

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Ein soziales Robotersystem für eine leistungsorientierte Schlaganfalltherapie

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von

Alexandru-Nicolae Umlauf (geb. Bunde)

geb. am 24.11.1992 in Brasov

aus Rostock

Rostock 2026



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen
Bedingungen 4.0 International Lizenz.

Gutachter:

Prof. Dr. Regina Hebig, Universität Rostock, Institut für Informatik

Prof. Dr. Peter Forbrig, Universität Rostock, Institut für Informatik

Prof. Dr. Christian Sary, Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Wirtschaftsinformatik

Datum der Einreichung: 16.12.2025

Datum der Verteidigung: 28.04.2026

CRediT-Auflistung

Publikationen dieser Arbeit:

- A. Thomas Platz, **Alexandru-Nicolae Umlauf**, Ann Louise Pedersen und Peter Forbrig. "Technology Acceptance and Usability of a Therapy System with a Humanoid Robot Serving as Therapeutic Assistant for Post-Stroke Arm and Neurovisual Rehabilitation—An Evaluation Based on Stroke Survivors' Experience" *Biomimetics* 2025, 10, 289. 2025.
- B. **Umlauf**, A., Forbrig, P. "Evaluation of a Social Robot System for Performance-Oriented Stroke Therapy" *ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS Workshops 2023)*, 2023.
- C. **Bundea**, **Alexandru-Nicolae** und Forbrig, Peter. "Constructing a neurovisual therapy for with a social robot for a neglect handicap". *ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS Workshops 2022)*, 2022.
- D. **Bundea**, A., Forbrig, P. "Patient and Therapist Model Attributes for Social Robot Stroke Therapies Based on Implicit Knowledge from Expert Interviews" *International KES Conference on Human Centred Intelligent Systems (KES-HCIS 2022)*, 2022.
- E. Forbrig, P. und **Bundea**, A. "Engineering a Software System to Support Post-Stroke Patients in their Training Activities with a Humanoid Robot". *ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS Workshops 2022)*, 2022.
- F. Forbrig, P., **Bundea**, A., Pedersen, A., Platz, T. "Using a Humanoid Robot to Assist Post-stroke Patients with Standardized Neurorehabilitation Therapy". *World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4 2022)*, 2022.

- G. Forbrig, P., **Bundea, A.**, Kühn, M. Challenges with Traditional Human-Centered Design for Developing Neurorehabilitation Software.
9th IFIP WG 13.2 International Working Conference on Human-Centered Software Engineering (HCSE 2022), 2022.
- H. Forbrig P. und **Bundea, A.** "Coping with the Complexity of Software for a Humanoid Robot Pepper"
International Conference on Perspectives in Business Informatics Research (BIR Workshops 2021), 2021.
- I. **Bundea, A.**, Bader, S., Forbrig, P. "Interaction and Dialogue Design of a Humanoid Social Robot in an Analogue Neurorehabilitation Application"
International KES Conference on Human Centred Intelligent Systems (KES-HCIS 2021), 2021.
- J. **Bundea, A.** und Forbrig, P. "User Models for Post-stroke Therapies and Consequences for the Interaction with a Humanoid Robot"
International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications (CHIRA 2021). 2021
- K. Forbrig, P., **Bundea, A.**, Bader, S. "Engineering the Interaction of a Humanoid Robot Pepper with Post-Stroke Patients During Training Tasks".
ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS 2021), 2021.
- L. Forbrig, P., **Bundea, A.**, Platz, T. "Assistance App for a Humanoid Robot and Digitalization of Training Tasks for Post-stroke Patients".
International Conference on Human-Centered Intelligent Systems 2020 (KES-HCIS 2020.)
- M. Forbrig, P., **Bundea, A.**, Pedersen, A., Platz, T. "Digitalization of Training Tasks and Specification of the Behaviour of a Social Humanoid Robot as Coach"
8th IFIP WG 13.2 International Working Conference (HCSE 2020), 2020.
- N. Forbrig, P., **Bundea, A.** "Modelling the Collaboration of a Patient and an Assisting Humanoid Robot During Training Tasks".
International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2020), 2020.

