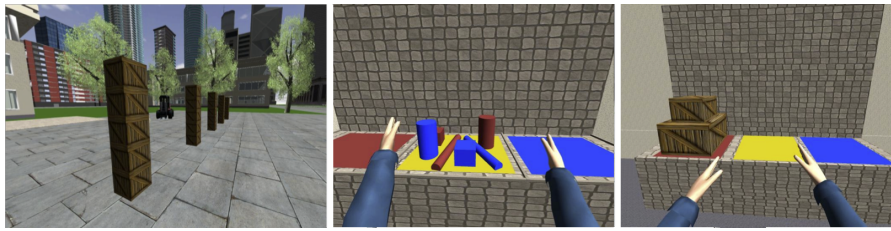


Abbildung 55: Berührungslose VR-Interaktion (v.l.n.r.) - Slalom Parcours, Sortieraufgabe und Türme von Hanoi

kann, nicht aber nach oben und unten. Obwohl in einem dreidimensionalen Raum interagiert wird, sind folglich lediglich drei Freiheitsgrade zu manipulieren. Der *Interaktionstask 6DOF Object Manipulation* wurde bereits in vorigen Abschnitt beschrieben. Hier wird er um einen neuen *Interaktionstechnik* erweitert. Abbildung 56 zeigt die *Interaktionstasks* und *Interaktionstechniken*, die zu dieser Studie gehören. In Abbildung 57 und Abbildung 58 werden die *Interaktionstechniken* im Detail dargestellt.

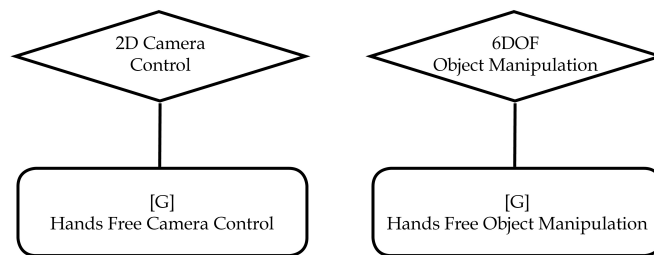


Abbildung 56: Aufbau des *Interaktionstasks* zur berührungslosen VR-Navigation und Manipulation

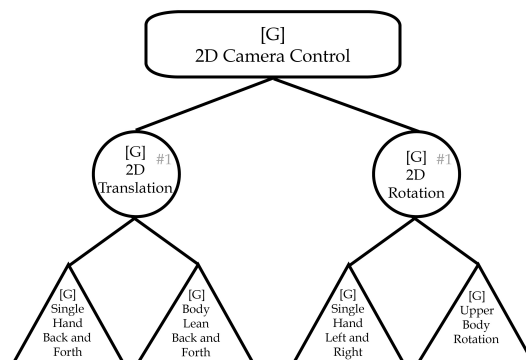


Abbildung 57: Aufbau der *Interaktionstechnik* Hands Free Camera Control

Für die *Interaktionstechnik [Hands Free Camera Control]* ergeben sich die *Subtasks [2D Translation]* und *[2D Rotation]*, die nebenläufig ausgeführt werden können (siehe Abbildung 57). Es standen den Anwendern zwei verschiedene Konzepte zur Verfügung, weshalb jeder *Subtask* zwei *Interaction Components* zur Auswahl anbietet: Virtual Hand und Cursor.

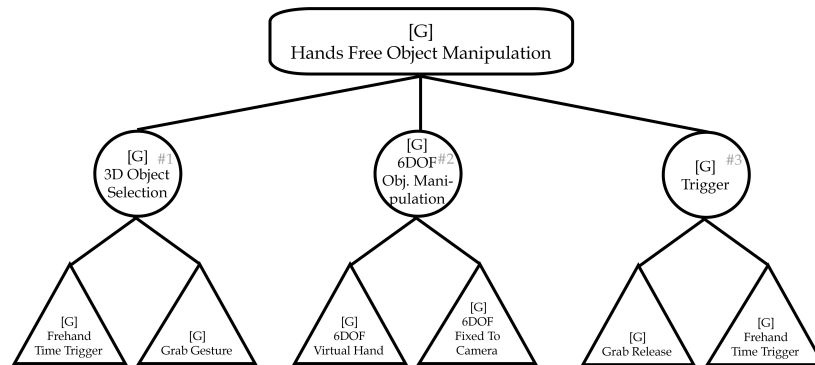


Abbildung 58: Aufbau der Interaktionstechnik Hands Free Object Manipulation

Für die Translation steht bei der Virtual Hand Methode eine Handbewegung nach vorne und zurück zur Verfügung (*Interaction Component [Single Hand Back and Forth]*) sowie ein nach vorne bzw. hinten Lehnen des Oberkörpers (*Interaction Component [Body Lean Back and Forth]*) für die Cursor Methode. Für die Rotation wurden analog zu den beiden Konzepten eine Bewegung einer Hand nach links bzw. rechts (*Interaction Component [Single Hand Left and Right]*) für Virtual Hand sowie eine Drehung des Oberkörpers (*Interaction Component [Upper Body Rotation]*) für Cursor realisiert.

Die Objektmanipulation folgt einem sequentiellen Ablauf von *Subtasks*. Zuerst erfolgt die Selektion des zu manipulierenden Objektes, dann die eigentliche Manipulation und zum Abschluss eine Bestätigung (Trigger). Dies ist in Abbildung 58 zu sehen. Zum einen steht für die Selektion ein auf Ray Tracing und Fadenkreuz (Cursor) basierendes Verfahren zur Verfügung, das auswählbare Objekte im statischen 2D Fadenkreuz optisch hervorhebt. Hier erfolgte die Selektion durch ein längeres Verweilen mit dem Cursor über dem 3D-Objekt (*Interaction Component [Freehand Time Trigger]*). Zum anderen wurde die Virtual Hand Metapher umgesetzt, die die reale Handbewegung des Anwenders auf eine Virtuelle überträgt. In diesem Fall wird durch eine Greifgeste der Finger das Objekt selektiert (*Interaction Component [Grab Gesture]*). Identisch ist es beim Trigger, hier wird durch das Verlassen der Greifgeste (*Interaction Component [Grab Release]*) das selektierte Objekt losgelassen oder erneut durch *Freehand Time Trigger*. Für die eigentliche Manipulation stehen ebenfalls zwei Ansätze zur Verfügung. Das Virtual Hand Verfahren überträgt die Bewegung und Drehung der realen Hand auf das virtuelle Objekt (*Interaction Component [6DOF Virtual Hand]*) während bei der Cursor-Variante das Objekt an die virtuelle Kamera gehängt wird und sich immer direkt vor dem Fadenkreuz befindet. Das Objekt folgt nun der Kamerabewegung, die der Anwender ausführt (*Interaction Component [6DOF Fixed to Cam.]*).

Die Abbildungen 59 bis 62 zeigen die Ergebnisse der Zeit- und Fehlermessungen der beschriebenen *Interaktionstechniken*. Wie zu sehen ist, wurde zu Vergleichszwecken auch eine Interaktionstechnik mit einem Gamepad getestet. Die Ergebnisse wurden für die Evaluierung der Interaktionstechniken im Rahmen dieser Arbeit aber nicht berücksichtigt, da es sich nicht um eine natürliche Benutzungsschnittstelle handelt. Es wird deutlich, dass die Navigationsaufgaben (Slalom und Navigation) mit der Hand-Zeige-Gesten schneller ausgeführt werden konnten, als mit den ganzkörperbasierten Neige- und Drehgesten. Die Fehleranfälligkeit ist bei beiden Techniken vergleichbar niedrig. Bzgl. der Manipulation ist zu erkennen, dass beide Konzepte (Virtual Hand und Cursor) lange Zeit für das Erfüllen der Aufgaben (Sortieren und Türme von Hanoi) erfordern und mit einer hohen (Cursor) bis sehr hohen (Virtual Hand) Fehlerrate einhergingen. Dies ist hauptsächlich Fehlern im Erkennungssystem mit einer einzelnen Tiefenkamera zuzuschreiben. Auch wenn in Zukunft Hardware mit höherer Auflösung und die Möglichkeit der Kombination verschiedener Kamerablickwinkel zur Verfügung stehen, werden Verdeckungsprobleme sowie Erkennungsprobleme der Handrotationen und Fingergesten stets ein Problem bleiben.

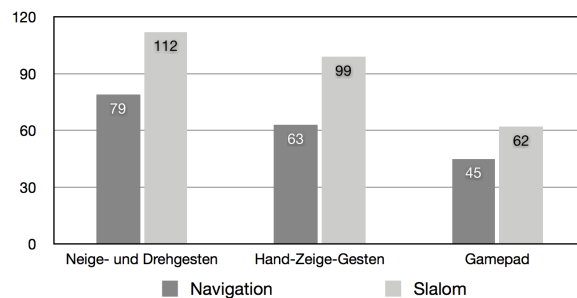


Abbildung 59: Ergebnisse der Zeitmessung der berührungslosen Travektechniken (Angaben in Sekunden)

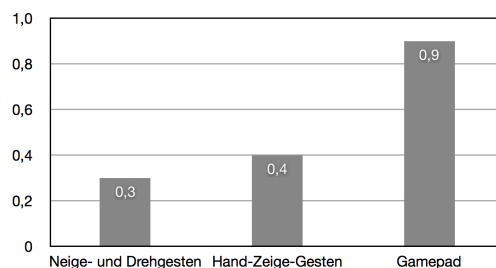


Abbildung 60: Ergebnisse der Fehlermessung beim berührungslosen Slalom-Parcours

Aus den Zeit- und Fehlermessungen resultieren die in Tabelle 20 auf Seite 190 aufgelisteten Bewertungen der *Interaktionstechniken* mit den genannten Charakteristika und den qualitativen Parametern Speed, Precision, Robustness und Intuitiveness (die Bewertungen zu Intui-

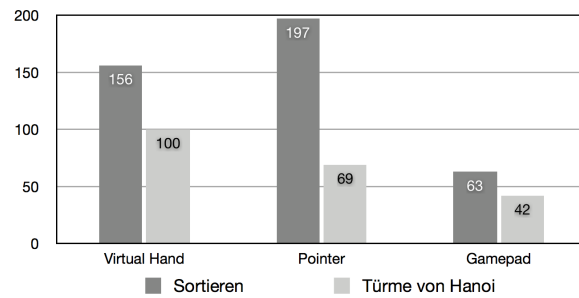


Abbildung 61: Ergebnisse der Zeitmessung der berührungslosen 6DOF Manipulation (Angaben in Sekunden)

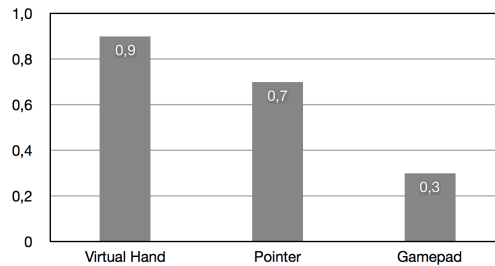


Abbildung 62: Ergebnisse der Fehlermessung bei der berührungslosen Sortieraufgabe

tiveness resultieren aus den Ergebnissen der Usability-Befragung). Die *Interaction Components* wurden auf Basis der Studienergebnisse wie in Tabelle 21 bis Tabelle 23 ab Seite 191 angegeben bewertet.

Während die Handbewegungs-Interaktionen sich als sehr schnell erwiesen waren die Körperneigungs- und Drehgesten bei vergleichbarer Fehleranfälligkeit etwas langsamer. Die Greifgesten zur Selektion und De-Selektion wurden in Bezug auf die Geschwindigkeit mit \*\* bewertet, da sie von allen Testpersonen sehr schnell verstanden und ausgeführt wurden. Bzgl. der Präzision sind sie jedoch weniger geeignet, da sie mit einem hohen Exit Error (vgl. Unterabschnitt 4.2.3, Seite 108) und vielen Erkennungsfehlern einhergehen. Für diese Geste wurde daher die Technische Anforderung *Hand Gesture Recognition* eingeführt (siehe Tabelle 11 auf Seite 122), die beschreibt, dass neben der Körper- und Armgestenerkennung auch eine robuste Hand- und Fingergesten-Erkennung vorhanden sein muss, was beim heutigen Stand der Technik mit berührungsloser Technologie und niedriger Instrumentierung nur schwer umzusetzen ist. Die *[Freehand Time Trigger]* Geste ist bezüglich der Genauigkeit besser geeignet, hat dafür aber Schwächen bei der Zeit, da sie ein längeres Verweilen des Armes verlangt. Die Bewertungen von Freehand Timer Trigger sind bzgl. Geschwindigkeit und Präzision nicht von den Charakteristika abhängig, sondern allgemeingültig. Bezüglich der eigentlichen Manipulation hat sich die Virtual Hand Metpaher als schnell aber fehleranfällig erwiesen, die Fixed to Cam Technik schnitt in beiden Punkten relativ gut ab. über die *Interaction Component [6DOF Fixed to Cam]* kann



kaum eine Bewertung getroffen werden, da sie ausschließlich von der eingesetzten Technik zur Kameramanipulation abhängig ist.

Aus der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Usability-Befragung ging allgemein eine sehr gute Immersion für fast alle Techniken hervor, weshalb Immersion als zusätzlicher qualitativer Parameter aufgenommen wurde und in den meisten Fällen die Wertung \*\* bekam. Eine Ausnahme ist die *Interaction Component [6DOF Fixed to Cam]* für die Manipulation und die *Interaction Component [Freehand Time Trigger]*. Da diese nicht physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgen wurden sie von den Testpersonen als weniger intuitiv und die User Experience als geringer eingeschätzt. Diese *Interaction Components* wurden daher mit \* bewertet.

Alle Bewertungen finden sich in Abschnitt B.1, in den Tabellen 20 bis 24 ab Seite 190.

Details zu dieser Studie sind in [Klompaker et al., 2012a] nachzulesen. Da bei der in diesem Abschnitt aufgestellten Taxonomie verschiedene Metaphern nicht durch *Interaktionstechniken* getrennt wurden, sondern auf Ebene der *Interaction Components* (dies verhindert Redundanzen und ist möglich, da die Abfolge der *Subtasks* identisch ist), werden hier auch Beziehungen von *Interaction Components* untereinander erforderlich. In Tabelle 24 auf Seite 193 sind die Bewertungen der Koexistenzen aufgelistet, zu denen aus der vorgestellten Studie eine Aussage gemacht werden kann. Dies bezieht sich lediglich auf die *Interaction Components* der Hand-Navigation, da die vor/zurück bzw. links/rechts Bewegungen sehr gut miteinander kombinierbar waren. Andere Kombinationen dürften deutlich ungünstiger sein, dies bedarf aber weiterer Nachforschung. Auch die Koexistenz der Körperneigungs- und Drehgesten kann nicht bewertet werden, ohne sie zunächst mit anderen Kombinationen zu vergleichen. So könnte beispielsweise eine Kombination mit einer Armbewegungs-*Interaction Component* auch in sehr guten Ergebnissen resultieren.

Verwertung

### A.3 STUDIE ZU (BE-)GREIFBAREN INTERAKTIONEN IN 3D

Dieser Abschnitt beschreibt eine Studie, in der drei Interaktionstechniken zur Manipulation von 3D Objekten auf einem interaktiven Tisch verglichen wurden. Die Studie wurde im Rahmen der von mir betreuten Masterarbeit von Julien Eschenlohr [Eschenlohr, 2012] durchgeführt.

Es wurde eine Multitouch-Technik ([*Opposable Thumbs*]) sowie zwei (be-)greifbare Techniken ([*2x3DOF Surface Object*] und [*2x3DOF 3D Orientation*], die auch eine Multitouchkomponente enthält) getestet. Als *Interaktionstask* wird hier der bereits beschriebene Task [*6DOF Object Manipulation*] um neue *Interaktionstechniken* erweitert (siehe Abbildung 63). Für die *Opposable Thumbs* Technik wurde die bereits in Abschnitt A.1 beschriebene *Interaktionstechnik* [[MT] 6DOF Multitouch]

Gegebenheiten und Systemaufbau

um neue Komponenten erweitert. Es nahmen sechs Personen am ersten Teil der Studie teil, in der ein Docking-Task durchgeführt werden musste, bei dem ein 3D-Objekt deckungsgleich mit einem anderen sein musste. Die Probanden hatten lediglich geringe Erfahrung mit 3D-Programmen. Es ergeben sich die folgenden Charakteristika:

- User:TaskExperience:Low
- Application:Data:3D
- System:DisplayAlignment:Horizontal

Die Interaktionsaufgabe für die Probanden wurde in sechs Abschnitte unterteilt. In Task 1 (T1) musste das 3D Objekt lediglich entlang der x-Achse verschoben werden, in T2 entlang der x- und y-Achse und in T3 lediglich entlang der z-Achse. T4 erforderte eine Rotation um die z-Achse und in T5 musste entlang aller drei Achsen rotiert werden. Erst T6 erforderte alle sechs Translations- und Rotationsbewegungen.

