
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	Ellipsoidal 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