Ich (Alexandru-Nicolae Umlauf, geb. Bunea) war der Hauptantreiber der Papiere A, B, C, D, I und J. Ich leistete bedeutende Beiträge für die anderen Papiere E, F, G, H und K-N. Eine Übersicht dieser Kontributionen wird in der unteren Tabelle dargestellt, basierend auf der CRediT-Taxonomie (Contributor Roles Taxonomy¹). Genauer, war ich mit meiner Konzeption der Robotherapie zu allen hier genannten Papieren (Conceptualization) und führte entsprechende Forschungsarbeiten (Investigation) aus. Weiterhin war ich bei der Methodik wesentlich beteiligt (Methodology) und prüfte die Validität der Ergebnisse (Validation). Ich publizierte selbst und als Co-Autor mit ("Writing Original Draft" und "Writing Review & Editing").

Für die Papiere A, B und D erhob ich persönlich Daten durch Interviews und Fragebögen und arbeitete mit diesen (Data curation & Formal Analysis). In den Werken A-C, E-I und K-N trieb ich als Hauptverantwortlicher die Entwicklung des E-BRAiN Robotersystems voran (Software) und erstellte damit eine zentrale Komponente für diese Beiträge. Zudem trug ich für die Werke B-N signifikant zur Gestaltung der Ergebnisse bei, beispielsweise durch Bilder aus den Robotereperimenten (Visualization).

CRediT-Rolle	Papier													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Conceptualization	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Data curation	x	x		x										
Formal Analysis	x	x		x										
Funding acquisition														
Investigation	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Methodology	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Project administration														
Resources														
Software	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x
Supervision														
Validation	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Visualization		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Writing original draft	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Writing Review \ Editing	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

¹<https://casrai.org/credit>

Andere Publikationen:

- **Umlauft, A.**, Schütt, E. Globisch, T. Oppelt, N. und Freiherr von Lukas, U., "Towards Transformer-Based Semantic Segmentation of Seagrass in the Baltic Sea with High-Resolution Satellite Images"
IEEE OCEANS 2024 Conference (OCEANS 2024), Halifax, 2024.
- **A. Umlauft** et al., "The Digital Ocean Lab (DOL): Centralising Ocean Research in the Baltic Sea"
IEEE OCEANS 2024 Conference (OCEANS 2024), Halifax, 2024.
- Globisch, T., **Umlauft, A.**, Lüdtke, S. und Freiherr von Lukas, U., "sMarT RCI - Unsupervised Double K-Means Ensemble Clustering Tool for Remotely Operated Vehicle Camera Images"
IEEE OCEANS 2024 Conference (OCEANS 2024), Halifax, 2024.
- Forbrig, P., **Umlauft, A.**, Kühn, M. "A Domain-Specific Language for Prototyping the Behavior of a Humanoid Robot that Allows the Inclusion of Sensor Data"
HCI International Conference Human-Computer Interaction (HCI 2023), 2023.
- Forbrig, P., **Umlauft, A.**, Kühn, M., Dittmar, A. "The Role of Stories in Software Development and Business-Process Modeling"
International Conference on Subject-Oriented Business Process Management (S-BPM ONE 2023), 2023.
- Forbrig, P., **Umlauft, A.**, Kühn, M., Dittmar, A. "Two Domain-Specific Languages for Controlling a Humanoid Robot in a Therapeutic Context"
17th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2023), 2023
- Platz, T., Pedersen, A., Deutsch, P., **Umlauft A.**, Bader, S., "Analysis of the therapeutic interaction provided by a humanoid robot serving stroke survivors as a therapeutic assistant for arm rehabilitation"
Frontiers in Robotics and AI. Biomedical Robotics Volume 10 - 2023, 2023.
- Forbrig, P., **Umlauft, A.**, Kühn, M., Dittmar, A. "Two Concepts of Domain-Specific Languages for Therapists to Control a Humanoid Robot"
ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS Workshops 2023), 2023.
- Forbrig, P., **Bundea, A.** "Using the Social Humanoid Robot Pepper for Training Tasks"
International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI Workshops 2020). 2020.