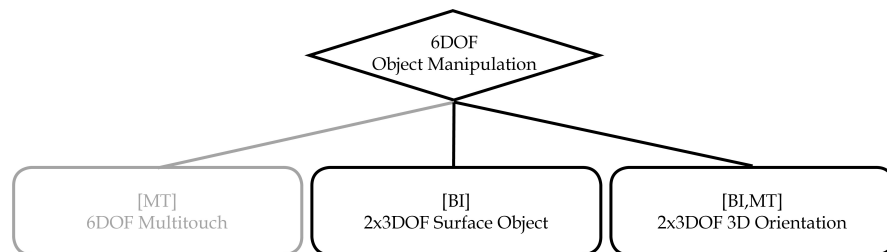


Abbildung 63: Aufbau des *Interaktionstasks* zur Studie mit (be-)greifbaren Interaktionstechniken

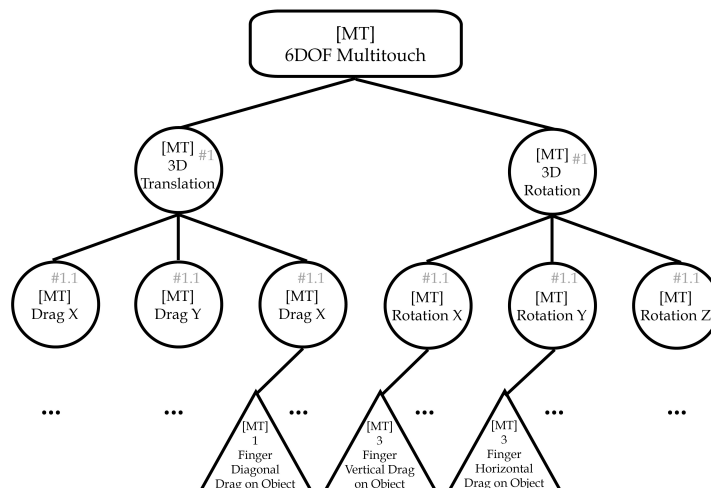
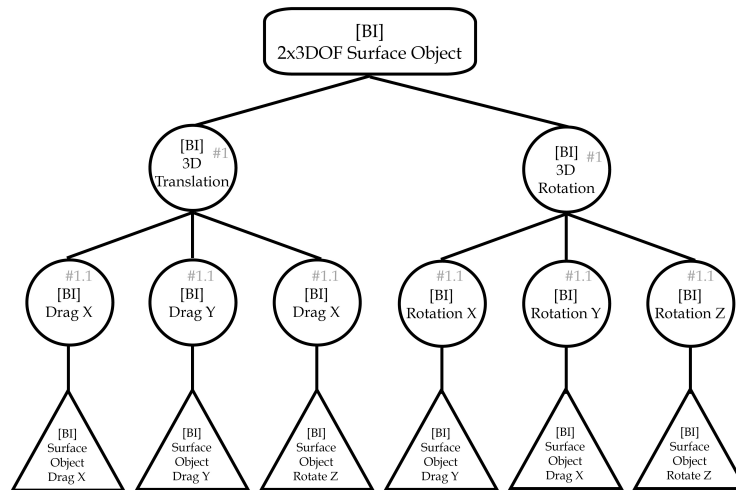
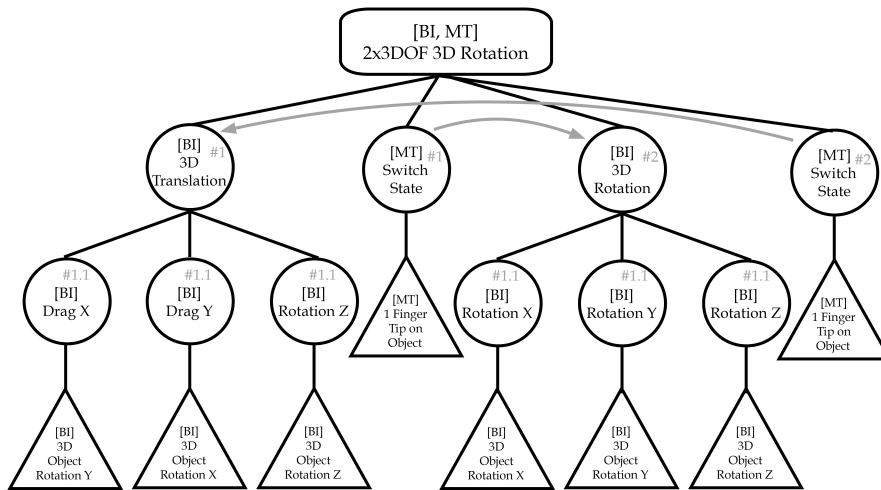


Abbildung 64: Aufbau der *Interaktionstechnik [6DOF Multitouch]* (Nur die durch die Opposable Thumbs Technik neu hinzugefügten *Interaction Components* werden visualisiert, weitere siehe in Abbildung 51)

Abbildung 65: Aufbau der *Interaktionstechnik [2x3DOF Surface Object]*Abbildung 66: Aufbau der *Interaktionstechnik [2x3DOF 3D Orientation]*

Die Opposable Thumbs Technik ist eine reine Multitouch-Technik und wurde in dieser Studie zu Vergleichszwecken mit (be-)greifbaren Techniken eingesetzt. Sie verwendet die bereits in Abschnitt A.1 vorgestellten *Subtasks*, die nach Translation und Orientierung trennen, sowie die in dieser *Interaktionstask* beschriebenen Komponenten zur x- und y-Translation und zur z-Rotation (siehe Abbildung 63). Für die z-Translation wurde eine neue 3-Finger-Technik implementiert. Sobald zwei Finger auf dem Grafikobjekt platziert werden, kann über einen dritten Finger außerhalb des Grafikobjektes die z-Translation über den Abstand zu den ersten beiden Fingern bestimmt werden. Für die Rotation um die x- und y-Achse wurde die Opposable Thumb Methode [Hancock et al., 2009] umgesetzt, die ebenfalls drei Finger benötigt, die jedoch alle auf dem Grafikobjekt platziert werden und bei dem über Bewegung eines Fingers der Rotationswinkel definiert wird.

*Interaktionstask*

In Abbildung 64 sind lediglich die neu hinzugekommenen *Interaction Components* abgebildet.

Die [*2x3DOF Surface Object*] Technik verwendet zwei (be-)greifbare Objekte, die auf dem horizontalen Bildschirm abgelegt werden. über die drei Freiheitsgrade (x- und y-Position sowie z-Rotation) können mit einem Objekt die Translationsparameter und mit dem anderen die Rotationsparameter eingestellt werden. X- und y-Translation mit Objekt A und z-Rotation mit Objekt B entsprechen dabei der TNT-Block Technik [Liu et al., 2006] (vgl. Unterabschnitt 3.3.2 auf Seite 60, sowie Abbildung 31 auf Seite 106) jedoch mit fest vorgegebenen Rotationszentren in der jeweiligen Objektmittle. Die Objekte müssen nicht auf den Grafikobjekten platziert werden, da sie fest an dieses gekoppelt sind, also kein anderes steuern können. Dies verhindert die Verdeckung des Grafikobjektes. Die resultierende Taxonomie ist in Abbildung 65 zu sehen.

Die dritte Technik ([*2x3DOF 3D Orientation*]) verwendet (be-)greifbare Objekte, deren 3D Orientierung verfolgt wurde. Als Objekte wurden Smartphones mit Lagesensoren und Touchscreen verwendet. Die Winkel der drei Lagesensoren können auf die drei Freiheitsgrade der Translation bzw. Rotation des Grafikobjektes übertragen werden. Für das Umschalten zwischen Translation und Rotation wurde ein Touch-Button auf dem Smartphone Bildschirm verwendet. Daher ist dies eine *Interaktionstechnik* mit gemischter Technologie ((be-)greifbare Interaktion und Multitouch). Die zugehörigen *Interaktionstechnik* mit allen Komponenten sind in Abbildung 64 bis Abbildung 66 abgebildet.

In einer zweiten Studie wurden fünf Gruppen zu je drei Personen gebeten, koaktiv einen Gestaltungsprozess für eine Inneneinrichtung durchzuführen (siehe Abbildung 67). Es konnten Möbelstücke mit der [*2x3DOF 3D Orientation*] Technik auf dem Tischbildschirm manipuliert werden, die zuvor über das Smartphone selektiert und auf den Tisch übertragen wurden. Jeder der drei Gruppenmitglieder verfügte über ein eigenes Smartphone. Während der Durchführung wurden Beobachtungen dokumentiert und im Anschluss fand eine Usability-Befragung statt.

Ergebnisse und  
Bewertungen

Die Ergebnisse der Zeitmessung des Docking-Testes zeigen, dass die Multitouch und (be-)greifbare Interaktion mit auf dem Display liegenden Objekten (*2x3DOF Surface Object*) für die Translation sehr schnell benutzbar sind (siehe Abbildung 68). Für reine Rotationstasks ist hingegen die *2x3DOF 3D Orientation* mit Smartphones am schnellsten. Für kombinierte Aufgaben schneidet die (be-)greifbare Interaktion trotz großer Standardabweichung am besten ab, während die anderen beiden Techniken insbesondere bei der 3D-Rotation schlecht abschnitten. Die *Interaktionstechnik* und *Interaction Components* wurden entsprechend bewertet, wie in Abschnitt B.1, Tabellen Tabelle 25 bis Tabelle 27 aufgelistet.

Verwertung

Für den qualitativen Parameter *Awareness* zeigte sich in der Usability-

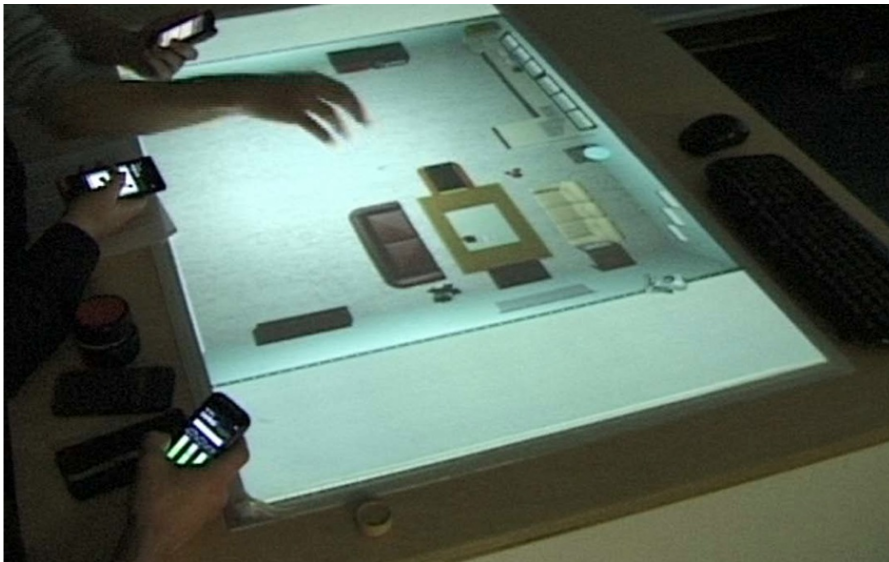


Abbildung 67: Koaktive Innenearchitekturgestaltung mit Smartphones

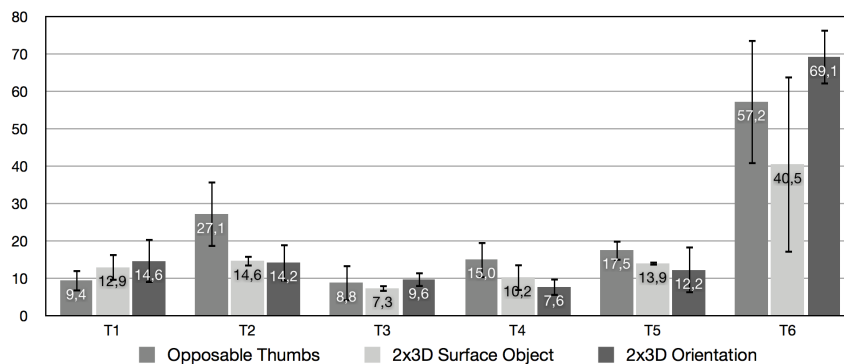


Abbildung 68: Ergebnisse der Zeitmessung der Translations- und Rotations-tasks mit begreifbaren Interaktionstechniken

Befragung der Gruppen-Studie ein sehr gutes Ergebnis für die  $[2 \times 3 \text{ DOF } 3D \text{ Orientation}]$  Technik, da hier persönliche Arbeitsbereiche verwendet wurden für Aufgaben, die für die übrigen Gruppenteilnehmer nicht von Bedeutung waren. Durch die Verwendung der Smartphone Bildschirme für diese Aufgaben konnte die Verdeckung visueller Inhalte deutlich reduziert werden. Diese Bewertung ist für den Kontext einer Kleingruppe gültig, weshalb das Charakteristikum *User:Groupsize:3-5* hinzugefügt wurde. Des Weiteren ist jedem Teilnehmer stets eindeutig ersichtlich gewesen, wer zu welchem Zeitpunkt welches Grafikobjekt kontrolliert. Außerdem entstanden in allen Testgruppen rege Diskussionen gefolgt von Arbeitsaufteilungen, die in effektiven Vorgehen aller Probanden resultierten. Die zugehörigen *Interaction Components* dieser Technik erfordern jedoch eine genaue Analyse der 3D Rotation von (be-)greifbaren Objekten. Dies ist mit Smartphones möglich, mit herkömmlichen Trackingverfahren jedoch kaum. Dieser Punkt wurde daher als Technologische Anforderung

übernommen (siehe folgendes Kapitel). Da Smartphones täglicher Begleiter vieler Menschen sind, werden sie im Kontext dieser Arbeit als Interaktionsgerät mit niedriger Instrumentierung angesehen. Die Ergebnisse der Studie sowie detailliertere Beschreibungen der Durchführung finden sich in [Klompaker et al., 2012c].

#### A.4 FAZIT ZU DEN DURCHGEFÜHRTEN STUDIEN

In diesem Abschnitt wurden eigens entwickelte prototypische Anwendungen und Interaktionsstudien vorgestellt. Des Weiteren wurde aufgezeigt, wie die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Taxonomie verwendet werden kann, um jede Interaktion abzubilden. Die Komponenten der Taxonomie wurden abschließend auf Basis der Studienergebnisse mit Hilfe des entwickelten Bewertungsschemas evaluiert. Die so entstehenden Daten können problemlos in das Auswahlwerkzeug eingepflegt werden.

## STUDIENERGEBNISSE ZUR VERWENDUNG IM AUSWAHLWERKZEUG

---

In diesem Kapitel befindet sich eine Übersicht über alle in das Auswahlwerkzeug eingepflegten Bewertungen zu natürlichen Benutzungsschnittstellen. Die Bewertungen erfolgten gemäß Beschreibung in Abschnitt 4.3. Demnach werden *Interaktionstechniken* bzw. *Interaction Components* in Kombination mit Charakteristika sowie *Interaction Components* untereinander bewertet.

Das Feld *ID* beschreibt die fortlaufende Nummerierung der Bewertungen zur einfacheren Referenz. Das Feld *CF* gibt den Faktor an, mit dem ein Charakteristikum in die Bewertung einfließt, *QP* steht für den oder die qualitativen Parameter, auf den sich eine Bewertung bezieht, *B* für Bewertung (siehe Abschnitt 4.3) und *TA* für technologische Anforderung (siehe Abschnitt 4.4). Im Feld *Referenz* sind die zugehörigen Literaturverweise mit der Studie aus denen die Bewertung hervorgeht aufgelistet. Wenn keine Literaturreferenz existiert, wird eine kurze textliche Begründung für die Bewertung angegeben.

Auf eine detailliertere textliche Begründung wird bei dieser Übersicht aus Platzgründen verzichtet. Sie sind jedoch in der Datenbank des Auswahlwerkzeuges enthalten.

Es werden zunächst die Ergebnisse aus eigenen Studien, in Anhang D auch Bewertungen aus weiteren Studien aus der Literatur aufgelistet.

### B.1 STUDIENERGEBNISSE AUS EIGENEN STUDIEN

Nachfolgend werden die aus den in Anhang A vorgestellten eigenen Studien resultierenden Bewertungen für das Auswahlverfahren tabellarisch dargestellt. Die zugehörigen Taxonomie-Teile, in denen die *Interaktionstechniken* und *Interaction Components* definiert sind befinden sich in Anhang A.

| ID     | Interaktionstechnik                      | Charakteristika  | CF          | QP             | B  | TA | Referenz  |
|--------|--|--|-------------|----------------|----|----|---|
| OS_001 | [MT] 6DOF Multi-touch                    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Speed          | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_002 | [MT] 6DOF Multi-touch                    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>2 | Precision      | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_003 | [MT] 6DOF Multi-touch                    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Robustness     | -  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_004 | [MT] 6DOF Multi-touch                    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Intuitive-ness | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_005 | [MT] 3D Translation/Rotation Widgets     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Speed          | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_006 | [MT] 3D Translation/Rotation Widgets     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Precision      | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_007 | [MT] 3D Translation/Rotation Widgets     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>2 | Robustness     | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_008 | [MT] 3D Translation/Rotation Widgets     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Intuitive-ness | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_009 | [MT] 3-Touch Translation/Rotation Widget | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 2<br>2<br>3 | Speed          | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_010 | [MT] 3-Touch Translation/Rotation Widget | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:High | 2<br>2<br>3 | Speed          | -  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_011 | [MT] 3-Touch Translation/Rotation Widget | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal                             | 2<br>2      | Precision      | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_012 | [MT] 3-Touch Translation/Rotation Widget | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal                             | 2<br>2      | Robustness     | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |
| OS_013 | [MT] 3-Touch Translation/Rotation Widget | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low  | 3<br>2<br>2 | Intuitive-ness | -  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010]                             |

Tabelle 15: *Interaktionstechnik*-Bewertungen der 3D-Multitouch Studie, siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169, Quelle: [Klompmaker and Nebe, 2010]



| ID     | Interaction Component                   | Charakteristika  | CF               | QP         | B  | TA | Referenz  |
|--------|---|--|------------------|------------|----|----|---|
| OS_014 | [MT] 1-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>2<br>3<br>1 | Speed      | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_015 | [MT] 1-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>2<br>3<br>1 | Speed      | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_016 | [MT] 1-Finger Diagonal Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>2<br>3<br>1 | Speed      | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_017 | [MT] 1-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Precision  | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_018 | [MT] 1-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Precision  | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_019 | [MT] 1-Finger Diagonal Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Precision  | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_020 | [MT] 1-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Robustness | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_021 | [MT] 1-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Robustness | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_022 | [MT] 1-Finger Diagonal Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Robustness | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_023 | [MT] 1-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>3<br>3 | Robustness | ** | -  | Best Practice, bekannt aus vielen Produkten             |
| OS_024 | [MT] 1-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>3<br>3 | Robustness | ** | -  | Best Practice, bekannt aus vielen Produkten             |
| OS_026 | [MT] 3-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>3<br>2 | Speed      | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_027 | [MT] 3-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>3<br>2 | Speed      | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_028 | [MT] 3-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Precision  | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_029 | [MT] 3-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Precision  | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_030 | [MT] 3-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Robustness | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |

Tabelle 16: *Interaction Component*-Bewertungen der 3D-Multitouch Studien, siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c]

| ID     | Interaction Component                   | Charakteristika  | CF               | QP            | B  | TA | Referenz  |
|--------|---|--|------------------|---------------|----|----|---|
| OS_031 | [MT] 3-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Robustness    | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_032 | [MT] 3-Finger Horizontal Drag on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Intuitiveness | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_033 | [MT] 3-Finger Vertical Drag on Object   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Intuitiveness | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_034 | [MT] RST 2 Finger Rot on Object         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>2<br>3<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_035 | [MT] RST 2 Finger Rot on Object         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3<br>2 | Precision     | *  | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_036 | [MT] RST 2 Finger Rot on Object         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Robustness    | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_037 | [MT] RST 2 Finger Rot on Object         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>3<br>1 | Intuitiveness | ** | -  | [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c] |
| OS_038 | [MT] 1 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | Best practice, known from many products                 |
| OS_039 | [MT] 1 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Precision     | ** | -  | Best practice, known from many products                 |
| OS_040 | [MT] 1 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Robustness    | ** | -  | Best practice, known from many products                 |
| OS_041 | [MT] 1 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>1<br>1 | Intuitiveness | ** | -  | Best practice, known from many products                 |
| OS_042 | [MT] 3 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Speed         | *  | -  | Best practice. Hard with small objects.                 |
| OS_043 | [MT] 3 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Precision     | *  | -  | Best practice. Hard with small objects.                 |
| OS_044 | [MT] 3 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Robustness    | *  | -  | Best practice. Hard with small objects.                 |
| OS_045 | [MT] 3 Finger Tip on Object             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>1<br>2 | Intuitiveness | *  | -  | Unknown technique.                                      |

