

Thomas Schüler

Abstrakte virtuelle Illusionen für die Schlaganfalltherapie

Wie mit Hilfe virtueller Umgebungen
motorisches Lernen gefördert
werden kann

Abstrakte virtuelle Illusionen für die Schlaganfalltherapie

Thomas Schüler

Abstrakte virtuelle Illusionen für die Schlaganfalltherapie

Wie mit Hilfe virtueller Umgebungen
motorisches Lernen gefördert
werden kann

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Joachim Hertzberg

Thomas Schüler
Osnabrück, Deutschland

Als Dissertation erschienen im Fachbereich Informatik an der Universität Osnabrück, 2014.

Diese Arbeit wurde gefördert durch ein Promotionsstipendium der Heinrich Böll Stiftung, Berlin.

ISBN 978-3-658-10060-5

ISBN 978-3-658-10061-2 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-658-10061-2

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2015

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

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

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

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Geleitwort

Die Informatik und die Informationstechnik als ihre kommerzielle Inkarnation lösen sich mehr und mehr aus der Starre ihres Herkunftsbildes, der Befassung mit formalen Problemen, um große Rechner in unzugänglichen Rechenzentren mit kryptischen Anweisungen zu versorgen – ich überzeichne bewusst. Glücklicherweise sehen wir es immer öfter, dass in „Dingen“ die Informationstechnik verschwindet hinter der Funktion, wie es bei gutem Design eigentlich immer der Fall sein sollte. Eine erhebliche Verstärkung dieser Entwicklung haben Computerspiele bewirkt, inzwischen auch die massenweise Verbreitung von Smartphones und natürlich nicht zuletzt die Tatsache, dass Kinder und Jugendliche inzwischen seit Jahren oder gar Jahrzehnten unter Umgang mit Computern aufwachsen. Etwas wie serious games, soziale Netzwerke oder auch Wikipedia wären vor 30 Jahren technologisch möglich, aber psychologisch und gesellschaftlich undenkbar gewesen.

Damit in Einklang bieten sich völlig neue Einsatz-Szenarien für Informationstechnik und entsprechend zugehörige neue Forschungsfragen. Einer solchen vor einigen Jahren noch nicht sinnvollen Frage geht die Dissertation von Thomas Schüler nach:

Kann eine virtuelle Umgebung entwickelt werden, die algorithmisch aufbereitete visuelle Illusionen als Rückmeldung auf Bewegungen anzeigt und die in der Schlaganfalltherapie zur Unterstützung des motorischen Lernens eingesetzt werden kann?

Die paradoxe Formulierung der „abstrakten virtuellen Illusionen“ im Titel der Arbeit ist natürlich bewusst gewählt: Es geht einerseits darum, die Rückmeldungen so zu erzeugen, dass in der Therapie eine Immersion der Patienten geschieht, die zu einem intuitiven Umgang mit

dem System führt, aber diese Immersion andererseits genau dadurch zu fördern, dass keine „realistischen“ Illusionen versucht werden (die bei überschaubarem Maß an Programmierarbeit und Prozessorleistung vermutlich eh zusammenbrechen werden), sondern sie mit abstrakten Bildern zu induzieren, bei denen sie durch das subjektive Gefühl der Kontrollierbarkeit für den Patienten zustande kommt.

Und? Kann eine solche Umgebung entwickelt werden? Wird sie es hier? Sicherlich gäbe es den vorliegenden Band nicht, wenn die Antwort negativ wäre – ich denke, das darf ich bereits an dieser Stelle sagen, ohne Thomas Schülers Text die Schau zu stehlen. Andererseits hat die Frage zu viele und zu reichhaltige Facetten, als dass man sie mit einem platten „Ja, und das geht so: ...“ beantworten kann. Die vorliegende Arbeit ist nicht zuletzt dadurch interessant und anregend, dass sie diese vielen Facetten sorgfältig beleuchtet, Schlüsse sehr vorsichtig zieht und am Ende fast mehr Fragen stellt als sie beantwortet. Das macht aber gerade ihren Reiz aus: Wer die Frage interessant findet und gerade deshalb nicht an einer kurzen Antwort im Management-Summary-Stil interessiert ist, der oder die wird Thomas Schülers Arbeit mit Gewinn lesen und ihre Ergebnisse wie die Fragen, die sie offenlegt, als die Basis fürs Weiterarbeiten sehen. Das Thema hat das Interesse Vieler verdient, und wer immer sich daran wagt, sollte die vorliegende Arbeit kennen.

Joachim Hertzberg

Danksagung

Der vorliegende Text ist das Ergebnis mehrerer Jahre Arbeit, in denen ich das Glück hatte, von vielen Menschen unterstützt und gefördert worden zu sein. Ohne diese Hilfe wäre das Fortkommen nicht denkbar gewesen und mein Dank gilt daher allen, die mir mit fachlichem Rat, bestärkenden Worten und Vertrauen zur Seite standen. Sie tragen einen wesentlichen Anteil an der Fertigstellung der Arbeit. Ich möchte einige Personen namentlich erwähnen.

Besonders bedanke ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Joachim Hertzberg, der mir den Weg in die Wissenschaft eröffnet hat und der stets mit Überzeugung hinter mir stand. Danke für die immer offene Tür, die hilfreichen Hinweise und das Sicherstellen optimaler Rahmenbedingungen bei der Arbeit als Forscher.

Weiterhin bedanke ich mich bei Prof. Dr. Karsten Morisse, der mir während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Osnabrück viele Freiheiten einräumte. Auch für die fachlichen und persönlichen Gespräche mit ihm bedanke ich mich herzlich.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Harry von Piekartz, der die Durchführung der Pilotstudie ermöglichte und der als klinischer Experte meine Arbeit unterstützt hat. Mein Dank gilt auch Sonja Drehlmann und Friederike Kane, die im Rahmen ihrer Bachelorarbeit die Planung, Durchführung und Auswertung der Studie maßgeblich mitgestaltet haben. Ich danke Dr. Belinda Lange für die Aufnahme in ihrer Arbeitsgruppe am Institute for Creative Technologies während meines Forschungsaufenthalts in Los Angeles und für die dadurch ermöglichten ersten Kontakte zu klinischen AnwenderInnen. Außerdem danke ich allen PatientInnen und TherapeutInnen, die sich bereit erklärten, das entwickelte Therapiesystem im Rahmen der Studie und in den Anwendungstests auszuprobieren.