Für Nastassja

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei meinen Betreuern Regina Hebig und Peter Forbrig bedanken, die mich während dieser Reise geleitet haben und so wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ein großer Dank geht auch an Christian Sary für seine hilfsbereite und wertvolle Unterstützung als dritter Gutachter.

Zusätzlich bedanke mich vom ganzen Herzen bei meiner Frau Nastassja Umlauf, die mich durch meine Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter hier bei der Universität Rostock begleitet hat. Zuletzt möchte ich mich für die Unterstützung bei meiner Familie, Kollegen, Freunden und allen anderen Menschen bedanken, die ich während der verschiedenen Phasen meiner Arbeit traf und mich unterstützt haben.

Kurzfassung - Abstract

This thesis evaluates the use of social robots in performance-oriented stroke rehabilitation therapies. The thesis project was done in the context of the E-BRAiN project, which studied the role of motivation in stroke rehabilitation therapies with a social robot as instructor. The thesis presents the developed system with the interdisciplinary team of computer scientists, clinicians and psychologists. The robot system includes multiple devices to offer effective stroke therapies and a sophisticated user model for patients has been integrated to adapt to the patients needs. The system evaluation was done with a technology acceptance questionnaire for social robots and further enhanced with a usability study for specific parts of the therapy. The results suggest that the system is well accepted and only minor changes were proposed by patients.

Diese Arbeit evaluiert den Einsatz sozialer Roboter in leistungsorientierten Schlaganfallrehabilitationstherapien. Das Dissertationsprojekt wurde im Rahmen des E-BRAiN-Projekts durchgeführt, welches die Rolle der Motivation in Schlaganfall- Rehabilitationstherapien mit einem sozialen Roboter als Instruktor untersuchte. Diese Dissertation stellt das entwickelte System mit einem interdisziplinären Team aus Informatikern, Klinikern und Psychologen vor. Das Robotersystem inkludiert mehrere Geräte, um wirksame Schlaganfalltherapien anzubieten und es wurde ein umfassendes Benutzermodell für Patienten integriert, um es an die Bedürfnisse der Patienten anzupassen. Die Systemevaluation wurde mit einem Fragebogen zur Technologieakzeptanz für soziale Roboter durchgeführt und durch eine Usability-Studie für Einzelheiten der Therapie weiter ergänzt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das System gut angenommen wird und es wurden nur geringfügige Änderungen seitens der Patienten vorgeschlagen.

Inhaltsverzeichnis

CRedit Auflistung	i
Kurzfassung - Abstract	vii
Abkürzungen	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Das E-BRAiN Projekt	3
1.3 Ziele und Forschungsfragen	5
1.4 Struktur der Arbeit	5
2 Stand der Technik	7
2.1 Soziale Roboter	7
2.2 Technische Implementation von Robotersystemen in Rehabilitationsanwendungen	11
3 Betrachtete Therapien	17
3.1 Spiegeltherapie	17
3.2 Armbasistraining	18
3.3 Armfähigkeitstraining	20
3.4 Neurovisuelles Neglect-Training	24
4 Nutzermodelle im E-BRAiN System	27
4.1 Methodik und Vergleich der Nutzermodellgestaltung	27
4.2 Theoretische Grundlagen	28
4.2.1 Nutzermodellierung	28
4.2.2 Repertory-Grid-Methode	30
4.3 Verwandte Arbeiten	31
4.4 Klinisches Nutzermodell	32
4.4.1 Patientenmodell	32
4.4.2 Therapeutenmodell	33