Tabelle 17: *Interaction Component*-Bewertungen der 3D-Multitouch Studien (Fortsetzung 1), siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klompmaker and Nebe, 2010], [Klompmaker et al., 2012c]

| ID     | Interaction Component                  | Charakteristika  | CF               | QP            | B  | TA | Referenz  |
|--------|--|--|------------------|---------------|----|----|---|
| OS_046 | [MT] 1 Finger Tip and Remain on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>2 | Speed         | *  | -  | Best practice, but remain requires extra time.                          |
| OS_047 | [MT] 1 Finger Tip and Remain on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>1 | Precision     | ** | -  | Best practice, known from many products                                 |
| OS_048 | [MT] 1 Finger Tip and Remain on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2<br>2 | Robustness    | ** | -  | Best practice, known from many products. Remain results in less errors. |
| OS_049 | [MT] 1 Finger Tip and Remain on Object | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>1<br>2 | Intuitiveness | ** | -  | Best practice, known from many products. Remain results in less errors. |

Tabelle 18: *Interaction Component*-Bewertungen der 3D-Multitouch Studien (Fortsetzung 2), siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klompaker and Nebe, 2010], [Klompaker et al., 2012c]

| ID     | Interaction Component                   | Interaction Component                 | B  | Referenz  |
|--------|---|---------------------------------------|----|---|
| OS_050 | [MT] 1 Finger Horizontal Drag on Object | [MT] 1 Finger Diagonal Drag on Object | *  | [Klompaker and Nebe, 2010]<br>[Klompaker et al., 2012c] |
| OS_051 | [MT] 1 Finger Vertical Drag on Object   | [MT] 1 Finger Diagonal Drag on Object | *  | [Klompaker and Nebe, 2010]<br>[Klompaker et al., 2012c] |
| OS_052 | [MT] 1 Finger Horizontal Drag on Object | [MT] 1 Finger Vertical Drag on Object | ** | Best Practice, bekannt aus vielen Produkten             |

Tabelle 19: *Interaction Component* zu *Interaction Component*-Bewertungen der 3D-Multitouch Studien, siehe Abschnitt A.1 auf Seite 169 und Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quellen: [Klompaker and Nebe, 2010], [Klompaker et al., 2012c]

| ID     | Interaktionstechnik                | Charakteristika   | CF          | QP            | B  | TA | Referenz                  |
|--------|------------------------------------|---|-------------|---------------|----|----|---------------------------|
| OS_053 | [G] Hands Free Camera Control      | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>2<br>1 | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_054 | [G] Hands Free Camera Control      | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>3 | Speed         | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_055 | [G] Hands Free Camera Control      | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2 | Intuitiveness | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_056 | [G] Hands Free Camera Control      | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2 | Precision     | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_057 | [G] Hands Free Object Manipulation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>2<br>2 | Robustness    | -  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_058 | [G] Hands Free Object Manipulation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>2<br>3 | Speed         | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_059 | [G] Hands Free Object Manipulation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>1<br>3 | Intuitiveness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_060 | [G] Hands Free Object Manipulation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>1<br>3 | Precision     | -  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |

Tabelle 20: *Interaktionstechnik*-Bewertungen der VR-Studie, siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klompaker et al., 2012a]

| ID     | Interaction Component          | Charakteristika  | CF               | QP            | B  | TA | Referenz                  |
|--------|--------------------------------|--|------------------|---------------|----|----|---------------------------|
| OS_061 | [G] Single Hand Back and Forth | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_062 | [G] Single Hand Left and Right | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_063 | [G] Single Hand Back and Forth | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 3<br>2<br>3      | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_064 | [G] Single Hand Left and Right | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 3<br>2<br>3      | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_065 | [G] Single Hand Back and Forth | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_066 | [G] Single Hand Left and Right | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_067 | [G] Single Hand Back and Forth | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Intuitiveness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_068 | [G] Single Hand Left and Right | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Intuitiveness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_069 | [G] Single Hand Back and Forth | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>3 | Immersion     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_070 | [G] Single Hand Left and Right | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>3 | Immersion     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_071 | [G] Body Lean Back and Forth   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Speed         | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_072 | [G] Upper Body Rotation        | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Speed         | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_073 | [G] Body Lean Back and Forth   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 3<br>2<br>3      | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_074 | [G] Upper Body Rotation        | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 3<br>2<br>3      | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_075 | [G] Body Lean Back and Forth   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_076 | [G] Upper Body Rotation        | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_077 | [G] Body Lean Back and Forth   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Intuitiveness | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_078 | [G] Upper Body Rotation        | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>3      | Intuitiveness | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |

Tabelle 21: *Interaction Component*-Bewertungen der VR-Studie, siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klompaker et al., 2012a]

| ID     | Interaction Component        | Charakteristika  | CF               | QP                 | B  | TA  | Referenz                   |
|--------|------------------------------|--|------------------|--------------------|----|-----|----------------------------|
| OS_079 | [G] Body Lean Back and Forth | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>3 | Immer-<br>sion     | ** | -   | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_080 | [G] Upper Body Rotation      | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>3 | Immer-<br>sion     | ** | -   | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_081 | [G] Grab Gesture             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Speed              | ** | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_082 | [G] Grab release             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Speed              | ** | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_083 | [G] Grab Gesture             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Precision          | *  | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_084 | [G] Grab release             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Precision          | *  | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_085 | [G] Grab Gesture             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Robust-<br>ness    | *  | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_086 | [G] Grab release             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Robust-<br>ness    | *  | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_087 | [G] Grab Gesture             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Intuitive-<br>ness | ** | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_088 | [G] Grab release             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Intuitive-<br>ness | ** | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_089 | [G] Grab Gesture             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>2 | Immer-<br>sion     | ** | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_090 | [G] Grab release             | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>2 | Immer-<br>sion     | ** | HGR | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_091 | [G] Freehand Time Trigger    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>2      | Speed              | -  | -   | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_092 | [G] Freehand Time Trigger    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>2      | Precision          | *  | -   | [Klompmaker et al., 2012a] |
| OS_093 | [G] Freehand Time Trigger    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 1<br>2<br>1      | Robust-<br>ness    | ** | -   | [Klompmaker et al., 2012a] |

Tabelle 22: *Interaction Component*-Bewertungen der VR-Studie (Fortsetzung 1), siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klompmaker et al., 2012a], HGR = Hand Gesture Recognition

| ID     | Interaction Component     | Charakteristika  | CF               | QP                 | B  | TA | Referenz                  |
|--------|---------------------------|--|------------------|--------------------|----|----|---------------------------|
| OS_094 | [G] Freehand Time Trigger | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Intuitive-<br>ness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_095 | [G] Freehand Time Trigger | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>2 | Immer-<br>sion     | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_096 | [G] 6DOF Virtual Hand     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Speed              | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_097 | [G] 6DOF Virtual Hand     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Precision          | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_098 | [G] 6DOF Virtual Hand     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>1      | Robust-<br>ness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_099 | [G] 6DOF Virtual Hand     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Intuitive-<br>ness | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_100 | [G] 6DOF Virtual Hand     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>2 | Immer-<br>sion     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_101 | [G] 6DOF Fixed To Cam     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>User:TaskExperience:Low                                    | 2<br>2<br>2      | Intuitive-<br>ness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012a] |
| OS_102 | [G] 6DOF Fixed To Cam     | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Vertical<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>3<br>3<br>2 | Immer-<br>sion     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012a] |

Tabelle 23: *Interaction Component*-Bewertungen der VR-Studie (Fortsetzung 2), siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174, Quelle: [Klompaker et al., 2012a]

| ID     | Interaction Component          | Interaction Component          | B  | Referenz  |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|----|---|
| OS_103 | [G] 6DOF Virtual Hand          | [G] Grab Gesture               | ** | Entspr. realer Interaktion  |
| OS_104 | [G] 6DOF Virtual Hand          | [G] Grab Release               | ** | Entspr. realer Interaktion  |
| OS_105 | [G] Body Lean Back and Forth   | [G] Upper Body Rotation        | ** | Unabh. und nebenläufig ausführbar   |
| OS_106 | [G] Single Hand Back and Forth | [G] Single Hand Left and Right | ** | Unabh. und nebenläufig ausführbar   |
| OS_107 | [G] Single Hand Back and Forth | [G] Freehand Time Trigger      | -  | Führt zu vielen Fehlerkennungen, bzw. erfordert drei Hände wenn nebenläufig |
| OS_108 | [G] Single Hand Left and Right | [G] Freehand Time Trigger      | -  | Führt zu vielen Fehlerkennungen, bzw. erfordert drei Hände wenn nebenläufig |

Tabelle 24: *Interaction Component* zu *Interaction Component*-Bewertungen der VR-Studie, siehe Abschnitt A.2 auf Seite 174

| ID     | Interaktionstechnik            | Charakteristika   | CF          | QP            | B  | TA | Referenz                  |
|--------|--------------------------------|---|-------------|---------------|----|----|---------------------------|
| OS_109 | [MT] 6DOF Multi-touch          | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>2<br>2 | Robustness    | -  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_110 | [MT] 6DOF Multi-touch          | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>2<br>2 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_111 | [MT] 6DOF Multi-touch          | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>2<br>2 | Intuitiveness | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_112 | [MT] 6DOF Multi-touch          | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2 | Precision     | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_113 | [BI] 2x3DOF Surface Objects    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>1 | Robustness    | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_113 | [BI] 2x3DOF Surface Objects    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>1 | Robustness    | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_114 | [BI] 2x3DOF Surface Objects    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2 | Speed         | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_115 | [BI] 2x3DOF Surface Objects    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>3 | Intuitiveness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_116 | [BI] 2x3DOF Surface Objects    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>3<br>1 | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_117 | [BI, MT] 2x3DOF 3D Orientation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>2 | Robustness    | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_118 | [BI, MT] 2x3DOF 3D Orientation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>3 | Speed         | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_119 | [BI, MT] 2x3DOF 3D Orientation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 3<br>2<br>3 | Intuitiveness | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_120 | [BI, MT] 2x3DOF 3D Orientation | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low | 1<br>1<br>2 | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_121 | [BI, MT] 2x3DOF 3D Orientation | Application:Data:3D<br>User:GroupSize:3-5<br>User:TaskExperience:Low              | 2<br>3<br>2 | Awareness     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |

Tabelle 25: *Interaktionstechnik*-Bewertungen zur Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion, siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klompaker et al., 2012c]



| ID     | Interaction Component              | Charakteristika  | CF               | QP            | B  | TA | Referenz                  |
|--------|------------------------------------|--|------------------|---------------|----|----|---------------------------|
| OS_122 | [MT] 2 Finger on 1 Finger off Drag | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_123 | [MT] Opposable Thumb Rotation X    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_124 | [MT] Opposable Thumb Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_125 | [MT] 2 Finger on 1 Finger off Drag | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>2 | Precision     | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_126 | [MT] Opposable Thumb Rotation X    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>2 | Precision     | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_127 | [MT] Opposable Thumb Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>2 | Precision     | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_128 | [MT] 2 Finger on 1 Finger off Drag | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>2 | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_129 | [MT] Opposable Thumb Rotation X    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>2 | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_130 | [MT] Opposable Thumb Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>2 | Robustness    | *  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_131 | [MT] 2 Finger on 1 Finger off Drag | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>3 | Intuitiveness | -  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_132 | [MT] Opposable Thumb Rotation X    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>3 | Intuitiveness | -  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_133 | [MT] Opposable Thumb Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>2<br>2<br>3 | Intuitiveness | -  | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_134 | [BI] Surface Object Drag X         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_135 | [BI] Surface Object Drag Y         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_136 | [BI] Surface Object Rotate Z       | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Speed         | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_137 | [BI] Surface Object Drag X         | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Precision     | ** | -  | [Klompaker et al., 2012c] |

Tabelle 26: *Interaction Component*-Bewertungen der Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion, siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klompaker et al., 2012c]

| ID     | Interaction Component        | Charakteristika  | CF               | QP            | B  | TA   | Referenz                  |
|--------|------------------------------|--|------------------|---------------|----|------|---------------------------|
| OS_138 | [BI] Surface Object Drag Y   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Precision     | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_139 | [BI] Surface Object Rotate Z | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Precision     | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_140 | [BI] Surface Object Drag X   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Robustness    | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_141 | [BI] Surface Object Drag Y   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Robustness    | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_143 | [BI] Surface Object Drag X   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Intuitiveness | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_144 | [BI] Surface Object Drag Y   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Intuitiveness | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_145 | [BI] Surface Object Rotate Z | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>3<br>2<br>1 | Intuitiveness | ** | -    | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_146 | [BI] 3D Object Rotation X.   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Speed         | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_147 | [BI] 3D Object Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Speed         | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_148 | [BI] 3D Object Rotation Z.   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Speed         | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_149 | [BI] 3D Object Rotation X.   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Precision     | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_150 | [BI] 3D Object Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Precision     | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_151 | [BI] 3D Object Rotation Z.   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Precision     | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_152 | [BI] 3D Object Rotation X.   | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Robustness    | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_153 | [BI] 3D Object Rotation Y    | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Robustness    | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |

Tabelle 27: *Interaction Component*-Bewertungen der Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion (Fortsetzung 1), siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klompaker et al., 2012c]

| ID     | Interaction Component      | Charakteristika  | CF               | QP            | B  | TA   | Referenz                  |
|--------|----------------------------|--|------------------|---------------|----|------|---------------------------|
| OS_154 | [BI] 3D Object Rotation Z. | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>2 | Robustness    | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_155 | [BI] 3D Object Rotation X. | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>3 | Intuitiveness | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_156 | [BI] 3D Object Rotation Y  | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>3 | Intuitiveness | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |
| OS_157 | [BI] 3D Object Rotation Y  | Application:Data:3D<br>System:Displ.Alignm.:Horizontal<br>System:Displ.Size:SnglPrsnLarge<br>User:TaskExperience:Low | 2<br>1<br>1<br>3 | Intuitiveness | ** | 3DOT | [Klompaker et al., 2012c] |

Tabelle 28: *Interaction Component*-Bewertungen der Studie zu (be-)greifbarer 3D-Interaktion (Fortsetzung 2), siehe Abschnitt A.3 auf Seite 179, Quelle: [Klompaker et al., 2012c]



## ABBILDUNGEN DES AUSWAHLWERKZEUGES

Nachfolgend sind einige Screenshots des in Abschnitt 5.2 beschriebenen Auswahlwerkzeugs abgebildet.

| Design Alternative with best evaluation: |                        |   |                |                                      |
|--|------------------------|---|----------------|--------------------------------------|
| Evaluation Value: 0.486                  |                        |   |                |                                      |
| Additional Characteristics               | Technical Requirements | References  | Discussions    | Evaluations                          |
|  |                        | [Klompmaaker and Nebe, 2010]<br>[Klompmaaker et al., 2012c] | d0001<br>d0002 | OS_038<br>OS_039<br>OS_040<br>OS_041 |

Abbildung 69: Screenshot des Auswahlwerkzeugs: Details zu einer Design Alternative bestehend aus zusätzlich benötigten Charakteristika, technischen Anforderungen, Referenzen, Diskussionen und in eingeflossene Evaluierungen

| Design Alternative with best evaluation: |                        |  |             |                  |
|--|------------------------|--|-------------|------------------|
| Evaluation Value: 0.486                  |                        |  |             |                  |
| Additional Characteristics               | Technical Requirements | References   | Discussions | Evaluations      |
|  |                        | [Klompmaaker and Nebe, 2010]<br>F. Klompmaaker, 2014-02-11 17:53:12<br>My Experiences show that especially for novice users it is hard to perform 3D Manipulation precisely using Multitouch displays. See [Klompmaaker and Nebe, 2010]. | d0001       | OS_038<br>OS_041 |

Abbildung 70: Screenshot des Auswahlwerkzeugs: Diskussionen zu einer der Design Alternative zu Grunde liegenden Bewertung

| Design Alternative with best evaluation: |                        |   |             |             |
|--|------------------------|---|-------------|-------------|
| Evaluation Value: 0.486                  |                        |   |             |             |
| Additional Characteristics               | Technical Requirements | References  | Discussions | Evaluations |
|  |                        | [Klompmaaker and Nebe, 2010]<br>[Klompmaaker et al., 2012c] | d0001       | OS_038      |
| Taxonomy:                                |                        |   |             |             |

Abbildung 71: Screenshot des Auswahlwerkzeugs: Details zu einer der Evaluierung zu Grunde liegenden Referenz

| Design Alternative with best evaluation:  |                        |                            |             |             |
|---|------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Evaluation Value: 0.486   |                        |                            |             |             |
| Additional Characteristics  | Technical Requirements | References                 | Discussions | Evaluations |
|   |                        | [Klompaker and Nebe, 2010] | d0001       | OS_038      |
| Taxonomy Element: ic_00002<br>Evaluation: **<br>Characteristics: Application:Data:3D, System:DisplayAlignment:Horizontal, System:DisplaySize:SinglePersonLarge, User:TaskExperience:Low<br>Parameters: User:TaskExperience:Low<br>References: [Klompaker and Nebe, 2010], [Klompaker et al., 2012c] |                        |                            |             |             |

Abbildung 72: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Details zu einer Evaluierung

| Design Alternative with best evaluation:       |                          |                           |             |  |
|--|--------------------------|---------------------------|-------------|--|
| Evaluation Value: 0.432                        |                          |                           |             |  |
| Additional Characteristics                     | Technical Requirements   | References                | Discussions | Evaluations                                    |
| Application:Data:3D<br>User:TaskExperience:Low | Hand Gesture Recognition | [Klompaker et al., 2012a] |             | OS_082<br>OS_084<br>OS_086<br>OS_088<br>OS_090 |

Abbildung 73: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Detailliertes Ergebnis mit technischen Anforderungen und zusätzlich erforderlichen Charakteristika

**NUI Interaction Design**  
By F. Klompaker

Decision Making Taxonomy Edit Parameters Evaluations

[New Search]

### Decision Making: Design Alternatives

**Requirements:**

| ITAs                     | Characteristics  | Parameters    |
|--------------------------|--|---------------|
| 6DOF Object Manipulation | Application:Data:3D (5)<br>System:DisplayAlignment:Vertical (8)<br>User:GroupSize:2 (10)<br>User:TaskExperience:High (4) | Immersion (7) |

Related Design Alternatives:

**Design Alternative with best evaluation:**  
Evaluation Value: 0.277

| Additional Characteristics         | Technical Requirements | References  | Discussions | Evaluations                          |
|------------------------------------|------------------------|---|-------------|--------------------------------------|
| System:DisplayAlignment:Horizontal |                        | Best practice, but remain requires extra time.<br>Best practice, known from many products. Remain results in less errors.<br>[Klompaker and Nebe, 2010] |             | OS_038<br>OS_039<br>OS_040<br>OS_041 |