Ein großes Dankeschön richte ich an die KorrekturleserInnen der Arbeit: meine Eltern Friedegunde und Hermann Schüler, meine Brüder Michael und Thorsten Schüler, Dina Zimmermann, Kim Schlippschuh, Jochen Sprickerhof, Séverine Marguin und Luara Ferreira dos Santos.

Abschließend sage ich den wichtigsten Menschen in meinem Leben danke für die unschätzbare Hilfestellung, die sie mir durch Sicherheit, Verständnis, Aufmerksamkeit und Zuneigung gewährt haben: meiner Familie und meiner Freundin Kim.

Thomas Schüler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage und Motivation	2
1.1.1	Ausgangslage	2
1.1.2	Motivation	4
1.2	Problemstellung	7
1.2.1	Forschungsfragen	7
1.2.2	Forschungsziele	8
1.2.3	Eingrenzung	9
1.3	Beitrag	10
1.3.1	Einordnung der Arbeit	11
1.3.2	Gesellschaftliche Bedeutung	13
1.4	Was ist virtuelle Realität?	16
1.5	Aufbau der Arbeit	18
2	Grundlagen	21
2.1	Virtuelle Rehabilitation - Stand der Forschung	22
2.1.1	Begriffsbestimmung	22
2.1.2	Erläuterung anhand von Beispielen	25
2.1.3	Merkmale der Virtuellen Rehabilitation	31
2.1.4	Evidenz des Einsatzes für die neurologische Rehabilitation	37
2.1.5	Verwandte Arbeiten	40
2.1.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	44
2.2	Neurologische Grundlagen	45
2.2.1	Pathologie des Schlaganfalls	47
2.2.2	Therapeutische Behandlung des Schlaganfalls	50
2.2.3	Motorische Aktion und motorisches Lernen	54

2.2.4	Spiegeltherapie	66
2.2.5	Abstrakte und virtuelle Illusionen von Bewegung	72
2.2.6	Zusammenfassung	79
2.3	Präsenzgefühl in virtueller Realität	80
2.3.1	Begriffsbestimmung	81
2.3.2	Präsenz und motorische Aktion	88
2.3.3	Hinweise für die Gestaltung von virtuellen Umgebungen	92
2.3.4	Zusammenfassung	97
2.4	Theoretische und praktische Aspekte der Interaktionsgestaltung mit virtueller Realität	98
2.4.1	Wahrnehmung	98
2.4.2	Theorien menschlichen Verhaltens	104
2.4.3	Gamification	112
2.4.4	Visualisierung	119
2.4.5	Zusammenfassung	124
3	Das Therapiesystem AVUS	127
3.1	Gestaltungsziele und erwartete therapeutische Wirkungen	127
3.1.1	Abstrakte Visualisierungen von Bewegungen . .	128
3.1.2	Kohärente Sinnesreize	129
3.1.3	Freie Exploration externer Bewegungseffekte . .	130
3.1.4	Identifikation mit abstrakten Illusionen	131
3.1.5	Übersicht der Gestaltungsziele und erwarteten Wirkungen	133
3.2	Anforderungen	136
3.2.1	Therapeutische Rahmenbedingungen	136
3.2.2	Technische Systemumgebung	140
3.3	Beschreibung des Therapiesystems	146
3.3.1	Virtuelle Umgebung	146
3.3.2	Benutzungsschnittstelle, Ablauf und Statistik .	160
3.4	Anwendungstests	168
3.4.1	Organisation und Durchführung	169
3.4.2	Ergebnisse und Auswirkungen auf die Systemgestaltung	171

4	Pilotstudie	179
4.1	Zielsetzung	180
4.1.1	Vorläufige Hypothesen	181
4.1.2	Postulierte Wirkungszusammenhänge	183
4.2	Rahmenbedingungen	185
4.2.1	Feldzugang	185
4.2.2	ProbandInnen	186
4.2.3	Forschungsethik	188
4.2.4	Zeitlicher Ablauf	190
4.3	Methodik	190
4.3.1	Forschungsprotokoll	190
4.3.2	Ablauf der Interventionen	194
4.3.3	Forschungsmethoden	198
4.3.4	Auswertung	209
4.4	Ergebnisse	214
4.4.1	Statistische Übersicht	215
4.4.2	Korrelation der erhobenen Daten	224
4.4.3	Fallstudien	229
4.4.4	Beurteilung der vorläufigen Hypothesen	252
5	Diskussion der Forschungsergebnisse	257
5.1	Erkenntnisse aus der Entwicklung und Anwendung der AVUS	258
5.1.1	Abstrakte Bewegungsvisualisierungen erweitern das Repertoire der neurologischen Therapie	258
5.1.2	Kohärente Sinnesreize binden die Aufmerksamkeit und animieren zu aktiver Bewegung	261
5.1.3	Externe Bewegungseffekte und Illusionen uneingeschränkter Bewegungen unterstützen die motorischen Rehabilitation	265
5.1.4	Die Anwendung der AVUS mit SchlaganfallpatientInnen ist plausibel	268
5.2	Potentiale	273
5.2.1	Abwechslungsreiche Therapieabläufe	273

5.2.2	Heimtraining	275
5.2.3	Automatisierte Auswertung von Bewegungsinformationen	276
5.2.4	Einsatz für andere Zielgruppen und therapeutische Ansätze	277
5.2.5	Erweiterung der auditiven Komponente	278
5.3	Einschränkungen	278
5.3.1	Prospektive Entwicklung und Anwendung	278
5.3.2	Mangelhafte Sensordaten	279
5.3.3	Geringe Immersion	281
5.4	Interaktionsgestaltung virtueller Umgebungen	281
5.4.1	Drei Arten von Rückmeldungen in virtuellen Umgebungen	282
5.4.2	Benutzerzentrierte Entwicklung von Therapiesystemen	286
5.4.3	Abstrakte Darstellungsformen im Kontext der Gamification	288
6	Schluss	291
6.1	Zusammenfassung und Fazit	291
6.2	Ausblick	297
	Literaturverzeichnis	303