4.5	Repertory-Grid Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten und Therapeuten	34
4.5.1	Methodik und Datenbasis der Interviews	34
4.5.2	Ergebnisse der Nutzermodell-Attribute für Patienten und Therapeuten	36
4.5.3	Diskussion	39
4.6	Vergleich der medizinischen Nutzermodellierung mit RG-Konstrukten über Patienten	42
4.7	Implementiertes Nutzermodell für Patienten im E-BRAiN System	50
5	Das Robotersystem	53
5.1	Methodik der System- und Therapiegestaltung	54
5.2	Das resultierende System	62
5.2.1	Überblick der Hardware-Komponenten	62
5.2.2	Software-Komponenten	65
5.2.2.1	Interaktionssteuerung	65
5.2.2.2	Interpretation der Nachrichten und Layout-Design . . .	68
5.2.2.3	Datenspeicherung und Datenabfragen rund um die Therapie	70
5.2.2.4	Endgeräte	72
5.2.2.5	Sprachsynthese	75
5.3	Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt	77
5.3.1	Vorbereitungen für den Ablauf	77
5.3.2	Technischer Start einer Therapie	78
5.3.3	Spezifischer Arm-Fähigkeit-Training -Ablauf	81
5.3.4	Spezifischer Arm-Basis-Training Ablauf	84
5.3.5	Spezifischer Spiegeltherapie-Ablauf	87
5.3.6	Spezifischer Ablauf des neurovisuellen Neglect Trainings	88
5.3.6.1	Vorbereitung	89
5.3.6.2	1. "Optokinetische Stimulation" (OKS)	92
5.3.6.3	2. Visuelle Exploration "Blicksakkaden"	94
5.3.6.4	3a Visuelle Exploration: "Alle finden"	97
5.3.6.5	3b Visuelle Exploration: "Das andere finden"	100
5.3.6.6	3c Visuelle Exploration: "Objekte auf Fotos finden" . . .	101
5.4	Diskussion	103
5.5	Lessons Learned	108
6	Evaluation des Systems	111
6.1	Evaluation Technologieakzeptanz und Usability	111
6.1.1	Theoretische Grundlagen	111
6.1.1.1	Technologieakzeptanz	112
6.1.1.2	Usability	122
6.1.2	Forschungsmethode	124
6.1.2.1	Durchführung der Datenerhebung	125
6.1.2.2	Auswertungsmethoden	129

6.1.2.3	Datenbasis	132
6.1.3	Ergebnisse der Technologieakzeptanz und Usability Interview Erhebungen	133
6.1.3.1	Deskriptive Statistiken	133
6.1.3.2	Ergebnis für die Multivariate Regressionsanalyse der Akzeptanzmodifikatoren	138
6.1.3.3	Offene Fragen	138
6.1.3.4	Usability Interviews	140
6.1.4	Diskussion	144
6.1.4.1	Antworten Evaluationsfragebogen	145
6.1.4.2	Usability Interviews	150
6.1.4.3	Fazit	151
6.1.5	Limitierung	152
6.2	Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings	153
6.2.1	Leistungsdaten AFT	153
6.2.1.1	Methodik und Datenbasis	154
6.2.1.2	Leistungswerte	155
6.2.1.3	Diskussion	157
6.2.2	Neglect Training	158
6.2.2.1	Methodik und Datenbasis	158
6.2.2.2	Leistungswerte und Roboterinteraktion	160
6.2.2.3	Diskussion	170
6.3	Ergänzende Evaluationsanmerkungen	173
6.3.1	Videoaufnahmen	173
6.3.2	Erfahrungen des klinischen Teams	173
7	Vorschläge einer verbesserten Therapie	177
7.1	Digital umgesetzte Therapien des Armfähigkeitstraining	177
7.1.1	Methodik der Softwareentwicklung	178
7.1.2	1. AFT Übung: Zielen	180
7.1.3	3. AFT Übung: Durchstreichen	181
7.1.4	5. AFT Übung: Labyrinth	182
7.2	Weiterführende Arbeit mit spontanem Systemfeedback basierend auf Nutzermodellen	183
8	Zusammenfassung	189
9	Ausblick	193
A	Anhang	195
A.1	Datenbankschemata	195
A.2	Weitere Repertory-Grid Konstrukte	207
A.3	Verlauf der Robotersystementwicklung	209
A.4	Fragebogen: Antworten auf offene Fragen	217