**Taxonomy:**

```

graph TD
    A["#a_00002  
6DOF Object Manipulation"] --> B["#a_00004  
[MT] 3-Touch Translation/Rotation Widget"]
    B --> C["st_00015  
[MT] 3TTTRW Translate XY"]
    B --> D["st_00016  
[MT] 3TTTRW Rotate Z"]
    B --> E["st_00017  
[MT] 3TTTRW Trigger Widget"]
    B --> F["st_00018  
[MT] 3TTTRW Widget Transf."]
    C --> G["st_00004  
[MT] Drag X"]
    C --> H["st_00005  
[MT] Drag Y"]
    D --> I["st_00009  
[MT] Rotation Z"]
    E --> J["ic_00010  
[MT] 3 Finger Tip on Object"]
    F --> K["st_00019  
[MT] 3TTTRW Translation Z"]
    F --> L["st_00020  
[MT] 3TTTRW Rotation X"]
    F --> M["st_00021  
[MT] 3TTTRW Rotation Y"]
    G --> N["ic_00002  
[MT] 1-Finger Horizontal Drag on Object"]
    H --> O["ic_00003  
[MT] 1-Finger Vertical Drag on Object"]
    I --> P["ic_00007  
[MT] RST 2 Finger Rot on Object"]
    J --> Q["ic_00009  
[MT] 1 Finger Tip&Remain on Object"]
    K --> R["ic_00009  
[MT] 1 Finger Tip&Remain on Object"]
    L --> S["ic_00009  
[MT] 1 Finger Tip&Remain on Object"]
    M --> T["ic_00009  
[MT] 1 Finger Tip&Remain on Object"]
  
```

**Design Alternative with worst evaluation:**  
Evaluation Value: 0.018

| Additional Characteristics                                    | Technical Requirements | References   | Discussions | Evaluations |
|---|------------------------|--|-------------|-------------|
| System:DisplayAlignment:Horizontal<br>User:TaskExperience:Low |                        | Best practice, known from many products<br>[Klompaker et al., 2012c] |             |             |

**Taxonomy:**

```

graph TD
    A["#a_00002  
6DOF Object Manipulation"] --> B["#a_00009  
[BI, MT] 2x3DOF 3D Orientation"]
    B --> C["st_00027  
[BI] 3D Translation"]
    B --> D["st_00033  
[MT] Switch State"]
    B --> E["st_00028  
[BI] 3D Rotation"]
    B --> F["st_00035  
[MT] Switch State"]
    C --> G["st_00029  
[BI] Drag X"]
    C --> H["st_00030  
[BI] Drag Y"]
    C --> I["st_00031  
[BI] Drag Z"]
    D --> J["ic_00006  
[MT] 1 Finger Tip on Object"]
    E --> K["st_00032  
[BI] Rotation X"]
    E --> L["st_00033  
[BI] Rotation Y"]
    E --> M["st_00034  
[BI] Rotation Z"]
    F --> N["ic_00006  
[MT] 1 Finger Tip on Object"]
    G --> O["ic_00023  
[BI] Surface Object Drag X"]
    H --> P["ic_00024  
[BI] Surface Object Drag Y"]
    I --> Q["ic_00025  
[BI] Surface Object Rotate Z"]
    K --> R["ic_00024  
[BI] Surface Object Drag Y"]
    L --> S["ic_00023  
[BI] Surface Object Drag X"]
    M --> T["ic_00025  
[BI] Surface Object Rotate Z"]
  
```

Abbildung 74: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Vollständige Darstellung eines Ergebnisses bestehend aus einer empfohlenen und einer ungeeigneten Design Alternative

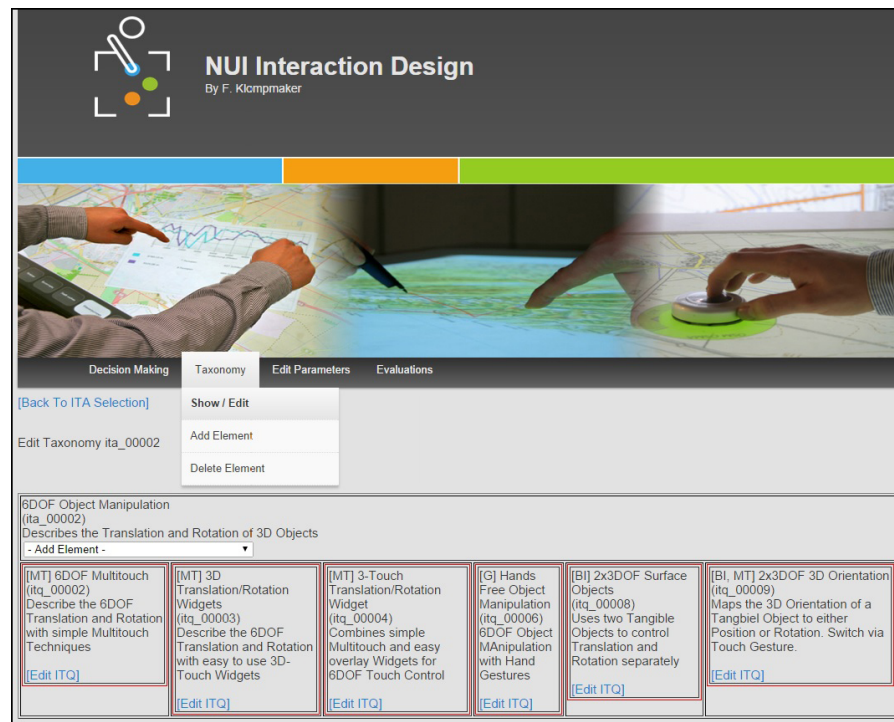


Abbildung 75: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Bearbeiten einer Taxonomie (1)

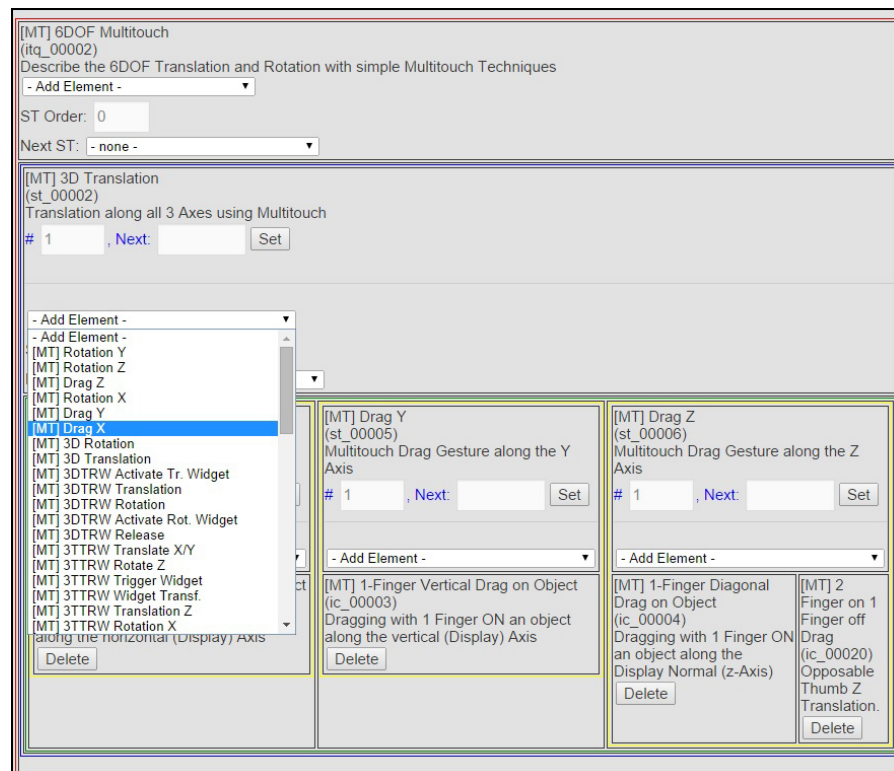


Abbildung 76: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Bearbeiten einer Taxonomie (2)



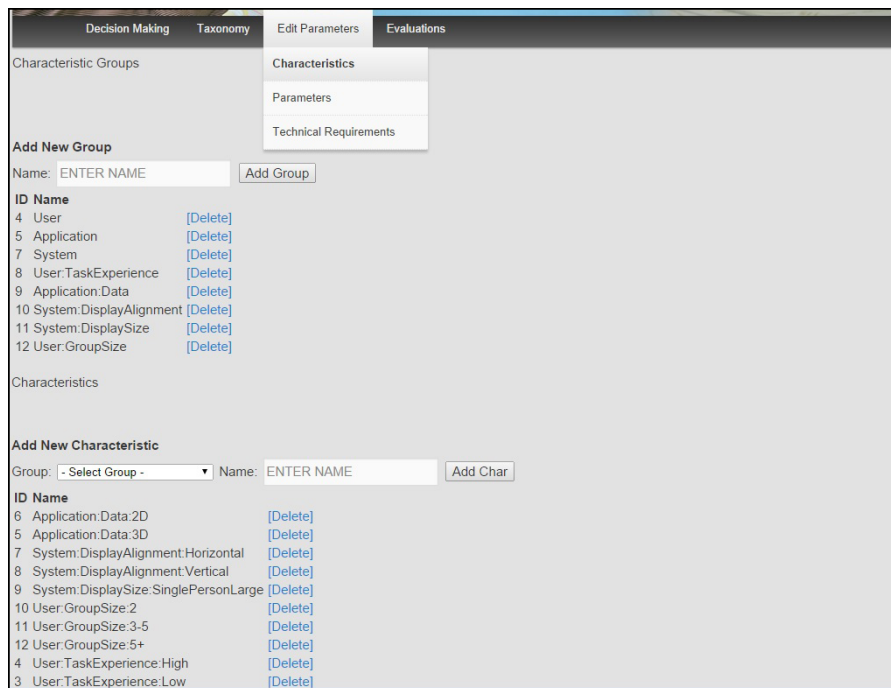



Abbildung 77: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Editieren von Charakteristika

**Add Evaluation**

ID: OS\_001 

ITQ: [MT] 6DOF Multitouch (itq\_00002) ▼

Characteristics:

|  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Application:Data:2D (6)                             | 2 |
| <input type="checkbox"/> Application:Data:3D (5)                             | 2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> System:DisplayAlignment:Horizontal (7)   | 3 |
| <input type="checkbox"/> System:DisplayAlignment:Vertical (8)                | 2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> System:DisplaySize:SinglePersonLarge (9) | 2 |
| <input type="checkbox"/> User:GroupSize:2 (10)                               | 2 |
| <input type="checkbox"/> User:GroupSize:3-5 (11)                             | 2 |
| <input type="checkbox"/> User:GroupSize:5+ (12)                              | 2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> User:TaskExperience:High (4)             | 2 |
| <input type="checkbox"/> User:TaskExperience:Low (3)                         | 2 |

Meas. Parameters:

☐ Awareness (8) ☒ Immersion (7) ☐ Intuitiveness (6)

☐ Precision (4) ☐ Robustness (5) ☒ Speed (3)

Technical Requirements:

☐ 3D Object Tracking (7) ☐ Body Part Identification (5) ☐ Hand Gesture Recognition (6)

☐ User Identification (4)

X (impossible)  
 - (Rather Bad)  
 \* (Good)  
**\*\* (Very Good)**

Evaluation: X (impossible) ▼

Abbildung 78: Screenshot des Auswahlwerkzeuges: Eine Bewertung hinzufügen

## INTEGRATION EXTERNER STUDIENERGEBNISSE IN DAS ERSTELLTE VERFAHREN

---

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, dass das in dieser Arbeit konzipierte Verfahren für externe Studien zu Interaktionstechniken mit natürlichen Benutzungsschnittstellen anwendbar ist. Hierzu werden nachfolgend fünf Studien vorgestellt. Sie entstammen den im Forschungsgebiet renommierten Konferenzen CHI, TEI und ITS. Es handelt sich bei allen in diesem Abschnitt vorgestellten Studien um aktuelle Forschungsarbeiten, die 2010 oder später publiziert wurden. Es wird jeweils aufgezeigt, dass

- sich der Kontext der Studien jeweils durch Charakteristika gemäß Abschnitt 4.1 beschreiben lässt
- qualitative Parameter gemäß Abschnitt 4.1 zur Bewertung der Techniken herangezogen wurden
- sich die vorgestellten Interaktionstechniken mit der Taxonomie aus Abschnitt 4.2 abbilden lassen
- die Studienergebnisse sich mit dem in Abschnitt 4.3 vorgestellten Bewertungsschema und –schlüssel evaluieren lassen.
- sich technologische Anforderungen gemäß Abschnitt 4.4 beschreiben lassen

Die nachfolgend vorgestellten Studien entstammen Veröffentlichungen, die zum Teil mehrere Interaktionstechniken, Anwenderstudien und Ergebnisse vorstellen. Auch ist der wissenschaftliche Fokus der jeweiligen Publikation nicht zwangsweise auf die vorgestellte Studie gelegt, sondern diese war oftmals nur ein Teil der wissenschaftlichen Arbeit. Es wurde daher jeweils nur eine besonders prägnante Studie als Teil der jeweiligen Veröffentlichung gewählt, um die Übertragbarkeit aufzuzeigen.

Es werden in diesem Abschnitt insbesondere auch koaktive Szenarien und die enthaltenen Interaktionstechniken berücksichtigt. Des Weiteren wurden die Beispiele so gewählt, dass sowohl Multitouch-, (be-)greifbare, stiftbasierte, sowie hand- und ganzkörpergestenbasierte Interaktionstechniken vorgestellt werden.

### D.1 FREIHAND-SELEKTIONSTECHNIKEN ÜBER INTERAKTIVEN TISCHEN

Pyryeskin und Kollegen veröffentlichten auf der ITS 2012 eine Studie, bei der verschiedene Interaktionstechniken zur Selektion von 3D

Objekten, die sich virtuell über einem waagerechten Bildschirm befanden, verglichen wurden [Pyryeskin et al., 2012]. Das visuelle Feedback erfolgte in 2D auf dem Bildschirm, der gesamte Interaktionsbereich über dem Bildschirm konnte mit einer Hand von jeder Testperson erreicht werden. Die Höhe des zu selektierenden Objektes im 3D-Raum wurde durch die 2D Objektgröße visualisiert. Der durch Freihandbewegung gesteuerte Cursor veränderte ebenfalls mit Entfernung zum Bildschirm seine Größe (siehe Abbildung 79). So musste zunächst die richtige x-, y- und z-Koordinate mit einer Hand über dem Bildschirm angesteuert werden, um die Selektion anschließend durch ein Trigger-Event zu bestätigen. Für diesen Trigger-Event standen vier Realisierungen zur Verfügung: *short Dwell*, *push*, *Tap* und *Off-hand Tap*. Bei Short Dwell galt es die Hand für 500 ms an der selben Position zu halten, dann erfolgte die Selektion automatisch. Bei der push Technik musste die Hand ruckartig nach unten bewegt werden, jedoch ohne das Display dabei zu berühren. Bei Tap musste das 2D Objekt auf dem Display mit einem Finger berührt werden, und zwar mit der gleichen Hand, die zuvor den Cursor steuerte. Bei Off-hand Tap musste wie bei Short Dwell eine Hand auf dem virtuellen Objekt verweilen, während die andere die Touch-Geste wie bei Tap durchführte.

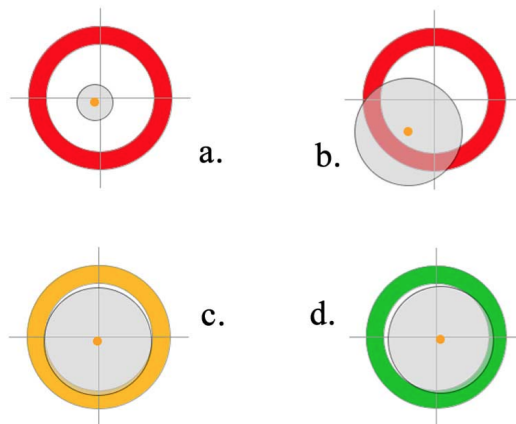


Abbildung 79: 2D + Entfernungs - Visualisierung von Objekten und Cursor, Bildquelle: [Pyryeskin et al., 2012]

#### Die Taxonomie

Die Abbildungen 80 bis 82 zeigen, wie die vier unterschiedlichen Realisierungen mit Hilfe der Taxonomie dargestellt werden können. Dazu werden für den *Interaktionstask* [3D Object Selection] je eine eigene *Interaktionstechnik* definiert: [Dwell], [Push], [Tap] und [Off-hand Tap]. Während die ersten drei nahezu identisch auf Basis der [Subtasks] sind, muss bei [Off-hand Tap] jedoch die Nebenläufigkeit der Subtasks miteinbezogen werden.

Für die Taxonomie wurden bereits in Anhang A definierte Subtasks und Interaction Components wiederverwendet. So entspricht der zeitliche Trigger bei [Dwell] der Interaction Component [[G] Freehand Time Trigger], [Tap] entspricht [[MT] 1 Finger Tip on Object] und die Cursor-

Steuerung entspricht *[[G] 6DOF Virtual Hand]*. Lediglich *[[G] Hand Fast Down]* für *[Push]*, sowie einige *Subtasks* wurden der Taxonomie hinzugefügt.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Aufbau der Taxonomie in der durchgeführten Studie begründet liegt. Prinzipiell wäre es möglich, die *Interaktionstechniken* *[Tap]*, *[Push]* und *[Dwell]* zusammenzufassen und nur die Trigger-Events als *Interaction Components* zu unterscheiden. Dies würde es aber unmöglich machen, die Studienergebnisse (siehe nächster Abschnitt) in das Evaluierungs-Schema zu überführen, da keine Aussagen zu der einen *Interaktionstechnik* beziehungsweise zu den drei *Interaction Components* möglich wäre. Begründet liegt dies darin, da in dieser Studie vor allem die sequentiell beziehungsweise nebenläufig ausgeführten Teile der Interaktion in Kombination getestet wurden. Daher bedarf es separater *Interaktionstechniken* für alle diese Fälle. In solchen Fällen ist auch der Auswahl-Algorithmus folgerichtig nicht in der Lage, neue Kombinationen aus Taxonomie-Komponenten zu entwickeln und vorzuschlagen. Um dies zu umgehen bedürfte es weiterer Studien zu den einzelnen Komponenten und anschließend eine Umstrukturierung der Taxonomie.