Abbildungsverzeichnis

2.1	Einsatzformen Virtueller Rehabilitation	23
2.2	Trainingsspiele eines Therapiesystems für die Handrehabilitation	27
2.3	Trainingsspiele des iCTuS/PITS Therapiesystems . . .	29
2.4	Therapiesystem Jewel Mine	30
2.5	Virtuelle Umgebung des Rehabilitation Gaming Systems	41
2.6	Virtuelle Umgebung für die Behandlung von Phantomschmerzen	42
2.7	Elements VR System	44
2.8	Schematische Darstellung der sensomotorischen Bewegungsregulation	56
2.9	Therapieprinzip der Spiegeltherapie	67
2.10	Visualisierung menschlicher Bewegung mit Hilfe weniger markanter Punkte	76
2.11	Test der Bewegungsvorstellung	77
2.12	Gestaltfaktor der „guten Fortsetzung“	101
2.13	Rahmenbedingungen für das Erleben von Flow	109
2.14	„Growing Data“ von Cedric Kiefer	120
2.15	„Platonic Solids“ von Michael Hansmeyer	121
2.16	Beispiele für die Generative Kunst	122
2.17	Beispiele für den Einsatz der Generativen Gestaltung .	123
3.1	Sichtfeld des Microsoft Kinect Sensors	142
3.2	Programmierung in Processing	144
3.3	OpenNI Skelettstruktur und Hierarchie	145
3.4	Waveform Visualisierung	148
3.5	Beispiel einer quadratischen Bezierkurve	149
3.6	Generative Tree Visualisierung	151

3.7	Ellipsoidale Visualisierung	154
3.8	Varianten der Hintergrundgestaltung	157
3.9	Startmenü des AVUS Therapiesystems	162
3.10	HUD-Menü und Anzeige während der Startphase . . .	163
3.11	Eindruck aus den Anwendungstests	171
4.1	Flussdiagramm der Pilotstudie	192
4.2	Beispiele für Handbilder des Bewegungsvorstellungstests	202
4.3	Im Rahmen der Studie verwendete farbige Analogskala	204
4.4	Kodierungsschema der Interview-Aussagen	213
4.5	Übersicht über die statistischen Daten	215
4.6	Zurückgelegte Entfernungen der Hand- und Ellbogengelenke von Testperson SC	220
4.7	Kategorienhierarchie der Interview-Aussagen	223
4.8	Interview-Argumente nach Kategorien	223
4.9	Streudiagramme: Präsenzdimensionen und mentale Bewegungsvorstellung vs. funktionale Rehabilitation .	225
4.10	Streudiagramme: Präsenzdimensionen und funktionale Rehabilitation vs. Selbstbewertung der Leistung	226
4.11	Streudiagramme: Präsenzdimensionen, Selbstbeurteilung der Leistung und funktionale Rehabilitation vs. positive AVUS Argumente	228
4.12	Interview-Argumente der Patientin SC	232
4.13	Quantitative Ergebnisse der Patientin SC	233
4.14	Interview-Argumente des Patienten RI	236
4.15	Quantitative Ergebnisse des Patienten RI	237
4.16	Interview-Argumente des Patienten RE	241
4.17	Quantitative Ergebnisse des Patienten RE	241
4.18	Interview-Argumente des Patienten HG	246
4.19	Quantitative Ergebnisse des Patienten HG	246
4.20	Interview-Argumente des Patienten NE	251
4.21	Quantitative Ergebnisse des Patienten NE	251
5.1	Exergame „Child of Eden”	290

Tabellenverzeichnis

2.1	Spielgenres des BIU	113
2.2	Beispiele für Game Design Patterns	114
3.1	Technische Umgebung des Therapiesystems	140
3.2	Erkannte Gesten und Körperhaltungen	166
3.3	Von der Bibliotheksklasse <i>Skeleton</i> angebotene Informationen und Funktionen	167
3.4	Aufgezeichneten Bewegungsdaten	168
4.1	Kriterien zur Eingrenzung der Zielgruppe	187
4.2	Intervention der Experimentalgruppe	196
4.3	Intervention der Kontrollgruppe	198
4.4	Eingesetzte Forschungsmethoden	199
4.5	Im Leitfaden behandelten Themen	208
4.6	Kodierte Übersicht der Testpersonen	214
5.1	Therapeutisch relevante Rückmeldungen in virtuellen Umgebungen und deren Zusammenhang mit dem Präsenzgefühl	283

1 Einleitung

Diese Arbeit beschreibt die Hintergründe, die Umsetzung und die empirische Untersuchung eines technisch gestützten, therapeutischen Ansatzes für die Schlaganfalltherapie. Ein neu entwickeltes Therapiesystem, die *Abstrakte Virtuelle Umgebung für Schlaganfalltherapie (AVUS)*, wird vorgestellt und dessen praktischer Einsatz erläutert. Die Arbeit leistet einen Beitrag aus Sicht der angewandten Informatik zum Forschungsfeld der neurologischen Rehabilitation. Die gewählte Herangehensweise liefert Hinweise für die Interaktionsgestaltung mit virtuellen Umgebungen. Es werden die folgenden Abschnitte behandelt:

- Einführung in die Arbeit
- Übersicht über das Forschungsfeld der Virtuellen Rehabilitation.
- Analytische Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Schlaganfalltherapie, der psychologischen Wirkung virtueller Illusionen und der Interaktionsgestaltung mit virtuellen Umgebungen.
- Entwicklung von Gestaltungszielen und deren vermuteten therapeutischen Wirkungen.
- Beschreibung des auf dieser Auseinandersetzung aufbauenden Therapiesystems, sowie dessen iterativen und benutzerzentrierten Entwicklung.
- Erläuterung der empirischen Untersuchung des Therapiesystems in einer Pilotstudie. Vorstellung eines therapeutischen Ablaufs mit dem System.
- Diskussion der Forschungsergebnisse und Einordnung in den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext.
- Fazit und Ausblick

1.1 Ausgangslage und Motivation

In den vergangenen Jahren gab es auf den Gebieten der virtuellen Realität¹ sowie der neurologischen Rehabilitation Entwicklungen, die beide Bereiche aneinander heranführen. Auf der einen Seite wurden Technologien eingeführt, durch welche die Interaktion mit computergenerierten Welten auf Basis natürlicher Bewegungen kostengünstig, unkompliziert und zuverlässig erfolgen kann. Die Sensoren der Nintendo Wii und der Microsoft Kinect sind Geräte, die ohne großen Aufwand in jedem Wohnzimmer eingesetzt werden können, um Computerspiele und andere virtuelle Umgebungen zu steuern.