Inhaltsverzeichnis

A.5 Usability-Studie: "Lautes Denken" Äußerungen der Patienten	220
A.6 Ergebnisse Akzeptanzfragebogen: Relative Häufigkeiten der Antworten .	230
A.7 Ergebnisse Akzeptanzfragebogen: Deskriptive Statistiken zwischen den Therapien	232
A.8 Leistungswerte einzelner Neglect-Training Patienten	234
A.8.1 Patient 1	234
A.8.2 Patient 2	239
A.9 E-BRAiN technischer Fragebogen	242
A.10 Usability-Testguide	248
A.11 Studienprotokoll für die Ethikkommission: Study protocol for an observa- tional pilot study	250
A.12 Vorlage zur Studieneinwilligung	263
A.13 Patienteninformationen zur Studienteilnahme	267
Abbildungsverzeichnis	271
Tabellenverzeichnis	275
Literatur	277

Abkürzungen

ABT Armbasistraining

AFT Armfähigkeitstraining

EKG Elektrokardiogramm

E-BRAiN Evidenz-basierte Robot-Assistenz in der Neurorehabilitation

FSM Finite State Machine

HRI Human-Robot-Interaction

MQTT Message Queueing Telemetry Transport

NVT Neurovisuelles Neglect Training

RG Repertory-Grid (-Interview)

SAR Socially Assistive Robot//Sozial assistiver Roboter

ST Spiegeltherapie

TAM Technology Acceptance Model

UTAUT Unified Theory of Acceptance and Use of Technology

USEQ User Satisfaction Evaluation Questionnaire

1 Einleitung

1.1 Motivation

Soziale Roboter finden in stetig mehr Bereichen Anwendung, um Menschen bei der Arbeit zu entlasten. Im Unterschied zu anderen Robotern übernehmen soziale Roboter keine physische Arbeit, sondern interagieren vor allem durch ihre Präsenz und Sprache mit ihrer Umwelt. Damit konzentrieren sich ihre Einsatzgebiete auf interaktive Kommunikation und sie wurden in der Vergangenheit unter anderem in Schulen [1, 2], Museen [3, 4], Alters- und Pflegeheimen [5, 6] und in diversen Servicebereichen [7] eingesetzt.

Im Rahmen dieser Dissertation wird die Möglichkeit betrachtet, soziale Roboter in der Neurorehabilitation nach einem Schlaganfall zu verwenden. Grundsätzlich herrscht im Gesundheitssektor ein Mangel an medizinischem Personal. Roboter könnten hier diesem Mangel entgegenwirken.

Basierend auf Schätzungen aus dem Jahr 2015 treten in Deutschland jährlich etwa 200.000 erstmalige und 70.000 wiederholte Schlaganfälle auf [8]. Schlaganfälle können in zwei Arten unterteilt werden: ischämische Schlaganfälle, bekannt als 'Hirnfarkt', die durch eine Blockade der Blutversorgung verursacht werden (z.B. durch Thrombose), und hämorrhagische Schlaganfälle, die als 'Hirnblutung' bezeichnet werden und durch Blutungen im Gehirn entstehen. Nach einem Schlaganfall durchlaufen Betroffene in der Regel verschiedene Rehabilitationsphasen (A–F) [9].

Die Phase A umfasst die Akutbehandlung und die Notfallversorgung bei einem Schlaganfall. In der Phase B beginnt die Frührehabilitation, die durch einen hohen Bedarf an intensivmedizinischer Betreuung gekennzeichnet ist. Phase C beschreibt die Phase, in der Patienten aktiv an Therapien teilnehmen können, jedoch weiterhin eine intensive Betreuung benötigen. Während der Phase D, die als Anschlussbehandlung an die Frührehabilitation dient, sind Patienten überwiegend selbstständig. Phase E markiert den

1 Einleitung

Abschluss der medizinischen Rehabilitation und ermöglicht erste Versuche der beruflichen Wiedereingliederung. Schließlich zielt Phase F darauf ab, langfristig notwendige gesundheitliche Maßnahmen sicherzustellen und zu begleiten.