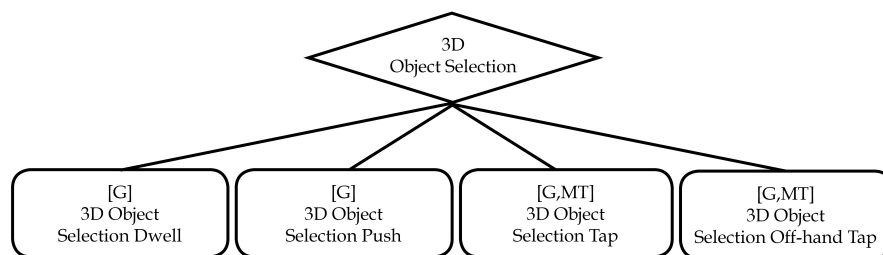


Abbildung 80: Taxonomie zur Studie von Freihand-Selesktionstechniken über einem Tischbildschirm (Teil 1)

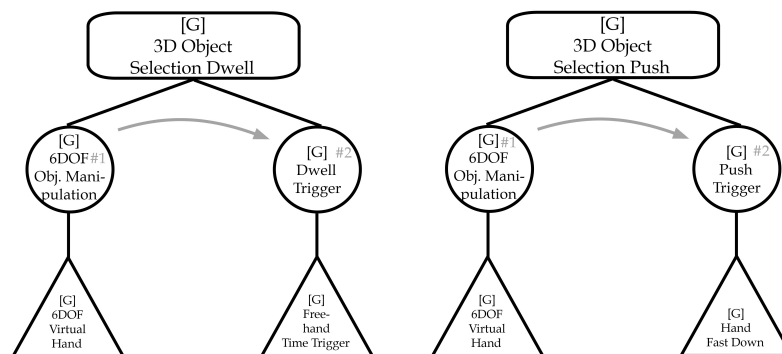


Abbildung 81: Taxonomie zur Studie von Freihand-Selesktionstechniken über einem Tischbildschirm (Teil 2)

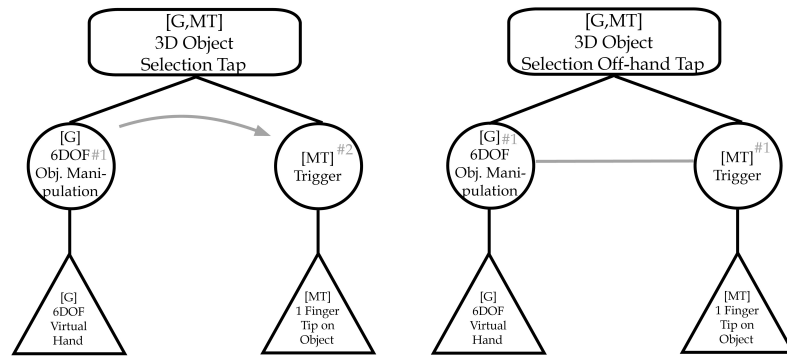


Abbildung 82: Taxonomie zur Studie von Freihand-Selektionstechniken über einem Tischbildschirm (Teil 3)

#### Charakteristika und qualitative Parameter

Der Kontext der Studie lässt sich durch die folgenden drei Charakteristika beschreiben:

- System:DisplayAlignment:Horizontal
- Application:Data:2D
- System:DisplaySize:SinglePersonLarge

In der Studie wurden die qualitativen Parameter Speed (Geschwindigkeit, mit der die Selektion ausgeführt werden konnte) und Robustness (Fehleranfälligkeit der jeweiligen Technik) erhoben.

Als technologische Anforderung wird in der vorliegenden Studie lediglich das 3D Object Tracking (3DOT, siehe Tabelle 10 auf Seite 121) benötigt. Es werden keine direkten Handgesten verwendet, sondern lediglich die Position der Hand selbst analysiert. Zusätzlich wurde ein Multitouchtisch verwendet, die Multitoucherkennung gehört aber zu den Basisanforderungen für natürliche Benutzungsschnittstellen (siehe Tabelle 9 auf Seite 119).

#### Evaluierungen

Die Studienergebnisse aus [Pyryeskin et al., 2012] zeigen, dass die *[Dwell]*-Technik am schnellsten ist. Sie wurde daher mit Maximalwertung in Kombination mit dem qualitativen Parameter Speed versehen. Auch die anderen Techniken ließen sich aber verhältnismäßig schnell verwenden. Da keine der Techniken mehr als vier Sekunden benötigte, wurden auch hier gute Noten vergeben (siehe Tabelle 29). Bezüglich des qualitativen Parameter Robustness wiesen alle Techniken sehr gute Ergebnisse auf, mit Ausnahme von *[Off-hand Tap]*. Hier führt die nebenläufige Ausführung des *[Tap]* und das gleichzeitige Halten der anderen Hand zu Fehlern.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die gesamte *Interaktionstechnik*, die sich aus je zwei *Subtasks* zusammensetzt, die entweder sequentiell oder nebenläufig ausgeführt werden. Daher finden sich in Tabelle 29 ausschließlich Evaluierungen zu den *Interaktionstechniken*. Die *Interaction Components* allein sind mit den hier

beschriebenen Studienergebnissen nicht bewertbar. Es finden sich in der Studie jedoch weitere Ergebnisse, mit denen dies möglich wäre. Diese werden an dieser Stelle jedoch nicht berücksichtigt.

Die Faktorisierung der Charakteristika erfolgte wie in Tabelle 29 abgebildet, da die Größe des Bildschirms nicht von größerer Bedeutung für die Ergebnisse sein dürfte. Die Bildschirmausrichtung und die 2D-Visualisierung dürften von größerer, jedoch nicht maximaler Bedeutung für die Studienergebnisse sein, da mit anderen Anordnungen und Visualisierungen ähnliche Tendenzen zu erwarten sind.

| Interaktionstechnik                     | Charakteristika                      | CF | Qual. Par. | B  | TA   | Referenz                 |
|---|--------------------------------------|----|------------|----|------|--------------------------|
| [G] 3D Object<br>Selection Dwell        | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Speed      | ** | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Push         | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Speed      | *  | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Tap          | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Speed      | *  | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Off-hand Tap | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Speed      | *  | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Dwell        | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Robustness | ** | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Push         | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Robustness | ** | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Tap          | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Robustness | ** | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |
| [G] 3D Object<br>Selection Off-hand Tap | System:DisplayAlignment:Horizontal   | 2  | Robustness | -  | 3DOT | [Pyryeskin et al., 2012] |
|   | Application:Data:2D                  | 2  |            |    |      |                          |
|   | System:DisplaySize:SinglePersonLarge | 1  |            |    |      |                          |

Tabelle 29: *Interaktionstechnik*-Bewertungen zur 3D-Selektion über horizontalem Tischdisplay

## D.2 MULTITOUCHTECHNIKEN ZUR 3D-TRANSLATION, -ROTATION UND SKALIERUNG

In der Studie von Cohé et al. [Cohé et al., 2011] wird mit *tBox* eine 3D-Multitouch Interaktionstechnik vorgestellt, mit der sich 3D-Objekte bewegen, drehen und skalieren lassen. Dabei wird ein Box-Widget über dem 3D-Objekt visualisiert (siehe Abbildung 83), von dem nur die Kanten sichtbar sind. Die Translation erfolgt, in dem mit einem Finger eine Kante selektiert wird und anschließend entlang einer der Koordinatensystemachsen bewegt wird. Die Rotation erfolgt, indem

zunächst bei aktiviertem Widget eine beliebige Stelle - mit Ausnahme der Kanten des Widgets - mit einem Finger selektiert wird. Anschließend erfolgt die Drehung um eine der drei Koordinatensystemachsen in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung des Fingers (siehe Abbildung 83). Die Skalierung erfolgt mit zwei Fingern gemäß der weit verbreiteten Skalierung bei RST (siehe Unterabschnitt 3.3.1 und [Reisman et al., 2009]).

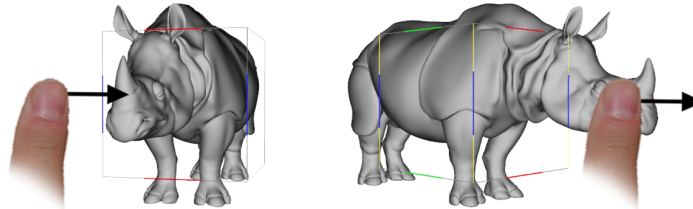


Abbildung 83: tBox Rotation via Multitouch, Bildquelle: [Cohé et al., 2011]

#### Die Taxonomie

Abbildung 84 zeigt die Taxonomie der tBox-Interaktionstechnik. Bisher wurden in dieser Arbeit Multitouchtechniken mit sechs Freiheitsgraden vorgestellt (siehe Abschnitt A.1 ab Seite 169). Die [tBox]-Technik erfüllt jedoch einen erweiterten *Interaktionstask*, da neben der Translation und Rotation auch die Skalierung enthalten ist. Entsprechend wurde je ein neuer *Interaktionstask* und eine neue *Interaktionstechnik* für die Taxonomie erstellt. Die *Subtasks* und *Interaction Components* zur Translation und Rotation sind bereits in Abschnitt A.1 vorgestellt worden und stimmen mit dort vorgestellten Techniken überein. Neu ist hier lediglich der nebenläufig realisierbare *Subtask* [[MT] RST Scale] und die zugehörige *Interaction Component* [[MT] 2 Finger 3D Scale], die gleichmäßig entlang aller Koordinatenachsen die Größe eines Grafikobjektes verändert. Einige *Subtasks* können auch durch bereits vorgestellte *Interaction Components* realisiert werden. Dies ist durch die Angabe „...“ in der Taxonomie abgebildet.

Abbildung 84 enthält jeweils nur die Translation und Rotation entlang beziehungsweise um die x-Achse. Für die y- und z-Achse existieren identische *Subtasks* und *Interaction Components*.

#### Charakteristika und qualitative Parameter

Die vorgestellte Studie wurde mit Einzelanwendern an einem horizontalen Display durchgeführt. Diese Eigenschaften eignen sich jedoch nicht für Charakteristika, da sie keinen Einfluss auf die Testergebnisse (siehe nächster Unterabschnitt) haben dürften. Lediglich die 3D-Visualisierung wird daher als Charakteristikum mit sehr großem Bedeutungsfaktor (CF) aufgenommen:

- Application:Data:3D

Die Studie hatte zum Ziel, die Intuitivität der tBox-Technik zu testen. Daher wird als qualitativer Parameter für die Evaluierungen *Intuitiveness* verwendet.

#### Evaluierungen

Die Interaktionstechnik [tBox] mit dem Box-Widget wurde von allen



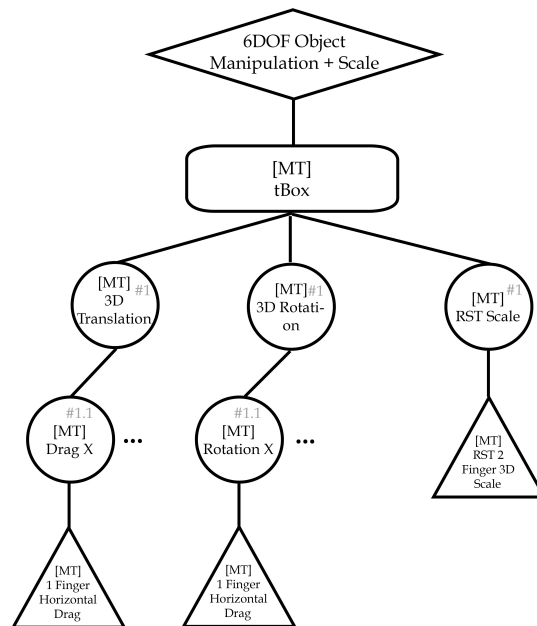


Abbildung 84: Taxonomie der tBox-Interaktionstechnik

Testpersonen als Intuitiv bewertet, alle konnten recht schnell ohne Erläuterungen mit dem Widget arbeiten [Cohé et al., 2011]. Jedoch führte die Tatsache, dass sich *tBox* nicht an konventionellen Widget-Visualisierungen zur 3D-Steuerung hält zu Verzögerungen beim Verständnis. Die *Interaktionstechnik* [[MT] *tBox*] wurde daher mit \* bewertet (siehe Tabelle 30).

Bezüglich der *Interaction Components* ergaben sich keine anderen Ergebniss bezüglich der Intuitivität, als die bereits in den vorgestellten eigenen Studien (siehe Abschnitt B.1) ermittelten. Lediglich für die *Interaction Component* [[MT] RST 2 Finger Object Scale] wurde die Bewertung \*\* vergeben (siehe Tabelle 31), da die RST-Skalierung weit verbreitet ist und von allen Anwendern in der Studie ad-hoc verwendbar war.

Da es sich bei *tBox* um eine Standard-Multitouch Technik aus technologischer Sicht handelt, existieren für die Bewertung keine technologischen Anforderungen.

| Interaktionstechnik | Charakteristika     | CF | Qual. Par.    | B | TA | Referenz            |
|---------------------|---------------------|----|---------------|---|----|---------------------|
| [MT] <i>tBox</i>    | Application:Data:3D | 3  | Intuitiveness | * | -  | [Cohé et al., 2011] |

Tabelle 30: *Interaktionstechnik*-Bewertungen zur *tBox*-Technik

| Interaction Component         | Charakteristika     | CF | Qual. Par.    | B  | TA | Referenz            |
|-------------------------------|---------------------|----|---------------|----|----|---------------------|
| [MT] RST 2 Finger<br>3D Scale | Application:Data:3D | 3  | Intuitiveness | ** | -  | [Cohé et al., 2011] |

Tabelle 31: *Interaction Component*-Bewertungen zur *tBox*-Technik

## D.3 KOAKTIVITÄT UND KONTROLLE AN EINEM TISCHDISPLAY

Olson et al. stellen in [Olson et al., 2011] eine koaktive Anwendung vor, die auf einem 30" Tischdisplay ausgeführt wird. In der Studie wurden Kinder im Alter von 8-11 Jahren als Testpersonen in spielerischen Situationen beobachtet. Es wurde analysiert, ob Touch-Techniken gegenüber (be-)greifbaren Interaktionstechniken Vor- oder Nachteile beim koaktiven Verwenden und bei sequentiellen Spielabläufen haben. Insbesondere wurde die Verwendung einer Menuleiste untersucht, die nur einmal auf dem Display existiert. Diese konnte in einem Fall über einfache Multitouchtechniken auf dem Bildschirm platziert und bedient werden. Im zweiten Fall wurde die Menuleiste mit Hilfe eines physikalischen Objektes, das auf dem Bildschirm platziert und bewegt werden konnte, manipuliert (siehe Abbildung 85).



Abbildung 85: Koaktive spielerische Verwendung von (be-)greifbaren Objekten, Bildquelle: [Olson et al., 2011]

#### Die Taxonomie

Die Manipulation der Menuleiste auf dem Bildschirm lässt sich mit der in Abbildung 86 dargestellten Taxonomie beschreiben. Die Bedienung durch Touchgesten entspricht der RNT-Technik [Kruger et al., 2005], die bereits in Abbildung 6 durch die Taxonomie abgebildet und auf Seite 56 beschrieben wurde.

Der Teil der (be-)greifbaren Interaktion konnte vollständig mit bereits existierenden Taxonomie-Komponenten erstellt werden (vergleiche Abbildung 65 auf Seite 181), da die 2D Translation und 1D-Rotation aus Teilen der bereits vorgestellten 6DOF-Manipulation besteht. Lediglich die *Interaktionstechnik* [[BI] 3DOF Manipulation] und der *Subtask* [[BI] 2D Translation] mussten neu erschaffen werden.

#### Charakteristika und qualitative Parameter

Entscheidende Charakteristika bilden in dieser Studie die Größe und Konstellation der Gruppe. In Kombination mit der Displaygröße ist die Gruppengröße mit 3-5 Personen so beschaffen, dass jeder Anwender jeden Bereich des relativ kleinen Bildschirms einfach erreichen

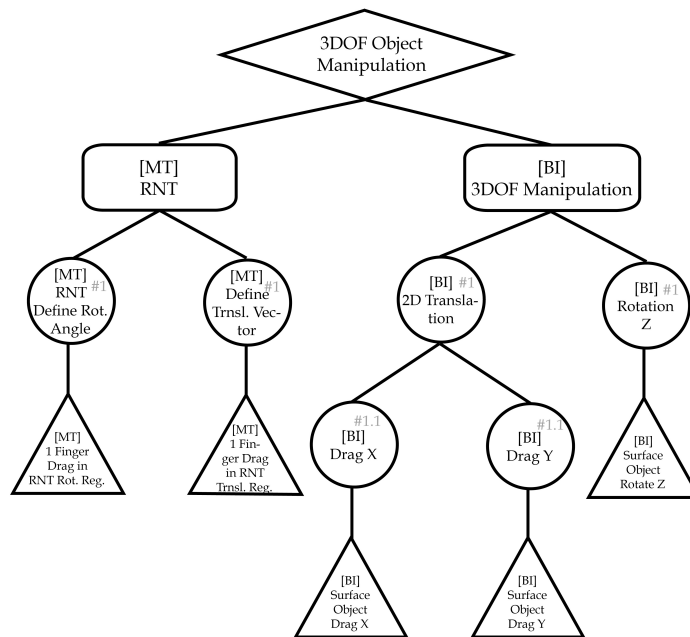


Abbildung 86: Taxonomie der Manipulation der Menuleiste

kann. Als neues Charakteristikum wurde das Alter der Anwender hinzugenommen. Insgesamt ergeben sich also folgende Charakteristika

- System:DisplayAlignment:Horizontal
- System:DisplaySize:SmallGroup
- Application:Data:2D
- User:GroupSize:3-5
- User:Age:6-12

In dieser Studie wurde kein bestimmter qualitativer Parameter untersucht, sondern lediglich das Verhalten der Anwender beobachtet.

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie die beiden *Interaktionstechniken* zur Manipulation der Menuleiste im kollaborativen Szenario abschnitten. Als Ergebnis präsentieren die Autoren eine deutliche Reduktion an Konkurrenz-Problemen bei der Verwendung der (be-)greifbaren Interaktion [Olson et al., 2011]. So kam es zu weniger Zusammenstößen und die Koordination lief deutlich reibungsloser ab. Bei der koaktiven Verwendung einer Menuleiste ist die Multitouch-*Interaktionstechnik* also mit deutlichen Schwächen behaftet, während die (be-)greifbare Interaktion sehr viele positive Eigenschaften mit sich bringt. Dies ist in Tabelle 32 entsprechend abgebildet. Über die einzelnen *Interaction Components* ist durch diese Studie keine Aussage möglich.