Gleichzeitig verfolgen neue therapeutische Ansätze das Ziel, das motorische Lernen nach einer neurologischen Schädigung mit Hilfe visueller Informationen zu unterstützen. Diese Informationen werden synchron zur Bewegung von PatientInnen erzeugt und trainieren die kognitive Regelung der motorischen Aktion über die visuelle Wahrnehmung. Solche therapeutischen Ansätze können von der Verwendung virtueller Umgebungen profitieren, wenn diese durch natürliche Bewegungen gesteuert werden. Mit Hilfe des Computers wird es möglich, visuelle Informationen als Reaktion auf Bewegungen gezielt aufbereitet zu erzeugen.

1.1.1 Ausgangslage

Eine zunehmend verbreitete Therapieform, die den beschriebenen Ansatz verfolgt, ist die Spiegeltherapie (siehe Kapitel 2.2.4). Hierbei wird die visuelle Illusion einer korrekten Bewegung für das motorische Lernen genutzt. SchlaganfallpatientInnen mit Hemiparese² verwenden

¹Virtuelle Realität bezeichnet im Kontext dieser Arbeit eine computergenerierte, dreidimensionale Umgebung, mit der NutzerInnen in einem kontinuierlichen zeitlichen Ablauf interagieren können. Diese Definition des Begriffs ist relativ eng gefasst, eine kurze Auseinandersetzung mit anderen Definitionen erfolgt in Abschnitt 1.4.

²Hemiparese bezeichnet eine neurologisch bedingte (teilweise) Lähmung der Extremitäten einer Körperseite, die häufig nach Hirnschädigungen wie einem Schlaganfall auftritt.

einen Spiegel, der auf ihrer sagittalen Körperachse vor ihnen so positioniert ist, dass er das Spiegelbild der gesunden Körperseite zeigt. Die PatientInnen bewegen nun die gesunde Extremität während sie sich darauf konzentrieren, das Spiegelbild als visuelle Rückmeldung für die Bewegung ihrer betroffenen Körperseite zu verwenden. Es entsteht der Eindruck synchroner, bilateraler Bewegung, obwohl aufgrund des Schlaganfalls die betroffene Seite tatsächlich eingeschränkt ist. Dabei finden Trainingseffekte hinsichtlich der eingeschränkten Extremität statt.

Die therapeutische Wirkung der Spiegeltherapie beruht auf der sogenannten sensomotorischen Bewegungsregulation. Demnach sind motorische Aktionen durch das zentrale Nervensystem im Sinne einer Rückkopplungsschleife geregelt (vgl. Kapitel 2.2.3). Jede komplexe Bewegungshandlung besteht aus einer fein granularen Wiederholung der Schritte Bewegungsvorstellung, -planung, -durchführung und -evaluation. Im Zuge der Evaluation werden die wahrgenommenen Sinnesreize mit dem angestrebten und zuvor antizipierten Ergebnis der Bewegung verglichen und das Ergebnis eines Durchlaufs steht für die Planung des nächsten Durchlaufs zur Verfügung. An dieser Stelle setzt die Spiegeltherapie an und erzeugt eine visuelle Illusion von korrekter Bewegung, durch welche der tatsächliche Bewegungserfolg überdeckt wird. Dies ist für die Rehabilitation von SchlaganfallpatientInnen deswegen von Bedeutung, weil die geschädigten Hirnareale auf diesem Weg über das visuelle System trainiert werden können.

Der Einsatz von virtuellen Umgebungen zur Erzeugung der visuellen Bewegungsrückmeldung anstelle eines Spiegels ist durch die neuen Interaktionsgeräte möglich (vgl. Kapitel 2.2.5) und aus mehreren Gründen interessant. Zunächst können dadurch Einschränkungen, welche durch die Positionierung des Spiegels bedingt sind, aufgelöst werden. Die PatientInnen können gegenüber einer virtuellen Umgebung eine freie Körperposition einnehmen und ggfs. während der Therapie stehen, sitzen oder liegen. Der Blick ist vorwärts gerichtet und Veränderungen der Kopfposition verhindern nicht die Illusion. Darüber hinaus können durch die Verwendung eines Computers zusätzliche Elemente in die virtuelle Umgebung integriert werden, welche Möglichkeiten für zielge-

richtete Handlungen bieten. Die Gestaltung kann den PatientInnen helfen, sich auf die Illusion zu konzentrieren. Die Fokussierung auf die virtuelle Umgebung kann zusätzlich durch die Wahl geeigneter Ausgabetechnologien, wie z.B. Head-Mounted-Displays oder die Projektion auf eine große Leinwand gesteigert werden.

Der wesentlichste Mehrwert ergibt sich jedoch aus einer strikt technischen Betrachtung des digitalen Mediums. Der Computer hat das Potential zur gezielten, algorithmischen Aufbereitung der Bewegungsinformationen, bspw. durch die Transformation der Daten von einer Repräsentation in eine beliebige andere (siehe Kapitel 2.4.4). Das Fachgebiet der Visualisierung befasst sich mit der Darstellung von Informationen in einer offensichtlichen und ästhetisch ansprechenden Form. Das Ziel ist es, die Betrachtung der Visualisierung für die NutzerInnen bedeutsamer und interessanter zu machen, als es die Betrachtung der ursprünglichen Daten gewesen wäre.