Ein Projekt nordwestdeutscher Kliniken aus den Jahren 2010 bis 2011 ergab, dass nur 40,8 % der ischämischen Schlaganfallpatienten neurologische Rehabilitationsmaßnahmen der Phasen B–D durchliefen. Weitere 11,4 % erhielten altersmedizinische Rehabilitationstherapien, die speziell darauf ausgelegt waren, die Selbstständigkeit der Patienten im Alltag zu fördern [10].

Längere stationäre Therapiemaßnahmen mit einem Therapeuten sind oft nicht verfügbar oder zugänglich aufgrund von Kosten, fehlendem Angebot oder mangelnder Transportmöglichkeiten [11, 12]. Unabhängig davon können Patienten in späteren Rehabilitationsphasen gegebenenfalls auch alleine Maßnahmen zur Verbesserung ihrer Gesundheit durchführen. Häusliche Maßnahmen und Therapieübungen, die ein Patient¹ eigenständig durchführen soll, werden jedoch häufig nicht konsequent umgesetzt. Unter den Gründen befinden sich oft ein Mangel an Selbstmotivation, fehlende soziale Unterstützung oder Selbstvertrauen, diese Maßnahmen längere Zeit durchführen zu können [13].

Das Ziel dieser Arbeit ist es zu erforschen, wie Patienten durch den Einsatz eines sozialen Roboters ein erweitertes Angebot an Therapiemöglichkeiten erhalten können. Dabei liegt der Fokus auf der Analyse der Gestaltung und Nutzbarkeit eines sozialen Robotersystems. Es wurde untersucht, wie Patienten die Interaktion mit dem Robotersystem wahrnehmen und wie die Mensch-Roboter-Interaktion gestaltet werden kann. Zudem evaluierte ich, wie die entwickelten roboterunterstützten Varianten von Therapieaufgaben von den Patienten aufgefasst werden.

Studien zeigten bereits, dass soziale Roboter die Motivation und das Engagement der Nutzer (Patienten) erhöhen können [14, 15], die Einhaltung am Übungsprotokoll fördern [16, 17] und die Übungsleistung/Trainingszeit steigern können [18, 19]. Zudem zeigten Studien mit sozialen Robotern zu spezifischeren Anwendungsgebieten wie physische Übungen nach einem Schlaganfall positive Ergebnisse für die körperliche Verfassung [20, 21].

Trotz dieser Fortschritte blieben jedoch wichtige Aspekte unerforscht, wie die (1) Anforderungen und die Gestaltung von Robotertherapiesystemen, die (2) eine klinisch bestätigte

¹Zur besseren Lesbarkeit wird im Text die männliche Form verwendet; dabei beziehen sich die Angaben auf Angehörige aller Geschlechter.

Neurorehabilitation nach einem Schlaganfall (3) im klinischen Anwendungsumfeld ermöglichen.

Mit dieser Dissertationsschrift ziele ich darauf ab, diese Bereiche zu ergründen und durch die Untersuchung der Gestaltung, Nutzbarkeit und Patienteneinschätzung von Robotertherapiesystemen einen Beitrag zur Human-Robot-Interaction-Forschung (HRI) zu leisten.

Die Studien habe ich im Rahmen des E-BRAiN Projekts durchgeführt, welches die Effektivität sozialer Roboter in der Therapie von Schlaganfallpatienten erforschte. Auf diesen Erkenntnissen basiert diese Dissertation, die im Kontext eines Projektverbunds entstand.

1.2 Das E-BRAiN Projekt

Das E-BRAiN Projekt ("Evidenz-basierte Robot-Assistenz in der Neurorehabilitation") verfolgte es als Ziele, humanoide Roboter als Therapie-Assistenz in der Neurorehabilitation zu erforschen [22]. Rund um die Idee des praktischen Einsatzes kamen andere Fragen dazu, die in einem interdisziplinären Verbund geklärt werden sollten. Neben der Medizin und der Computerwissenschaft sollte die Motivation der Patienten in solchen roboterunterstützten Therapien untersucht und die ökonomische Akzeptanz und Präferenzen der Patienten erforscht werden. Der Forschungsverbund besteht aus insgesamt zwei Lehrstühlen der Informatik und jeweils einem aus der Medizin, der Psychologie und der Wirtschaftswissenschaften. Das Projekt wurde vom europäischen Sozialfonds (ESF), Referenz: ESF/14-BM-A55-0001/19-A01, und vom Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur von Mecklenburg-Vorpommern gefördert. Das Projekt lief im Zeitraum vom 01.07.2019 bis 31.12.2022.