Die Faktoren der Charakteristika wurden wie in Tabelle 32 abgebildet gewählt. Die Relaisierung der (be-)greifbaren Interaktion ist nur

*Evaluierungen*

mit horizontalen Displays möglich, daher ist dieser Faktor entsprechend höher. Die Altersgruppe ist vermutlich weniger entscheidend für das präsentierte Ergebnis (bei Erwachsenen Anwendern sind ähnliche Vorteile zu erwarten), genau wie die Art der Visualisierung. Die Bildschirmparameter erhielten mittelmäßige Gewichtungen. Technologische Anforderungen stellen die Interaktionstechniken - neben den Basisanforderungen - nicht.

| Interaktionstechnik       | Charakteristika                    | CF | Qual. Par. | B  | TA | Referenz            |
|---------------------------|------------------------------------|----|------------|----|----|---------------------|
| [MT] RNT                  | System:DisplayAlignment:Horizontal | 2  | -          | -  | -  | [Cohé et al., 2011] |
|                           | System:DisplaySize:SmallGroup      | 2  |            |    |    |                     |
|                           | Application:Data:2D                | 1  |            |    |    |                     |
|                           | User:GroupSize:3-5                 | 2  |            |    |    |                     |
|                           | User:Age:6-12                      | 1  |            |    |    |                     |
| [BI] 3DOF<br>Manipulation | System:DisplayAlignment:Horizontal | 3  | -          | ** | -  | [Cohé et al., 2011] |
|                           | System:DisplaySize:SmallGroup      | 2  |            |    |    |                     |
|                           | Application:Data:2D                | 1  |            |    |    |                     |
|                           | User:GroupSize:3-5                 | 2  |            |    |    |                     |
|                           | User:Age:6-12                      | 1  |            |    |    |                     |

Tabelle 32: *Interaktionstechnik*-Bewertungen zur Manipulation der Menuleiste

#### D.4 KOAKTIVE STIFTINTERAKTION AN TISCHDISPLAYS

Auf der TEI 2011 veröffentlichten Clifton et al. eine Studie zu koaktiven Interaktionstechniken mit digitalen Stiften an einem Tischdisplay [Clifton et al., 2011]. Sie testeten Ihr *SketchTop* System mit mehreren Benutzergruppen. Mit dem System konnten 2D-Grafikobjekte als eine Art Notizzettel auf dem interaktiven Tischbildschirm verschoben, gedreht, skaliert und kopiert werden. Während die Manipulation der Position, Orientierung und Größe über vier Widgets an den Ecken eines virtuellen Notizzettel mit zwei Stiften erfolgte, waren für das Kopieren drei Stifte erforderlich: Während zwei Widgets berührt werden, wird ein dritter zunächst mit dem Stift berührt und dann verschoben (siehe Abbildung 87). Dies resultiert in einer Kopie des betreffenden Notizzettels. Da es einer Person allein kaum möglich ist drei Stift auf einmal zu bedienen, sind für das Kopieren zwei Personen erforderlich. Abbildung 88 zeigt den *Interaktionstask [2D Object Copy]*. Die Translation, Rotation und Skalierung, die bei SketchTop verwendet wurde, wird hier nicht weiter betrachtet. Diese Techniken ähneln den in dieser Arbeit bereits vorgestellten Stift- und Multitouchtechniken zur 2D Manipulation von Grafikobjekten und ließen sich leicht in die Taxonomie überführen.

Wie in Abbildung 88 zu sehen ist, genügen für die *Interaktionstechnik* zwei verschiedenen *Interaction Components*. Wichtig ist insbesondere die Abbildung der sequentiell (Auswahl und Trigger) und nebenläufig (Auswahl mit zwei Stiften) stattfindenden Teile.

Dieses Beispiel veranschaulicht besonders gut, dass koaktive Interakti-

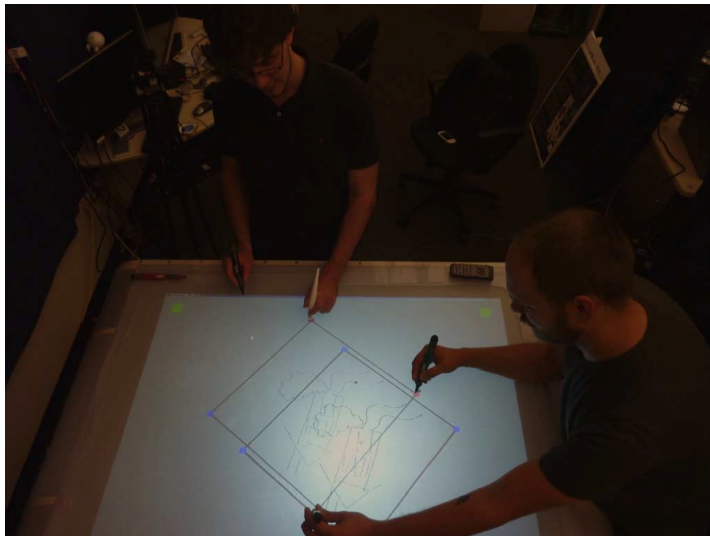


Abbildung 87: Koaktive Stiftinteraktion bei *SketchTop*, Bildquelle: [Clifton et al., 2011]

onstechniken mit der Taxonomie abbildbar sind ohne das spezifiziert wird, welcher Anwender mit welchem Körperteil oder Eingabegerät arbeitet.

In der vorliegenden Studie wurde ein waagerechter Tischbildschirm verwendet, der in der Studie problemlos von Gruppen mit einer Größe von drei bis fünf Personen mit digitalen Stiften bedient werden konnte. Die Visualisierung erfolgte zweidimensional. Dieser Kontext lässt sich durch die folgenden Charakteristika beschreiben:

- System:DisplayAlignment:Horizontal
- System:DisplaySize:SmallGroup
- Application:Data:2D
- User:GroupSize:3-5

*Charakteristika und  
qualitative  
Parameter*

Durch Beobachtungen wurden in dieser Studie die intuitive Benutzbarkeit (qualitativer Parameter *Intuitiveness*), sowie andere Eigenschaften analysiert.

Es wurde festgestellt, dass die beschriebene Kopiertechnik wenig intuitiv ist, da alle Gruppen eine lange Zeit benötigten, um ohne Hilfe herauszufinden, wie die Geste durchzuführen ist [Clifton et al., 2011]. Die *Interaktionstechnik* wurde daher entsprechend negativ bezüglich der Intuitivität bewertet (siehe Tabelle 33). Jedoch wurde in der Studie auch festgestellt, dass die generelle Verwendung der Widgets mit digitalen Stiften sehr gut funktioniert [Clifton et al., 2011]. Es ist anzunehmen, dass mit der Stiftinteraktion hier deutlich präzisere Eingaben möglich sind, als mit anderen Technologien. Die *Interaction*

*Evaluierungen*

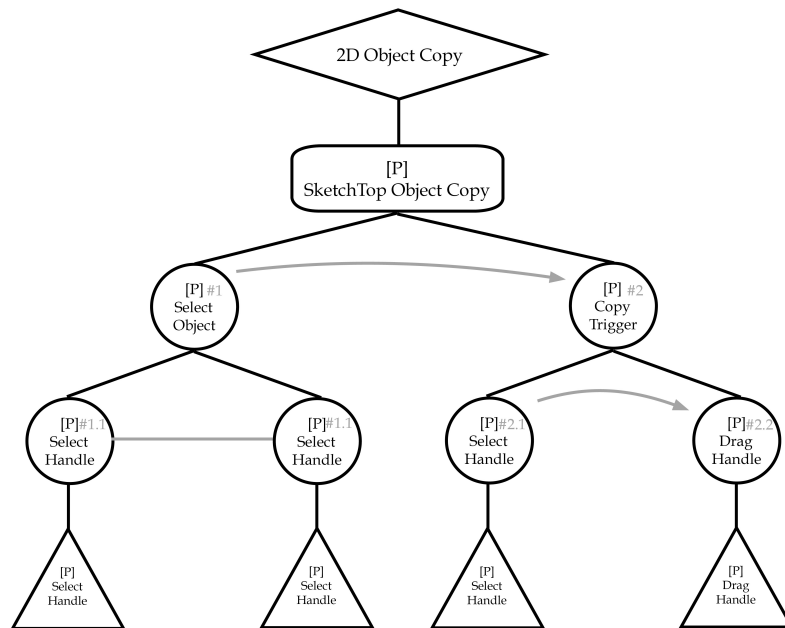


Abbildung 88: Taxonomie der *[SketchTop]* Interaktionstechnik zum Kopieren von Notizzetteln

*Components* wurden daher wie in Tabelle 34 abgebildet in Kombination mit dem qualitativen Parameter Precision sehr gut bewertet.

Die Faktoren der Charakteristika wurden für die Bewertung wie in den Tabellen 33 und 34 aufgelistet bewertet. Bei der Bewertung der *Interaktionstechnik* wurde die Gruppengröße besonders hoch gewichtet. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass die Interaktion mit drei Stiften, also in der Regel durch mindestens zwei Personen, erfolgen muss. Daher wurde für diese Technik nicht, wie oben für den Gesamtkontext beschrieben, die Gruppengröße mit 3-5 sondern mit 2 angegeben, da für die Technik zwei Personen erforderlich sind. Die Bewertung beruht auf dieser Gruppengröße. Bei der Bewertung der *Interaction Components* wurde das Charakteristikum Gruppengröße hingegen mit niedrigem Faktor versehen, da die einzelnen Components von einer Person alleine durchgeführt werden können. Da hier jedoch die Präzision bewertet wird, wurde das Charakteristikum 2D-Visualisierung mit hohem Faktor versehen. Dies liegt darin begründet, dass bei höherdimensionalen Visualisierungen mit einer Veränderung der Präziseigenschaften zu rechnen ist. Bei einer 3D-Visualisierung erschweren beispielsweise Verdeckung und perspektivenbedingte Verkleinerung der Widgets die Interaktion.

SketchTop stellt keine technologischen Anforderungen an das System, da die Stiftinteraktion Teil der Basisanforderungen ist.

| Interaktionstechnik               | Charakteristika  | CF               | Qual. Par.    | B | TA | Referenz               |
|-----------------------------------|--|------------------|---------------|---|----|------------------------|
| [P] Sketch-<br>Top Object<br>Copy | System:DisplayAlignment:Horizontal<br>System:DisplaySize:SmallGroup<br>Application:Data:2D<br>User:GroupSize:2 | 2<br>2<br>2<br>3 | Intuitiveness | - | -  | [Clifton et al., 2011] |

Tabelle 33: *Interaktionstechnik*-Bewertungen zum Kopieren bei SketchTop

| Interaction Comp.    | Charakteristika  | CF               | Qual. Par. | B  | TA | Referenz               |
|----------------------|--|------------------|------------|----|----|------------------------|
| [P] Select<br>Handle | System:DisplayAlignment:Horizontal<br>System:DisplaySize:SmallGroup<br>Application:Data:2D<br>User:GroupSize:3-5 | 2<br>2<br>3<br>1 | Precision  | ** | -  | [Clifton et al., 2011] |
| [P] Drag<br>Handle   | System:DisplayAlignment:Horizontal<br>System:DisplaySize:SmallGroup<br>Application:Data:2D<br>User:GroupSize:3-5 | 2<br>2<br>3<br>1 | Precision  | ** | -  | [Clifton et al., 2011] |

Tabelle 34: *Interaction Component*-Bewertungen zum Kopieren bei SketchTop

## D.5 HANDGESTENMANIPULATION VON ENTFERNTEN OBJEKTEN

Mit *Pointable* stellen Banerjee et al. eine Manipulationstechnik für 2D-Grafikobjekte auf einem sehr großen Tischbildschirm vor [Banerjee et al., 2011]. Das Hauptproblem dieses Systemaufbaus ist es, dass nicht alle Bereiche des Bildschirms direkt erreicht werden können, so dass beispielsweise Multitouchtechniken nur durch Veränderung der Anwenderposition realisierbar wären. Die *Pointable*-Technik basiert auf einem Kopf-Tracking, wodurch die Analyse der Blickrichtung des Anwenders ermöglicht wird. In Kombination mit einem Finger-Tracking wird so eine auf Ray-Casting basierende Selektion und Translation von Grafikobjekten ermöglicht (siehe Abbildung 89). Die Selektion eines Objektes wird durch die sogenannte Side Trigger Geste ausgelöst, bei der sich Zeigefinger und Daumen der zweiten, nicht-dominanten Hand, berühren müssen. Anschließend wird durch die Bewegung der dominanten Zeigehand das Objekt bewegt. Durch Veränderung der Entfernung zwischen den beiden Händen des Anwenders wird das Objekt skaliert, durch Veränderung des Winkels der Verbindungslinie der beiden Hände und einer virtuellen Horizontallinie wird das Objekt rotiert (ähnlich wie mit einem PKW-Lenkrad).

Abbildung 90 zeigt die Taxonomie der *Pointable*-Technik. Der *Interaktionstask* [4 DOF Object Manipulation] beschreibt die Möglichkeit der Translation (entlang der x- und y-Achse: zwei Freiheitsgrade), Rotation (um die z-Achse: ein Freiheitsgrad) und Skalierung (einheitlich entlang der x- und y-Achse: ein Freiheitsgrad). Selektion und Manipulation laufen sequentiell ab, während die einzelnen Manipulationsarten Translation, Rotation und Skalierung nebenläufig durchführbar sind. Als *Interaction Components* finden sich die beschriebenen Gesten [Index

Die Taxonomie

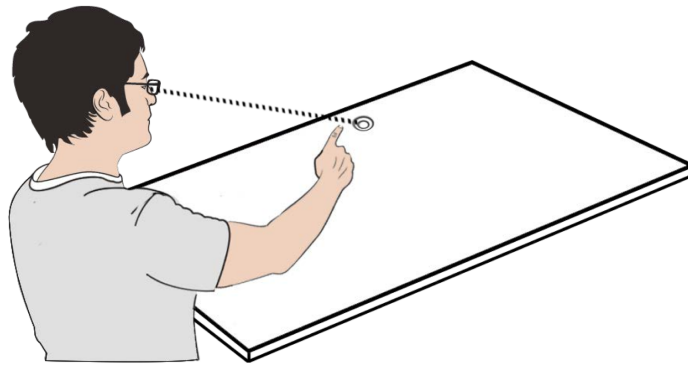


Abbildung 89: Selektion und Translation von entfernten Grafikobjekten bei *Pointable*, Bildquelle: [Banerjee et al., 2011]

*Finger Ray Pointing*] für die Ray Casting Selektion, [*Side Trigger*], [*2 DOF Virtual Hand*] für die 2D Translation, [*2 Hand Angle Change*] für die Rotation und [*2 Hand Distance Change*] für die Skalierung wieder.

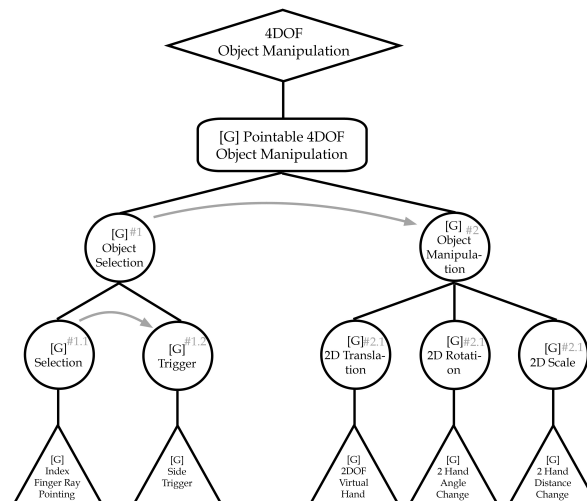


Abbildung 90: Taxonomie der Pointable-Technik

#### Charakteristika und qualitative Parameter

Die Pointable Studie wurde an einem horizontalen, sehr großen Display durchgeführt. Es wurden 2D Daten visualisiert und manipuliert. Die entscheidenden Charakteristika lassen sich gemäß des aufgestellten Vorgehens daher wie folgt definieren:

- System:DisplayAlignment:Horizontal
- System:DisplaySize:VeryLarge
- Application:Data:2D

In der Studie wurde unter anderem die Zeit erhoben, die die Testpersonen für eine Manipulationsaufgabe benötigten. Als qualitativer Parameter ergibt sich somit Speed.



Als ein Ergebnis der Studie ging hervor, dass die vorgestellte Technik bezüglich des qualitativen Parameters Speed kleine Nachteile gegenüber klassischer Multitouchinteraktion aufweist [Banerjee et al., 2011]. Dies gilt sowohl für die separat qualitativen Zeiten für die Selektion als auch für die Manipulation. Da Multitouch-Techniken bei sehr großen Displays jedoch oft nicht zum Einsatz kommen können, kann die *Interaktionstechnik* dennoch mit \* bewertet werden (siehe Tabelle 35). Selbiges gilt folglich auch für alle *Interaction Components*, die an der Technik beteiligt sind (siehe Tabelle 36).

Die Faktoren der Charakteristika wurden so gewichtet, dass die Bildschirmordnung nur geringe Bedeutung erhält, da mit vertikalen Bildschirmen vergleichbare Ergebnisse zu erwarten sind. Die Displaygröße ist der entscheidende Faktor und erhält die maximale Gewichtung. Bei kleineren Displays muss die Technik schlechter bewertet werden, da in diesem Fall zum Beispiel Multitouch-Techniken besser geeignet wären. Die Ergebnisse dieser Studie könnten also mit anderen Techniken bei gleichem Setup oder bei anderem Setup mit der gleichen Technik zu weiteren Evaluierungen führen. Exemplarisch sei hier in Tabelle 35 die Kombination der *Interaktionstechnik* in einem Setup mit kleinerem Display evaluiert (Tabelle 35, Zeile 2). Das Charakteristikum Application:Data:2D erhält mittlere Gewichtung, da nicht klar abzuschätzen ist, wie sich die Techniken beispielsweise bei einer 3D-Visualisierung auswirken würden.