Genau dieses Ziel kann auch für die Gestaltung der virtuellen Umgebung im Kontext der neurologischen Therapie übernommen werden. Die von den PatientInnen aufgezeichneten Bewegungsinformationen können algorithmisch so aufbereitet und angezeigt werden, dass die Interaktion mit der Umgebung für die Rehabilitation nach einem Schlaganfall bedeutsamer ist, als die reine Wahrnehmung eines Spiegelbilds. Es können abstrakte virtuelle Umgebungen entstehen, welche wesentliche Aspekte der motorischen Aktion visualisieren. Das digitale Medium bietet zudem die Möglichkeit, die Umgebungen ästhetisch ansprechend zu gestalten, so dass sie zur Bewegung motivieren und die Konzentration auf die Illusion fördern. Auf diesem Weg kann der therapeutische Ansatz des motorischen Lernens anhand von visuellen Informationen durch den Computereinsatz weiter entwickelt werden. Die Plausibilität dieses Vorgehens wird in der vorliegenden Arbeit untersucht.

1.1.2 Motivation

Der Einsatz von virtueller Realität für therapeutische Zwecke wird unter dem Begriff „Virtuelle Rehabilitation“ untersucht (siehe Kapitel

2.1). Seit mehreren Jahren werden technische Systeme für unterschiedliche Pathologien und therapeutische Ansätze entwickelt³. Bei der Betrachtung des Spektrums der angebotenen Systeme fällt auf, dass deren visuelle Gestaltung häufig eng an der realen Welt orientiert ist. Es werden Avatare (siehe Abschnitt 1.4) oder virtuelle Körperteile angezeigt, die von den PatientInnen gesteuert werden, um mit realistischen Objekten im Sinne eines Computerspiels zu interagieren. Die zugrunde liegende, konventionelle Therapie ist oft deutlich zu erkennen und die Verwendung der Technologie geschieht insbesondere unter dem Aspekt der gesteigerten Motivation durch die Aufgaben des Computerspiels sowie der Möglichkeit der Erfolgskontrolle anhand von Punkten und Levels.

Aus der Perspektive der Informatik ist eine enge Orientierung an der konventionellen Therapie nicht unbedingt naheliegend. Vielmehr steht zu Beginn der Anwendungsentwicklung eine abstrakte Analyse der Mechanismen des therapeutischen Ansatzes sowie der Möglichkeiten der technischen Ausstattung. Der darauf aufbauende Systementwurf stellt dann eine Lösung dar, welche die notwendigen Mechanismen unter optimaler Ausnutzung der technischen Möglichkeiten bedient. Hierbei können neue Abläufe definiert werden, welche die intrinsischen Eigenschaften des Mediums berücksichtigen. Diese Herangehensweise ist geeignet, innovative Therapien für die Virtuelle Rehabilitation zu entwickeln, die mit herkömmlichen Mitteln nicht möglich sind. Darüber hinaus kann sie auch für die Interaktionsgestaltung mit virtuellen Umgebungen insgesamt wertvoll sein.

Vor diesem Hintergrund zeigt die vorliegende Arbeit der neurologischen Therapie nach einem Schlaganfall Perspektiven der anwendungsorientierten Informatik auf. Ein Therapiesystem zur Unterstützung des motorischen Lernens durch visuelle Illusionen wurde entwickelt, das mit Hilfe einer virtuellen Umgebung eine völlig neue Therapieform darstellt, die mit herkömmlichen Mitteln nicht möglich wäre. Durch die gezielte Gestaltung der virtuellen Umgebung werden visuelle Reize

³Auch für den beschriebenen Ansatz der Spiegeltherapie gibt es Lösungen mit virtuellen Umgebungen (siehe Kapitel 2.1.5).

erzeugt, die für die PatientInnen wesentliche Bewegungsinformationen enthalten und die gleichzeitig die Konzentration auf die Illusion erleichtern. Dabei wird durch die Umgebung eine animierende und fokussierende Atmosphäre geschaffen. Es wurde eine theoriegeleitete Entwicklung verfolgt, welche die Grundlagen der Schlaganfalltherapie berücksichtigte (siehe Kapitel 2.2), Hinweise zur Gestaltung konzentrationsfördernder virtueller Umgebungen aus Untersuchungen zum Thema Präsenz aufgriff (siehe Kapitel 2.3) und Aspekte der Interaktionsgestaltung mit virtueller Realität einbezog (siehe Kapitel 2.4).

Die Arbeit ist beispielhaft für eine zunehmend populäre Herangehensweise bei der Gestaltung von Mensch-Computer Schnittstellen. Unterstützt durch die Verbreitung und den Erfolg von Computerspielen ist seit einigen Jahren die Verwendung von Spieltechnologie und -design für Zwecke jenseits der reinen Unterhaltung vorangeschritten. Mit dem Begriff „Gamification“ wird die Anreicherung von produktiven Computeranwendungen mit spielerischen Elementen bezeichnet und damit ist das Ziel verbunden, den BenutzerInnen bei der Interaktion positive Erfahrungen zu ermöglichen (siehe Kapitel 2.4.3). Auch für diesen Bereich ist der Ansatz der Orientierung an den intrinsischen Eigenschaften des Mediums von Bedeutung. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden daher auch im Kontext anderer Anwendungen virtueller Realität diskutiert (siehe Abschnitt 5.4.3).

Die Rehabilitation nach einem Schlaganfall verläuft langsam und häufig erlangen PatientInnen ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten nicht vollständig zurück (siehe Kapitel 2.2.1). Allerdings sind insbesondere durch die verstärkte Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Neurologie in den letzten Jahren neue therapeutische Ansätze entwickelt worden, durch welche die Effizienz und Effektivität der Rehabilitation gesteigert wird. Diese neuen Ansätze können vom Einsatz der Computertechnik profitieren. Die Untersuchung des Potentials der Technologie zur Verbesserung der Schlaganfallrehabilitation erscheint daher vielversprechend.

1.2 Problemstellung

In den vorigen Abschnitten wurde die Problemstellung der Arbeit bereits skizziert. Als Ziel sollte ein Therapiesystem für die Schlaganfallrehabilitation entwickelt werden, welches den Ansatz des motorischen Lernens durch visuelle Illusionen verfolgt. Die wichtigste Aufgabe war es, hierfür eine virtuelle Umgebung zu gestalten, welche die Konzentration der PatientInnen erleichtert, zum Training animiert und durch gezielt aufbereitete visuelle Bewegungsrückmeldungen das motorische Lernen unterstützt. Es wurde theoriegeleitet vorgegangen, um die Potentiale der Technologie für die Gestaltung auszunutzen. Das entwickelte System sollte in der praktischen Anwendung überprüft und sowohl durch TherapeutInnen als auch durch PatientInnen beurteilt werden. Aus dieser Überprüfung wurden erste Erkenntnisse zur therapeutischen Wirkung des Systems insgesamt sowie der visuellen Illusionen im Speziellen gewonnen.