Wichtig bei dieser Studie ist, dass drei technologische Anforderungen entstehen: Head Tracking (HTR) beim Ray Casting, 3DOT für die Handerkennung im Raum und HGR für die Erkennung der *Side Trigger* Geste (siehe Tabelle 10 auf Seite 121 für eine Beschreibung von 3DOT und HGR).

| Interaktionstechnik                     | Charakteristika                    | CF | Qual. Par. | B | TA   | Referenz                |
|---|------------------------------------|----|------------|---|------|-------------------------|
| [G] Point-<br>able 4DOF<br>Manipulation | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | * | HTR  | [Banerjee et al., 2011] |
|   | System:DisplaySize:VeryLarge       | 3  |            |   | 3DOT |                         |
|   | Application:Data:2D                | 2  |            |   | HGR  |                         |
| [G] Point-<br>able 4DOF<br>Manipulation | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | - | HTR  | [Banerjee et al., 2011] |
|   | System:DisplaySize:Small           | 3  |            |   | 3DOT |                         |
|   | Application:Data:2D                | 2  |            |   | HGR  |                         |

Tabelle 35: *Interaktionstechnik*-Bewertungen zu Pointable

| Interaction Comp.                    | Charakteristika                    | CF | Qual. Par. | B | TA   | Referenz                |
|--------------------------------------|------------------------------------|----|------------|---|------|-------------------------|
| [G] Index<br>Finger Ray<br>Selection | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | * | HTR  | [Banerjee et al., 2011] |
|                                      | System:DisplaySize:VeryLarge       | 3  |            |   | 3DOT |                         |
|                                      | Application:Data:2D                | 2  |            |   |      |                         |
| [G] Side<br>Trigger                  | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | * | HGR  | [Banerjee et al., 2011] |
|                                      | System:DisplaySize:VeryLarge       | 3  |            |   |      |                         |
|                                      | Application:Data:2D                | 2  |            |   |      |                         |
| [G] 2DOF<br>Virtual<br>Hand          | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | * | HTR  | [Banerjee et al., 2011] |
|                                      | System:DisplaySize:VeryLarge       | 3  |            |   | 3DOT |                         |
|                                      | Application:Data:2D                | 2  |            |   |      |                         |
| [G] 2 Hand<br>Angle<br>Change        | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | * | HTR  | [Banerjee et al., 2011] |
|                                      | System:DisplaySize:VeryLarge       | 3  |            |   | 3DOT |                         |
|                                      | Application:Data:2D                | 2  |            |   |      |                         |
| [G] 2 Hand<br>Distance<br>Change     | System:DisplayAlignment:Horizontal | 1  | Speed      | * | HTR  | [Banerjee et al., 2011] |
|                                      | System:DisplaySize:VeryLarge       | 3  |            |   | 3DOT |                         |
|                                      | Application:Data:2D                | 2  |            |   |      |                         |

Tabelle 36: *Interaction Component*-Bewertungen zu Pointable

## LITERATURVERZEICHNIS

---

- EN ISO 9241-210. Ergonomics of human-system interaction – part 210: Human-centred design for interactive systems. 2010.
- R. Aish. 3d input for caad systems. *Computer-Aided Design*, 11(2):66 – 70, 1979.
- C. Alexander, S. Ishikawa, M. Silverstein, M. Jacobson, I. Fiksdahl-King, and S. Angel. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Oxford University Press, Oxford, UK, 1977. ISBN 0195019199.
- D. Anderson, J.L. Frankel, J. Marks, A. Agarwala, P. Beardsley, J. Hodgins, D. Leigh, K. Ryall, E. Sullivan, and J.S. Yedidia. Tangible interaction + graphical interpretation: a new approach to 3d modeling. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 393–402, New York, NY, USA, 2000. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- M. Annett, T. Grossman, D. Wigdor, and G. Fitzmaurice. Medusa: a proximity-aware multi-touch tabletop. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 337–346, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- Anoto. Webseite: Anoto. <http://www.anoto.com> (zuletzt besucht am 11.01.2013).
- J. Appenrodt, A. Al-Hamadi, M. Elmezain, and B. Michaelis. Data gathering for gesture recognition systems based on mono color-, stereo color- and thermal cameras. In *Proceedings of the 1st International Conference on Future Generation Information Technology*, pages 78–86, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.
- Inc. Apple Computer. *Macintosh Human Interface Guidelines*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1992. ISBN 0-201-62216-5.
- F. Argelaguet and C. Andujar. Visual feedback techniques for virtual pointing on stereoscopic displays. In *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 163–170, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- ARTag. Webseite: Artag. <http://www.artag.net> (zuletzt besucht am 27.11.2012).
- R. Bade, F. Ritter, and B. Preim. Usability comparison of mouse-based interaction techniques for predictable 3d rotation. In *Proceedings of the 5th international conference on Smart Graphics*, pages 138–150, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.

- Saskia Bakker, Debby Vorstenbosch, Elise van den Hoven, Gerard Hollemans, and Tom Bergman. Weathergods: tangible interaction in a digital tabletop game. In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 151–152, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- A. Banerjee, J. Burstyn, A. Girouard, and R. Vertegaal. Pointable: an in-air pointing technique to manipulate out-of-reach targets on tabletops. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 11–20, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- T. Bartindale and C. Harrison. Stacks on the surface: resolving physical order using fiducial markers with structured transparency. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 57–60, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- O. Bau, I. Poupyrev, A. Israr, and C. Harrison. Teslatouch: electrovibration for touch surfaces. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 283–292, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- P. Baudisch, T. Becker, and F. Rudeck. Lumino: tangible blocks for tabletop computers based on glass fiber bundles. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1165–1174, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- H. Benko and A.D. Wilson. Depthtouch: Using depth-sensing camera to enable freehand interactions on and above the interactive surface. In *Proceedings of IEEE Workshop on Tabletops and Interactive Surfaces*, Washington, DC, USA, 2010. IEEE Computer Society.
- N. Bevan. Measuring usability as quality of use. *Software Quality Journal*, 4:115–130, 1995.
- N. Bevan. International standards for hci and usability. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 55(4):533–552, 2001.
- Nigel Bevan and Ian Curson. Methods for measuring usability. 1997.
- J.O. Borchers. A pattern approach to interaction design. In *Proceedings of the 3rd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques*, pages 369–378, New York, NY, USA, 2000a. ACM.
- J.O. Borchers. Interaction design patterns: Twelve theses. In *Position Paper for the workshop Pattern Languages for Interaction Design: Building Momentum, CHI 2000*, 2000b.
- J.O. Borchers. *A pattern approach to interaction design*. Wiley; 1 edition, Hoboken, New Jersey, 2001. ISBN 0471498289.

- D.A. Bowman. *3D User Interfaces*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2013. URL [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/3d\\_user\\_interfaces.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/3d_user_interfaces.html).
- D.A. Bowman and L.F. Hodges. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In *Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 35–ff., New York, NY, USA, 1997. ACM.
- D.A. Bowman and L.F. Hodges. Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages and Computing*, 10(1):37–53, 1999.
- D.A. Bowman, D. Koller, and L.F. Hodges. Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques. In *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*, pages 45–52, 1997.
- D.A. Bowman, D. Koller, and L.F. Hodges. A methodology for the evaluation of travel techniques for immersive virtual environments. *Journal of the Virtual Reality Society*, 3:120–131, 1998.
- D.A. Bowman, D.B. Johnson, and L.F. Hodges. Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 26–33, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- D.A. Bowman, E. Kruijff, J.J. LaViola, and I. Poupyrev. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., Redwood City, CA, USA, 2004.
- P. Brandl, C. Forlines, D. Wigdor, M. Haller, and C. Shen. Combining and measuring the benefits of bimanual pen and direct-touch interaction on horizontal interfaces. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pages 154–161. ACM, 2008.
- Breeze. Webseite: Breeze multitouch. <http://code.google.com/p/breezemultitouch/> (zuletzt besucht am 28.11.2012).
- A. Buja, D. Cook, and D.F. Swayne. Interactive high-dimensional data visualization. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5:78–99, 1996.
- W. Buxton. Lexical and pragmatic considerations of input structures. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 17(1):31–37, 1983.
- W. Buxton. Multi-touch systems that i have known and loved, 2007. URL <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>.
- CCV. Webseite: Community core vision. <http://ccv.nuigroup.com> (zuletzt besucht am 27.11.2012).

- George Chin Jr., O.A. Kuchar, and K.E. Wolf. Exploring the analytical processes of intelligence analysts. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 11–20, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- M.C. Chuah and S.F. Roth. On the semantics of interactive visualizations. In *Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS '96)*, INFOVIS '96, Washington, DC, USA, 1996. IEEE Computer Society.
- P. Clifton, A. Mazalek, J. Sanford, C. Rébola, S. Lee, and N. Powell. Skethtop: design collaboration on a multi-touch tabletop. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, pages 333–336, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- A. Cohé, F. Dècle, and M. Hachet. tbox: a 3d transformation widget designed for touch-screens. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 3005–3008, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- A. Cooper, R. Reimann, and D. Cronin. *About Face 3: The Essentials of Interaction Design*. John Wiley Sons; 3rd edition, Hoboken, New Jersey, 2007. ISBN 0470084111.
- E. Costanza, Shelley, and J. S. B., Robinson. D-touch: A consumer-grade tangible interface module and musical applications. In *Proceedings of Conference on HumanComputer Interaction (HCI03)*, pages 8–12, 2003.
- L.M. Cysneiros, V.M. Werneck, and A. Kushniruk. Reusable knowledge for satisficing usability requirements. In *Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering*, pages 463–464, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- F. Daiber, J. Schöning, and A. Krüger. Towards a framework for whole body interaction with geospatial data. In David England, editor, *Whole Body Interaction*, Human-Computer Interaction Series, pages 197–207. Springer London, 2011.
- J.-B. de la Rivière, C. Kervégant, E. Orvain, and N. Dittlo. Cubtile: a multi-touch cubic interface. In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 69–72, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- A. Dearden and J. Finlay. Pattern languages in hci: A critical review. *Human-Computer Interaction*, 21(1):49–102, 2006.
- P. Dietz and D. Leigh. Diamondtouch: a multi-user touch technology. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 219–226. ACM, 2001.

- R.F. Dillon, J.D. Edey, and J.W. Tombaugh. Measuring the true cost of command selection: techniques and results. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 19–26, New York, NY, USA, 1990. ACM.
- A. Dridger. Konzeption, realisierung und evaluierung von berührungslosen, direkten sowie kontinuierlichen 3d-interaktionstechniken mithilfe von tiefenkameras. Master’s thesis, University of Paderborn, Germany, 2012.
- dSensingNI. Webseite: dsensingni. <http://dsensingni.net> (zuletzt besucht am 05.01.2013).
- Duden. *Duden Deutsches Universalwörterbuch*. Bibliographisches Institut FA Brockhaus AG, 2012. ISBN 978-3411055074.
- M.R. Endsley. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, pages 32–64, 1995.
- P. Erren and R. Keil. Semantic positioning as a means for visual knowledge structuring. In *Proceedings of the First European conference on Technology Enhanced Learning: innovative Approaches for Learning and Knowledge Sharing*, pages 591–596, Berlin, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag.
- J. Eschenlohr. Entwicklung und evaluierung von 3d-interaktionstechniken mittels sensorik mobiler endgeräte. Master’s thesis, University of Paderborn, Germany, 2012.
- K. Everitt, K. Ryall, and C. Shen. Observations of a shared tabletop study. In *CSCW 2004*, 2004.
- A. Fast. Konzeption, entwicklung und evaluierung eines computer-vision- und machine-sensing-frameworks zur realisierung von tiefenkamerabasierten, be-greifbaren mensch-maschine-schnittstellen. Master’s thesis, University of Paderborn, Germany, 2011.
- S. Few. *Data Visualization for Human Perception*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2010. URL [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/data\\_visualization\\_for\\_human\\_perception.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/data_visualization_for_human_perception.html).
- S. Fincher. Perspectives on hci patterns: concepts and tools (introducing plml). *Interfaces*, (56):26–28, 2003.
- Holger Fischer and Florian Klompmaker. Enriching disaster control management based on human-centered design. 2012.
- K.P. Fishkin. A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(5):347–358, 2004.

- fljot / Gestouch. Webseite: fljot / gestouch. <https://github.com/fljot/Gestouch> (zuletzt besucht am 04.04.2013).
- C. Forlines and R. Lilien. Adapting a single-user, single-display molecular visualization application for use in a multi-user, multi-display environment. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pages 367–371, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- C. Forlines, A. Esenther, C. Shen, D. Wigdor, and K. Ryall. Multi-user, multi-display interaction with a single-user, single-display geospatial application. pages 273–276, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- C. Forlines, D. Wigdor, C. Shen, and R. Balakrishnan. Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 647–656, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- M. Frisch, R. Langner, S. Kleinau, and R. Dachsel. A multi-touch alignment guide for interactive displays. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 255–256, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- C.-W. Fu, W.-B. Goh, and J.A. Ng. Multi-touch techniques for exploring large-scale 3d astrophysical simulations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2213–2222, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- Nick Gillian. Webseite: Gesture recognition toolkit. <http://www.nickgillian.com/software/grt> (zuletzt besucht am 04.04.2013).
- M.G. Gorbet and M. Orth. Triangles: design of a physical/digital construction kit. In *Proceedings of the 2nd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques*, pages 125–128, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- S. Greenberg and D. Marwood. Real time groupware as a distributed system: concurrency control and its effect on the interface. In *Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 207–217, New York, NY, USA, 1994. ACM.
- J. Grudin and S. Poltrock. *CSCW - Computer Supported Cooperative Work*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2012. URL [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/cscw\\_computer\\_supported\\_cooperative\\_work.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/cscw_computer_supported_cooperative_work.html).
- S. Gutwein. Computer support for collaborative creativity. Technical report, University of Munich Department of Computer Science Media Informatics Group, 2013.



- C. Gutwin and S. Greenberg. A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 11:411–446, 2002.
- V. Ha, K.M. Inkpen, T. Whalen, and R.L. Mandryk. Direct intentions: The effects of input devices on collaboration around a tabletop display. In *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*, pages 177–184, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.
- M. Hancock, Th. ten Cate, and S. Carpendale. Sticky tools: full 6dof force-based interaction for multi-touch tables. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 133–140, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- M. Hassenzahl. *User Experience and Experience Design*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2013. URL [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/user\\_experience\\_and\\_experience\\_design.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/user_experience_and_experience_design.html).
- M. Herczeg. *Interaktionsdesign*. Oldenbourg Verlag, München, Deutschland, 2006. ISBN 978-3-486-27565-0.
- K.P. Herndon, A. van Dam, and M. Gleicher. The challenges of 3d interaction: a chi '94 workshop. *SIGCHI Bull.*, 26(4):36–43, 1994. ISSN 0736-6906. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/191642.191652>.
- O. Hilliges, S. Izadi, A.D. Wilson, S. Hodges, A. Garcia-Mendoza, and A. Butz. Interactions in the air: adding further depth to interactive tabletops. In *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 139–148, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- S.R. Hiltz, K. Johnson, and M. Turoff. Experiments in group decision making communication process and outcome in face-to-face versus computerized conferences. *Human Communication Research*, 13(2): 225–252, 1986.
- J. Hirche, P. Bomark, M. Bauer, and P. Solyga. Adaptive interface for text input on large-scale interactive surfaces. In *Horizontal Interactive Human Computer Systems, 2008. TABLETOP 2008. 3rd IEEE International Workshop on*, pages 153–156. IEEE, 2008.
- M. Hirsch, D. Lanman, H. Holtzman, and R. Raskar. Bidi screen: a thin, depth-sensing lcd for 3d interaction using light fields. *ACM Trans. Graph.*, 28(5):159:1–159:9, 2009.
- D. Hix and H.R. Hartson. *Developing user interfaces: ensuring usability through product & process*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1993.

- E. Hornecker, P. Marshall, N.S. Dalton, and Y. Rogers. Collaboration and interference: awareness with mice or touch input. In *Proceedings of the 2008 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 167–176, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- P. Isenberg, D. Fisher, S.A. Paul, M.R. Morris, K. Inkpen, and M. Czerwinski. Co-located collaborative visual analytics around a tabletop display. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(5):689–702, 2012.
- S. Izadi, S. Hodges, A. Butler, D. West, A. Rustemi, M. Molloy, and W. Buxton. Thinsight: a thin form-factor interactive surface technology. *Commun. ACM*, 52(12):90–98, 2009.
- M. Jackson. *Problem frames: analyzing and structuring software development problems*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2001. ISBN 0-201-59627-X.
- R.J.K. Jacob, A. Girouard, L.M. Hirshfield, M.S. Horn, O. Shaer, E.T. Solovey, and J. Zigelbaum. Reality-based interaction: a framework for post-wimp interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 201–210, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- P. Jankowski, T.L. Nyerges, A. Smith, T.J. Moore, and E. Horvath. Spatial group choice: a sdss tool for collaborative spatial decision-making. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(6):577–602, 1997.
- Y. Jansen, T. Karrer, and J. Borchers. Mudpad: localized tactile feedback on touch surfaces. In *Adjunct proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 385–386, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- E.A. Johnson. Touch display—a novel input/output device for computers. *Electronics Letters*, 1(8):219–220, 1965.
- S. Jordà. The reactable: tangible and tabletop music performance. In *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 2989–2994, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- R. Jota, M.A. Nacenta, J.A. Jorge, S. Carpendale, and S. Greenberg. A comparison of ray pointing techniques for very large displays. In *Proceedings of Graphics Interface 2010*, pages 269–276, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2010. Canadian Information Processing Society.
- H. Jung, S. Raupach, Ch. Reimann, F. Klompaker, and K. Nebe. Kollaborative interaktion mit geografischem kartenmaterial auf multi-touch displays. In Ulrik Schroeder, editor, *Mensch Computer Workshopband*, pages 31–32. Logos Verlag, 2010. URL <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mc/mc2010w.html#JungRRKN10>.

- H. Jung, K. Nebe, F. Klompaker, and H. Fischer. Authentifizierte eingaben auf multitouch-tischen. In *Kollaboratives Arbeiten an inter-aktiven Displays, Workshop im Rahmen der Mensch und Computer 2011*, München, Deutschland, 2011. Oldenbourg Verlag.
- Y. Jung, J. Keil, J. Behr, S. Webel, M. Zöllner, T. Engelke, H. Wuest, and M. Becker. Adapting x3d for multi-touch environments. In *Proceedings of the 13th international symposium on 3D web technology*, pages 27–30, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- M. Kaltenbrunner, T. Bovermann, R. Bencina, and E. Costanza. Tuio: A protocol for table-top tangible user interfaces. In *Proc. of the The 6th Int'l Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation*, 2005.
- H. Kato and M. Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality*, pages 85–94, Washington, DC, USA, 1999. IEEE Computer Society.
- R. Keil and H. Selke. Virtual learning spaces for co-active learning. In *Proceedings of the International Conference on Improving University Teaching*, Bielefeld, 2011.
- K. Kin, M. Agrawala, and T. DeRose. Determining the benefits of direct-touch, bimanual, and multifinger input on a multitouch workstation. In *Proceedings of Graphics Interface 2009*, pages 119–124, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2009. Canadian Information Processing Society.
- Kinect-SDK. Webseite: Kinect for windows. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/> (zuletzt besucht am 05.01.2013).
- F. Klompaker and R. Ajaj. Towards multi-touch map interaction on tabletops: State of the art and design recommendations. In *31st Annual Conference of the European Association for Computer Graphics. Eurographics*, 2010.
- F. Klompaker and K. Nebe. Towards 3d multitouch interaction widgets. In *Workshop on Interaction Techniques in Real and Simulated Assistive Smart Environments. Workshop at the First International Joint Conference on Ambient Intelligence*. Springer, 2010.
- F. Klompaker and V. Paelke. Ein taxonomie basierter ansatz des interaction designs am beispiel koaktiver 3d geo-visualisierungen. In Ch. Geiger, J. Herder, and T. Vierjahn, editors, *Virtuelle und Erweiterte Realität 2012, VR/AR*, pages 1–12. Shaker, 2012. ISBN 978-3-8440-1309-2.

- F. Klompaker and Ch. Reimann. A taxonomy of mixed reality interaction techniques. In *Proceedings of the 10th International Conference on Humans and Computers*, 2007.
- F. Klompaker, K. Schrage, and Ch. Reimann. Indie: A framework for human computer interaction in distributed environments. In *Proceedings of ACM Mobility Conference*. ACM Press, 2009.
- F. Klompaker, K. Nebe, and Ch. Reimann. Tangimals - an educational multi-user tabletop game. In *Proceedings of Interactive Tabletops and Surfaces*. ACM Press, 2010.
- F. Klompaker, A. Dridger, and A. Fast. Kollaboratives arbeiten an tiefenkamerabasierten interaktiven displays. In Maximilian Eibl and Marc Ritter, editors, *Mensch Computer Workshopband*, pages 59–62. Universitätsverlag Chemnitz, 2011a.
- F. Klompaker, K. Nebe, and H. Jung. Smart fiducials : Advanced tangible interaction techniques through dynamic visual patterns. In *Workshop on Interacting with Smart Objects, International Conference on Intelligent User Interfaces*, 2011b.
- F. Klompaker, A. Dridger, and K. Nebe. Evaluation of whole-body navigation and selection techniques in immersive 3d environments. In *Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences Computers and Information in Engineering Conference*. ASME, 2012a.
- F. Klompaker, H. Fischer, and H. Jung. Authenticated tangible interaction using rfid and depth-sensing cameras supporting collaboration on interactive tabletops. In *Proceedings of The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, pages 141—144. IARIA, 2012b.
- F. Klompaker, K. Nebe, and J. Eschenlohr. Towards multimodal 3d tabletop interaction using sensor equipped mobile devices. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Mobile Computing, Applications and Services*, 2012c.
- F. Klompaker, K. Nebe, and A. Fast. dsensingni: a framework for advanced tangible interaction using a depth camera. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, pages 217–224, New York, NY, USA, 2012d. ACM.
- F. Klompaker, V. Paelke, and H. Fischer. A taxonomy-based approach towards nui interaction design. In Norbert Streitz and Constantine Stephanidis, editors, *Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*, volume 8028 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 32–41. Springer Berlin Heidelberg, 2013a. ISBN 978-3-642-39350-1. doi: 10.1007/978-3-642-39351-8\_4. URL [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39351-8\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39351-8_4).

- F. Klompmaker, V. Paelke, and H. Fischer. A taxonomy-based approach towards nui interaction design. In *Work in Progress Track at the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, pages 32–41. ACM, 2013b.
- F. Klompmaker, A. Workowski, W. Thronicke, F. Ostermair, D. Willemssen, and J. Hoffmann. User centered design of an interactive mobile assistance and supervision system for rehabilitation purposes. In B. Godara and K.S. Nikita, editors, *Wireless Mobile Communication and Healthcare*, volume 61 of *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 41–50. Springer Berlin Heidelberg, 2013c. ISBN 978-3-642-37892-8. doi: 10.1007/978-3-642-37893-5\_5.
- W.J. Koschnik. *Standardwörterbuch für die Sozialwissenschaften*. Schäffer-Poeschel Verlag, München London New York Paris, 1993. ISBN 3-598-11080-4.
- R. Kruger, S. Carpendale, S.D. Scott, and S. Greenberg. Roles of orientation in tabletop collaboration: Comprehension, coordination and communication. *Comput. Supported Coop. Work*, 13(5-6):501–537, 2004.
- R. Kruger, S. Carpendale, S.D. Scott, and A. Tang. Fluid integration of rotation and translation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 601–610, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- W. Kunz and H. Rittel. *Issues as Elements of Information Systems*. Center for Planning and Development Research, University of California at Berkeley, 1970.
- G. Kurtenbach and E. Hulteen. Gestures in human-computer communication. In *The Art and Science of Interface Design*, pages 309–317. Brenda Laurel, Ed., Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., 1990.
- A. Lecerof and F. Paterno. Automatic support for usability evaluation. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 24(10):863–888, 1998.
- J. Leitner and M. Haller. Geckos: Combining magnets and pressure images to enable new tangible-object design and interaction. In *CHI '11: Proceedings of the 29th international conference on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- J. Leitner, J. Powell, P. Brandl, T. Seifried, M. Haller, B. Dorrar, and P. To. Flux: a tilting multi-touch and pen based surface. In *CHI EA '09: Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 3211–3216, New York, NY, USA, 2009. ACM.

- T. Leyvand, C. Meekhof, Y.-C. Wei, J. Sun, and B. Guo. Kinect identity: Technology and experience. *Computer*, 44(4):94–96, 2011.
- J. Liu, D. Pinelle, S. Sallam, S. Subramanian, and C. Gutwin. Tnt: improved rotation and translation on digital tables. In *Proceedings of Graphics Interface 2006*, pages 25–32, Toronto, Ont., Canada, 2006. Canadian Information Processing Society.
- J. Lowgren. *Visual Representation*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2011. URL [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/visual\\_representation.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/visual_representation.html).
- J. Lowgren. *Interaction Design*. The Interaction Design Foundation, Aarhus, Denmark, 2013. URL [http://www.interaction-design.org/encyclopedia/interaction\\_design.html](http://www.interaction-design.org/encyclopedia/interaction_design.html).
- P.B. Lowry, N.C. Roberts, T.L. Romano, P.D. Cheney, and R.T. Hightower. The impact of group size and social presence on small group communication : does computer mediated communication make a difference? *Small Group Research*, 37(6):631–661, 2006.
- J.F. Lucas, J.-S. Kim, and D.A. Bowman. Resizing beyond widgets: object resizing techniques for immersive virtual environments. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 1601–1604, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- I.S. MacKenzie and W. Buxton. Extending fitts' law to two-dimensional tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 219–226, New York, NY, USA, 1992. ACM.
- N. Marquardt, J. Kiemer, and S. Greenberg. What caused that touch?: expressive interaction with a surface through fiduciary-tagged gloves. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 139–142, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- A. Martinet, G ry Casiez, and L. Grisoni. 3d positioning techniques for multi-touch displays. In *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 227–228, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- A. Martinet, G. Casiez, and L. Grisoni. The design and evaluation of 3d positioning techniques for multi-touch displays. In *IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, pages 115–118. IEEE Computer Society, 2010.
- J.E. McGrath. Time, interaction, and performance (tip): A theory of groups. *Small Group Research*, 22(2):147–174, 1991.
- N. Mehta. A Flexible Machine Interface. Master's thesis, Department of Electrical Engineering, University of Toronto, 1982.
- metaio. Webseite: metaio - augmented reality products & solutions. <http://www.metaio.com> (zuletzt besucht am 27.11.2012).

- T. Meyer and D. Schmidt. Idwristbands: Ir-based user identification on multi-touch surfaces. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 277–278, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- G.A. Miller. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2):81–97, 1956.
- M.R. Mine. Virtual environment interaction techniques. Technical report, UNC Chapel Hill CS Dept, 1995.
- M.R. Mine, F.P.Jr. Brooks, and C.H. Sequin. Moving objects in space: exploiting proprioception in virtual-environment interaction. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 19–26, New York, NY, USA, 1997. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- T.P. Moran. The command language grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15(1):3–50, 1981.
- M.R. Morris, A. Cassanego, A. Paepcke, T. Winograd, A.M. Piper, and A. Huang. Mediating group dynamics through tabletop interface design. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 26(5):65–73, 2006a.
- M.R. Morris, A. Paepcke, and T. Winograd. Teamsearch: Comparing techniques for co-present collaborative search of digital media. In *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*, pages 97–104, Washington, DC, USA, 2006b. IEEE Computer Society.
- T. Moscovich and J.F. Hughes. Indirect mappings of multi-touch input using one and two hands. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1275–1284, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- Tobias Müller, Karsten Nebe, and Florian Klomp maker. Base requirements for virtual tabletop groupware artifacts. In Harald Reiterer and Oliver Deussen, editors, *Mensch Computer Workshopband*, pages 461–466. Oldenbourg Verlag, 2012.
- K. Nebe. *Integration von Software Engineering und Usability Engineering*. Shaker Verlag, Aachen, Deutschland, 2009. ISBN 978-3-8322-8074-1.
- K. Nebe, F. Klomp maker, F. Dridger, A. Fast, and Eschenlohr J. Gebrauchsmusteranmeldung 'dynamische marker-muster', aktenzeichen 20 2011 004 584.6, 2010.
- K. Nebe, H. Fischer, F. Klomp maker, and H. Jung. Multitouch-, be-greifbare- und stiftbasierte-interaktion in der einsatzlageplanung. In

- Mensch Computer*, pages 263–273. Oldenbourg Verlag, 2011a. ISBN 978-3-486-71235-3.
- K. Nebe, F. Klompmaker, H. Jung, and H. Fischer. Exploiting new interaction techniques for disaster control management using multitouch-, tangible- and pen-based-interaction. In JulieA. Jacko, editor, *Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Environments*, volume 6762 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 100–109. Springer Berlin Heidelberg, 2011b. ISBN 978-3-642-21604-6. doi: 10.1007/978-3-642-21605-3\_11.
- K. Nebe, T. Müller, and F. Klompmaker. An investigation on requirements for co-located group-work using multitouch-, pen-based- and tangible-interaction. In JulieA. Jacko, editor, *Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Environments*, volume 6762 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 90–99. Springer Berlin Heidelberg, 2011c. ISBN 978-3-642-21604-6. doi: 10.1007/978-3-642-21605-3\_10. URL [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-21605-3\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-21605-3_10).
- Masuhr-J. Nebe, K and, F. Klompmaker, and Ch. Reimann. Context-aware information systems for in-car use: A user study. 2009.
- J. Nielsen. The usability engineering life cycle. *Computer*, 25(3):12–22, 1992.
- C. North, T. Dwyer, B. Lee, D. Fisher, P. Isenberg, G. Robertson, and K. Inkpen. Understanding multi-touch manipulation for surface computing. In *Proceedings of the 12th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction: Part II*, pages 236–249, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.
- NUI-Group. *Multi-Touch Technologies*. NUI-Group, 1st edition [Community Release]. URL [http://nuicode.com/attachments/download/115/Multi-Touch\\_Technologies\\_v1.01.pdf](http://nuicode.com/attachments/download/115/Multi-Touch_Technologies_v1.01.pdf).
- ofxFiducialFinder. Webseite: ofxding - my openframeworks addons c++. <http://code.google.com/p/ofxding/wiki/ofxFiducialFinder> (zuletzt besucht am 27.11.2012).
- I.C. Olson, Z. Atrash Leong, U. Wilensky, and M.S. Horn. It's just a toolbar!: using tangibles to help children manage conflict around a multi-touch tabletop. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, pages 29–36, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- OpenNI. Webseite: Openni, the standard framework for 3d sensing. <http://http://www.openni.org> (zuletzt besucht am 05.01.2013).
- N. Osawa and K. Asai. Adjustment and control methods for precise rotation and positioning of virtual object by hand. In *Proceedings*



- of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry, pages 131–138, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- V. Paelke, K. Nebe, F. Klompaker, and H. Jung. Multi-touch interaction for disaster management. In *GeoViz 2011*, 2011.
- V. Paelke, K. Nebe, Ch. geiger, F. Klompaker, and H. Fischer. esigning multi-modal map-based interfaces for disaster management. In *Proceedings of The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, pages 95–100. IARIA, 2012.
- F. Paterno, C. Mancini, and S. Meniconi. Engineering task models. *Engineering of Complex Computer Systems, IEEE International Conference on*, 0:69, 1997.
- M. Peissner and C. Hipp. Potenziale der mensch-technik interaktion für die effiziente und vernetzte produktion von morgen. 2013.
- C. Plaisant, D. Carr, and B. Shneiderman. Image-browser taxonomy and guidelines for designers. *IEEE Softw.*, 12(2):21–32, 1995.
- I. Poupyrev, S. Weghorst, M. Billinghurst, and T. Ichikawa. A framework and testbed for studying manipulation techniques for immersive vr. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 21–28, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- I. Poupyrev, T. Ichikawa, S. Weghorst, and M. Billinghurst. Egocentric object manipulation in virtual environments: Empirical evaluation of interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, 17(3):41–52, 1998.
- D. Pyryeskin, M. Hancock, and J. Hoey. Comparing elicited gestures to designer-created gestures for selection above a multitouch surface. In *Proceedings of the 2012 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces*, pages 1–10, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- R. Ramakers, D. Vanacken, K. Luyten, K. Coninx, and J. Schöning. Carpus: a non-intrusive user identification technique for interactive surfaces. In *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 35–44, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- G. Ramos, M. Boulos, and R. Balakrishnan. Pressure widgets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 487–494, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- reactIVision. Webseite: reactivision 1.4. <http://reactivision.sourceforge.net> (zuletzt besucht am 27.11.2012).
- J.L. Reisman, Ph.L. Davidson, and J.Y. Han. A screen-space formulation for 2d and 3d direct manipulation. In *Proceedings of the 22nd*

- annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 69–78, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- G. Reitmayr and D. Schmalstieg. Opentracker-an open software architecture for reconfigurable tracking based on xml. In *Proceedings of the Virtual Reality 2001 Conference (VR'01)*, pages 285–290, Washington, DC, USA, 2001. IEEE Computer Society.
- H.W.J. Rittel and M.M. Webber. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4:155–169, 1973.
- J.C. Roberts, Computing Laboratory, University of Kent, and Uk. On encouraging multiple views for visualisation. In *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*, pages 8–14, Washington, DC, USA, 1998. IEEE Computer Society.
- Yvonne Rogers and Si  n Lindley. Collaborating around vertical and horizontal large interactive displays: which way is best? *Interacting with Computers*, 16(6):1133 – 1152, 2004.
- K. Ryall, C. Forlines, C. Shen, and M.R. Morris. Exploring the effects of group size and table size on interactions with tabletop shared-display groupware. In *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 284–293, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- W.A. Schafer and D.A. Bowman. Integrating 2d and 3d views for spatial collaboration. In *Proceedings of the 2005 international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*, pages 41–50, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- D. Schmalstieg and D. Wagner. Experiences with handheld augmented reality. In *Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 1–13, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society.
- D. Schmidt, M.K. Chong, and H. Gellersen. Handsdown: hand-contour-based user identification for interactive surfaces. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, pages 432–441, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- S.D. Scott, K.D. Grant, and R.L. Mandryk. System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display. In *Proceedings of ECSCW 2003*, pages 159–178, 2003.
- C. Shen, M.S. Hancock, C. Forlines, and F.D. Vernier. Cor2ds: Context-rooted rotatable draggables for tabletop interaction, 2005.
- Ch. Shen, K. Ryall, C. Forlines, A. Esenther, F.D. Vernier, K. Everitt, M. Wu, D. Wigdor, M.R. Morris, M. Hancock, and E. Tse. Informing

- the design of direct-touch tabletops. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 26 (5):36–46, 2006.
- B. Shneiderman. The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations. In *IEEE Symposium on Visual Languages*, pages 336–343. IEEE Computer Society, 1996.
- K. Shoemake. Arcball: a user interface for specifying three-dimensional orientation using a mouse. In *Proceedings of the conference on Graphics interface '92*, pages 151–156, San Francisco, CA, USA, 1992. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Sparsh-ui. Webseite: Sparsh-ui - a multitouch api for any multi-touch hardware / software system. <http://code.google.com/p/sparsh-ui/> (zuletzt besucht am 27.11.2012).
- M. Specker and M. DÜchting. Musterbasiertes usability engineering am beispiel eines landkartenbrowsers. In *Mensch Computer 2009*, pages 363–372, München, Deutschland, 2009. Oldenbourg Verlag.
- C. Stangor. *Social Groups in Action and Interaction*. Psychology Press, 2004. ISBN 978-1841694078.
- K. Stanney. Realizing the full potential of virtual reality: human factors issues that could stand in the way. In *Virtual Reality Annual International Symposium*, pages 28–34, 1995.
- O. Stock, M. Zancanaro, C. Koren, C. Rocchi, Z. Eisikovits, D. Gorenbar, D. Tomasini, and P. Weiss. A co-located interface for narration to support reconciliation in a conflict: initial results from jewish and palestinian youth. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1583–1592, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- J. Stöcklein, M. Bolte, F. Klomp maker, Ch. Geiger, and K. Nebe. Interaktive illustration heuristischer optimierungsverfahren zur wegeplanung. In *Augmented Virtual Reality in der Produktentstehung*. Heinz Nixdorf Institut, 2010.
- Süddeutsche Zeitung 04.07.2013. Süddeutsche zeitung - erfinder der computermaus ist tot.
- A. Tang, M. Tory, B. Po, P. Neumann, and S. Carpendale. Collaborative coupling over tabletop displays. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1181–1190, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- Russell M. Taylor, II, T.C. Hudson, A. Seeger, H. Weber, J. Juliano, and A.T. Helser. Vrpn: a device-independent, network-transparent vr peripheral system. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 55–61, New York, NY, USA, 2001. ACM.

- J. Tidwell. *Designing Interfaces: Patterns for Effective Interaction Design*. O'Reilly Media, Sebastopol, CA, USA, 2006. ISBN 1449379702.
- F.R. Tolmasky, R. Williamson, C. Blumenberg, and P.L. Coffman. Portable multifunction device, method, and graphical user interface for translating displayed content, 2011. URL <https://www.google.com/patents/US7966578>. US Patent 7,966,578.
- P. Tuddenham, D. Kirk, and S. Izadi. Graspables revisited: multi-touch vs. tangible input for tabletop displays in acquisition and manipulation tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2223–2232, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- Unity. Webseite: Unity, game engine. <http://unity3d.com> (zuletzt besucht am 05.01.2013).
- Multi-Touch Vista. Webseite: Multi-touch vista. <http://multitouchvista.codeplex.com> (zuletzt besucht am 27.11.2012).
- D. Wagner and D. Schmalstieg. Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices. In *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop*, pages 139–146, 2007.
- F. Wang and X. Ren. Empirical evaluation for finger input properties in multi-touch interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1063–1072, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- C. Ware and S. Osborne. Exploration and virtual camera control in virtual three dimensional environments. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 24(2):175–183, 1990.
- D. Wigdor and D. Wixon. *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1st edition, 2011. ISBN 0123822319, 9780123822314.
- Wikipedia. Webseite: Wikipedia, the free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/> (zuletzt besucht am 10.01.2013).
- L. Wilkinson, D. Wills, D. Rope, A. Norton, and R. Dubbs. *The Grammar of Graphics*. Statistics and Computing. Springer, 2005. ISBN 9780387245447.
- A.D. Wilson. Depth-sensing video cameras for 3d tangible tabletop interaction. In *Proceedings of Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*, pages 201–204, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society.

- A.D. Wilson. Simulating grasping behavior on an imaging interactive surface. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 125–132, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- A.D. Wilson. Using a depth camera as a touch sensor. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 69–72, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- A.D. Wilson and H. Benko. Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 273–282, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- A. Withana, M. Kondo, Y. Makino, G. Kakehi, M. Sugimoto, and M. Inami. Impact: Immersive haptic stylus to enable direct touch and manipulation for surface computing. *Comput. Entertain.*, 8(2), 2010.
- J. A. Wolfeld. Real time control of a robot tactile sensor. Master’s thesis, Moore School of Electrical Engineering, Philadelphia, 1981.
- A. Wu, D. Reilly, A. Tang, and A. Mazalek. Tangible navigation and object manipulation in virtual environments. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, pages 37–44, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- J.S. Yi, Y.A. Kang, J. Stasko, and J. Jacko. Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6):1224–1231, 2007.
- H. Zhang, X.-D. Yang, B. Ens, H.-N. Liang, P. Boulanger, and P. Irani. See me, see you: a lightweight method for discriminating user touches on tabletop displays. In *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2327–2336, New York, NY, USA, 2012. ACM.