Die theoriegeleitete Entwicklung und der interdisziplinäre Ansatz der Arbeit erforderten die Auseinandersetzung mit einer Reihe von Forschungsfragen, die im folgenden Abschnitt dargestellt werden. Aus der Problemstellung leiteten sich außerdem Forschungsziele ab, die anschließend aufgeführt und am Ende der Arbeit verifiziert werden. Zudem erforderte der realisierbare Umfang eine Eingrenzung der Untersuchung und eine Fokussierung der Anwendungsentwicklung. Diese Eingrenzung wird deutlich gemacht und im Schlussteil der Arbeit im Rahmen des Ausblicks erneut aufgegriffen.

1.2.1 Forschungsfragen

Die in dieser Arbeit behandelte, zentrale Forschungsfrage lautet:

Kann eine virtuelle Umgebung entwickelt werden, die algorithmisch aufbereitete, visuelle Illusionen als Rückmeldung auf Bewegungen anzeigt und die in der Schlaganfalltherapie zur Unterstützung des motorischen Lernens eingesetzt werden kann?

Aus dieser allgemeinen Frage leiten sich folgende Detailfragen ab:

- Welche kognitiven Mechanismen bilden die Grundlage des motorischen Lernens durch visuelle Informationen?
- Welche Rolle spielt die Realitätsnähe des visuellen Eindrucks bei der Spiegeltherapie?
- Wie kann die sensomotorische Bewegungsregulation durch abstrakte Illusionen unterstützt werden?
- Wie kann eine virtuelle Umgebung die Konzentration auf und Identifikation mit einer Illusion fördern?
- Kann ein Therapiesystem entwickelt werden, das die Mechanismen des motorischen Lernens durch visuelle Informationen anspricht und dafür die Potentiale der Technologie zur Transformation von Daten ausnutzt?
- Welche zusätzlichen Komponenten können in diesem Therapiesystem zur Bewegung animieren und damit zur Effizienz beitragen?
- Ist die Anwendung eines solchen Therapiesystems im klinischen Kontext plausibel?
- Wie beurteilen PatientInnen und TherapeutInnen diesen therapeutischen Ansatz?

Zusätzlich ist die Arbeit durch zwei übergeordnete Forschungsfragen geprägt:

- Können die intrinsischen Eigenschaften des digitalen Mediums die Rehabilitation neurologischer Erkrankungen unterstützen?
- Welche Potentiale ermöglichen die intrinsischen Eigenschaften des digitalen Mediums der Interaktionsgestaltung im Kontext virtueller Realitäten?

1.2.2 Forschungsziele

Es werden vier zentrale, aufeinander aufbauende Forschungsziele verfolgt:

- Die Herleitung einer theoretischen Grundlage für die Verwendung von algorithmisch aufbereiteten visuellen Illusionen zur Unterstützung des motorischen Lernens in der Schlaganfalltherapie.
- Die Entwicklung eines Therapiesystems, welches eine praktische Realisierung des ersten Forschungsziels darstellt und welches die Plausibilität der Theorie mit einer konkreten Anwendung demonstriert.
- Eine prospektive Untersuchung des Therapiesystems in der praktischen Anwendung mit SchlaganfallpatientInnen, deren Ergebnisse als Grundlage für anschließende, umfassende klinische Studien verwendet werden können.
- Die Diskussion der theoretischen Grundlagen, des entwickelten Systems und der Ergebnisse der praktischen Anwendung hinsichtlich der Implikationen für die Virtuelle Rehabilitation und anderer Einsatzbereiche virtueller Realität.

1.2.3 Eingrenzung

Die vorgestellte Untersuchung ist interdisziplinär und anwendungsorientiert. Es wurde ein technisches System entwickelt, das neue Forschungsergebnisse aus den Bereichen der Neurologie, der Therapie des Schlaganfalls sowie der Gestaltung virtueller Umgebungen in einer innovativen Anwendung zusammenführt. Die Notwendigkeit einer praktischen Realisierung sowie der noch junge Forschungsstand des zugrunde liegenden therapeutischen Ansatzes erforderten die Eingrenzung der Untersuchung.

Der Fokus der wissenschaftlichen Auseinandersetzung wurde auf die Gestaltung der visuellen Bewegungsrückmeldung gelegt. Grundsätzlich können auch andere sensorische Kanäle für den oben beschriebenen therapeutischen Ansatz von Bedeutung sein, beispielsweise taktile Reize oder auditive Rückmeldungen. Diese können ebenfalls durch den Computereinsatz gezielt erzeugt werden und die Therapie damit weiterentwickeln. Dennoch erfolgte im Rahmen dieser Arbeit keine

detaillierte Untersuchung der Informationen auf diesen Kanälen. Soweit eine auditive Komponente verwendet wurde, geschah dies nur unter dem Aspekt der konzentrationsfördernden und animierenden Gestaltung der Umgebung.

Durch das Erreichen der in Abschnitt 1.2.2 genannten Forschungsziele kann die in Abschnitt 1.2.1 angeführte allgemeine Forschungsfrage nicht abschließend beantwortet werden. Für die Bestimmung der therapeutischen Wirksamkeit wären weitere klinische und neurologische Studien erforderlich, die in der frühen Entwicklungsphase des Systems und im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt werden konnten. Zunächst standen die wissenschaftlich fundierte Entwicklung des Systems und das Sammeln erster Erfahrungen im praktischen Einsatz im Vordergrund. Die Ergebnisse der Arbeit sollen daher gemessen werden an der Plausibilität des theoretischen Ansatzes, der softwaretechnischen Realisierung sowie der Aufnahme erster Rückmeldungen der Zielgruppe. Es sollte eine Ausgangsbasis geschaffen werden, von der aus weitere Entwicklungen und Untersuchungen den klinischen Nutzen des Ansatzes belegen können.

1.3 Beitrag

Der wesentliche Beitrag der vorliegenden Arbeit ist die Konzeption und prototypische Realisierung eines innovativen, technisch gestützten Systems für die Schlaganfalltherapie. Die theoriegeleitete Entwicklung und die vorläufige Untersuchung der praktischen Anwendung tragen außerdem Erkenntnisse bei, welche für die berührten Wissenschaftsfelder von Bedeutung sind. Der folgende Abschnitt erläutert die Einordnung der Arbeit in das wissenschaftliche Umfeld.

Die Arbeit hat darüber hinaus eine gesellschaftliche Bedeutung. Sie thematisiert Fragen der Versorgung von PatientInnen nach einem Schlaganfall und untersucht die Möglichkeiten der Verwendung von Computertechnologie hierfür. Außerdem stellt die entwickelte virtuelle Umgebung exemplarisch die Potentiale einer an den intrinsischen Eigenschaften des digitalen Mediums orientierten Gestaltung vor.

1.3.1 Einordnung der Arbeit

Die Arbeit ordnet sich ein in das Forschungsfeld der Virtuellen Rehabilitation (siehe Kapitel 2.1). Dieses Feld ist durch die klinische Anwendung geprägt und umfasst insbesondere die Bereiche der Neurologie und der physio- bzw. ergotherapeutischen Behandlung neurologischer Schäden. Darüber hinaus ist die Virtuelle Rehabilitation - aufgrund des Einsatzes von spielerischen Elementen für Zwecke jenseits der Unterhaltung - ein Beispiel für die Gamification produktiver Computeranwendungen. Die Fragestellung der Wirkung visueller Bewegungsrückmeldungen und die an den intrinsischen Eigenschaften des digitalen Mediums orientierte Gestaltung ist für die Entwicklung virtueller Umgebungen von Bedeutung.

Beitrag zur Virtuellen Rehabilitation

Der Ansatz, abstrakte visuelle Illusionen für die Bewegungsrückmeldung zu verwenden, ist neu. Ein ähnliches Vorgehen kann auch für die Entwicklung weiterer Therapiesysteme eine Rolle spielen. Die gelieferten Hinweise über die Gestaltung solcher Rückmeldungen können das motorische Lernen in virtuellen Umgebungen unterstützen. Die Potentiale der Computertechnologie in der therapeutischen Anwendung sind diesbezüglich noch nicht ausgeschöpft. Mit dieser Arbeit werden die Möglichkeiten abstrakter Darstellungsformen für die Virtuelle Rehabilitation demonstriert.

Das Forschungsfeld der Virtuellen Rehabilitation ist in Deutschland bislang wenig bekannt. Während Arbeitsgruppen im Ausland bereits seit mehreren Jahren eine öffentlichkeitswirksame Forschung gelingt und zunehmend Kliniken und Praxen Geräte für den Einsatz der Technologien anschaffen, ist dies hierzulande bislang kaum gelungen. Ein Aspekt der vorliegenden Arbeit ist daher auch die Bekanntmachung des Forschungsfeldes in Deutschland.

Beitrag zur Neurologie und zur motorischen Therapie

Der Ansatz des motorischen Lernens mittels visueller Informationen ist relativ jung und viele Fragen bezüglich der beteiligten kognitiven Prozesse sind noch offen (siehe Abschnitt 2.2.4). Das entwickelte Therapiesystem ermöglicht es, nähere Informationen darüber zu sammeln. Insbesondere ist eine abstrakte Gestaltung der Darstellung geeignet der Theorie der sensomotorischen Bewegungsregulation Hinweise über die Bedeutung der visuellen Rückmeldung zu liefern.

Der therapeutischen Praxis ist lange bekannt, wie wichtig die Motivation und Teilnahmebereitschaft der PatientInnen bei den durchzuführenden Interventionen ist. Mit herkömmlichen Methoden ist es häufig schwierig, die Motivation dauerhaft aufrecht zu halten (siehe Abschnitt 2.2.2). Die Verwendung von Elementen aus Computerspielen kann hierfür zuträglich sein. Dies wird anhand der Literatur sowie durch das entwickelte System exemplarisch demonstriert. Hierdurch soll der Einsatz verfügbarer Computerspiele für die Behandlung von PatientInnen mit unterschiedlichen Diagnosen angeregt werden.

Beitrag zur Interaktionsgestaltung mit virtuellen Umgebungen

Das Ziel der Interaktionsgestaltung ist es, die Bedienung von Computern und Software für Menschen möglichst intuitiv und natürlich erscheinen zu lassen. Was aber ist natürliche Interaktion mit dem digitalen Medium? Die Verwendung von Bewegung als Eingabemethode erscheint naheliegend. Darüber hinaus ist die Symbolik und Metaphorik der Schnittstelle entscheidend. Neben der rein technischen Wahl der Methode stellt sich die Frage, welche Prozesse durch die Interaktion ausgelöst werden und auf welche Weise die transferierten Daten gestaltet sein sollen, damit die Auseinandersetzung mit der Technologie für den Menschen möglichst natürlich erscheint. Insbesondere im Kontext von virtuellen Umgebungen kann eine Orientierung an der realen Welt für den Nutzer unnatürlich sein (siehe Kapitel 2.3.3). Darüber hinaus kann der Informationsaustausch mit der Technologie möglicherweise effizienter erfolgen, wenn die Beschränkungen der realen Welt überwunden werden.

Die vorliegende Arbeit stellt diese Frage im Rahmen der therapeutischen Anwendung, die Ergebnisse sind aber auch für die Gestaltung der Interaktion mit anderen virtuellen Umgebungen relevant. Durch die zunehmende Verbreitung von Spielekonsolen neuester Generation bekommt die virtuelle Realität wieder mehr Bedeutung. Gleichzeitig erreichen viele der immer komplexer gewordenen Anwendungen auf herkömmlichen Desktop-Computern die Grenzen der menschlichen Verarbeitungskapazität. Diesem Problem wird unter anderem mit der Gamification dieser Anwendungen begegnet (siehe Abschnitt 2.4.3). Die Verwendung abstrakter, nicht an der realen Welt orientierter Metaphern sollte hierfür in Betracht gezogen werden.

1.3.2 Gesellschaftliche Bedeutung

Die gesellschaftliche Bedeutung der Arbeit leitet sich aus der Einführung eines Therapiesystems für die Schlaganfalltherapie ab.

Epidemiologie Schlaganfall

Der Schlaganfall ist weltweit eine der häufigsten Ursachen für Behinderungen im Erwachsenenalter und die dritthäufigste Todesursache [98, S. 1179]. In Deutschland ereignen sich derzeit jährlich ca. 196.000 erstmalige Schlaganfälle und weitere ca. 66.000 wiederholte Schlaganfälle [75]. Durch die zu erwartende Alterung der Bevölkerung ist mit einer steigenden absoluten Zahl an SchlaganfallpatientInnen zu rechnen. Medizinische Innovationen haben zu einer höheren Überlebensrate nach einem Schlaganfall geführt. Daraus folgt eine zusätzlich höhere Anzahl an Menschen, die mit den Folgen eines Schlaganfalls leben [208, S. 1].

Die Prävalenz (Erkrankungshäufigkeit) des Schlaganfalls wird durch Risikofaktoren beeinflusst. Dazu gehören mit Bewegungsmangel und Adipositas zwei Faktoren, die in der heutigen Gesellschaft zunehmend auftreten [20].

Eine systematische Versorgung durch therapeutische Interventionen insbesondere in den ersten Monaten nach einem Schlaganfall beeinflusst den Erfolg der Rehabilitation positiv [106]. Sie macht allerdings auch

den Großteil der für das Gesundheitssystem entstehenden Kosten aus (37%), die sich im Durchschnitt für alle PatientInnen auf 18.517 Euro im ersten Jahr belaufen [98, S. 1181]. Im Jahr 2004 beliefen sich die finanziellen Aufwendungen der gesetzlichen Versicherungsanstalten in Deutschland für die Behandlung von erstmaligen ischämischen Schlaganfällen⁴ auf 7,1 Milliarden Euro (ib.).

Drei Monate nach einem Schlaganfall ist immer noch jeder bzw. jede fünfte PatientIn an den Rollstuhl gebunden und jeder bzw. jede Zweite bleibt in der Durchführung von Alltagsaktivitäten deutlich beeinträchtigt [208, S. 1]. Etwa 80% der PatientInnen erleiden motorische Einschränkungen durch den Schlaganfall [107, S. 741]. Die PatientInnen sind im Anschluss an die Akuttherapie der klinischen Erstversorgung auf physio- und ergotherapeutische Maßnahmen angewiesen. Es gibt heute keine medikamentöse Behandlung, welche Beeinträchtigungen, die über mehr als 24 Stunden nach einem Schlaganfall bestehen, beeinflussen kann [208, S. 1].

Vor diesem Hintergrund gewinnt die (Weiter-)Entwicklung effektiver Therapieverfahren an Dringlichkeit. „Letztendlich besteht ein großer Bedarf an einer wissenschaftlich untermauerten und effizienten Rehabilitation nach Schlaganfall, welche auf die Ziele der Patienten und deren Angehörige ausgerichtet ist.“ (ib.) Dabei steht die motorische Rehabilitation im Vordergrund. Das Wiedererlangen motorischer Funktion hat den größten Effekt auf die Lebensqualität der PatientInnen und ihrer Familien [107, S. 741].

Das Potential neuer Technologien wird in der therapeutischen Anwendung noch wenig ausgenutzt. Erst seit einigen Jahren können Computer kostengünstig und zuverlässig durch Bewegungen gesteuert werden, wodurch sie für die motorische Rehabilitation interessant werden. Die Entwicklung und Untersuchung von Therapiesystemen, die virtuelle Umgebungen einsetzen, erscheint dabei geeignet, die Rehabilitation eines der bedeutsamsten Krankheitsbilder der modernen

⁴Der ischämische Schlaganfall ist Resultat einer durch Minderdurchblutung bedingten Sauerstoffunterversorgung im Gehirn. Er stellt mit etwa 80% die häufigste Form des Schlaganfalls dar [106, S. 1694]. Auf die Unterscheidung der verschiedenen Schlaganfalltypen wird in Kapitel 2.2.1 eingegangen.

Gesellschaft zu unterstützen. Die Steigerung der Effizienz und der Effektivität der Therapie sowie die Verbesserung der Lebensqualität der PatientInnen und ihrer Familien beeinflussen das Wohlbefinden einer wachsenden Gruppe von Menschen und senken die durch die Behandlung entstehenden Kosten. Der Einsatz moderner Technologie kann dadurch dazu beitragen, den heute hohen Standard des Gesundheitssystems auch zukünftigen Generationen zu sichern.

Klinische Anwendung

Die Einführung von Technologie in einem auf die zwischenmenschliche Interaktion angewiesenen und sensiblen Anwendungsfeld wie der Therapie von SchlaganfallpatientInnen ist kritisch zu hinterfragen. Es muss eine Auseinandersetzung mit einer Reihe potentiell negativer Effekte erfolgen, die einerseits grundsätzlich mit der Einführung von Computertechnologie einher gehen und die andererseits speziell im klinischen Anwendungsfeld von Bedeutung sind. Für die Vermeidung dieser Effekte ist es wesentlich, zu einem frühen Zeitpunkt Vorkehrungen zu treffen.

Die Einführung des Computers hat in vielen Arbeitsbereichen neben der erhofften Effizienzsteigerung für die NutzerInnen zu einer zunehmenden Fokussierung auf die Technologie bei abnehmendem Kontakt zu anderen Menschen geführt. Im Kontext der therapeutischen Anwendungen wäre diese Entwicklung fatal. Die PatientIn-TherapeutIn Interaktion ist für den Rehabilitationserfolg von zentraler Bedeutung (siehe Abschnitt 2.1.3). Die neu entwickelten Therapiesysteme müssen daher als ein Instrument in den Händen der TherapeutInnen verstanden und entsprechend gestaltet werden. Die Betreuung der Therapie und die zwischenmenschliche Beziehung müssen durch die Systeme mindestens in dem Maße eingefordert werden, in dem sie heute erfolgen. Dies wurde im Rahmen der im weiteren Verlauf beschriebenen Entwicklung berücksichtigt und wird am Ende der Arbeit weiter diskutiert.

Zusätzlich gilt es bei der klinischen Anwendung den Datenschutz und die Privatsphäre der Menschen besonders zu beachten. Gesundheitsre-