Im E-BRAiN Projekt wurden aufgabenbasierte Schlaganfalltherapien betrachtet, die über mehrere Wochen mit täglichen Sitzungen ablaufen. Es wurden drei Therapien für Arme und Hände und eine neurovisuelle Therapie zur Kompensation eines Neglect-Handicaps entwickelt. Ein sozialer Roboter kann auf verschiedene Weise von Nutzen sein. Zum einen kann er die Aufgaben eines medizinisch geschulten Therapeuten zumindest teilweise übernehmen, und so können Therapeuten für andere Aufgaben Zeit gewinnen. Eine vollständige Substitution des menschlichen Therapeuten ist nicht beabsichtigt. Der menschliche Therapeut soll den Patienten zuerst in die Therapie und in die einzelnen

1 Einleitung

Aufgaben einführen. Erst in den späteren Sitzungen übernimmt dann der soziale Roboter als Instrukteur die Sitzungen. Zu diesem Zeitpunkt wissen die Patienten bereits, wie sie die Aufgaben bewältigen sollen. In der E-BRAiN Roboterstudie wurde dies auch nach diesem Ansatz durchgeführt.

Die Hauptaufgabe eines Roboters ist es als Begleiter bzw. Assistent in der jeweiligen Anwendung zu agieren [23, 24]. Im hier vorliegenden therapeutischen Umfeld soll er als Trainer und Motivator handeln und den Patienten zu besseren Ergebnissen engagieren und sie während den repetitiven Aufgaben motivieren.

Innerhalb des E-BRAiN Projekts soll der Roboter die Patienten erfolgreich durch die Therapie führen. Die Aufgaben innerhalb der Therapie sind leicht verständlich und je nach Grad der Schwere der Bewegungsbehinderung erhält der Patient eine Therapie mit Aufgaben, die er auch alleine erfolgreich bewältigen kann. Spätestens nach einigen Sitzungen sollten die Patienten keine detaillierte Einweisung mehr benötigen und könnten die Therapiesitzung auch alleine ohne sozialen Roboter oder menschlichen Therapeuten bewältigen.

Im bisherigen Kontext leistet aber genau das menschliche Therapiepersonal einen wichtigen Beitrag, indem sie Patienten positiv beeinflussen können und bei einer Therapie motivieren können [25, 26]. Die Unterhaltungen zwischen dem klinischen Personal und den Patienten können zum Beispiel die Patienten über weitere Hintergründe der Therapien aufklären und ihnen helfen, realistische und persönliche Therapieziele zu setzen. Dies ist ein wichtiger Faktor, der Menschen dazu bewegt, eine Therapie weiterzuverfolgen. Umgekehrt kann bei Robotern davon ausgegangen werden, dass aktuell der Großteil der Bevölkerung in Robotern keine soziale oder menschliche Komponente sieht und daher werden Menschen mit dem Roboter keine nennenswerte Zeit vor oder nach der Sitzung verbringen, um mit diesem soziale Interaktion wie mit Menschen erleben zu können. Diese ist aber hilfreich oder notwendig, um die Patienten für weitere Therapiesitzungen motiviert zu halten. Insofern war es kein Ziel die menschlichen Therapeuten vollständig zu ersetzen. Vielmehr soll das Robotersystem als Ergänzung dienen, das die Therapie unterstützt und die Verfügbarkeit von Therapieeinheiten erhöht.

1.3 Ziele und Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit ist es, die Entwicklung und Nutzbarkeit eines sozialen Roboters für leistungsorientierte Schlaganfalltherapie zu untersuchen. Forschungsfragen dieser Dissertation sind:

1. Wie könnte ein soziales Robotersystem für leistungsorientierte Neurorehabilitationstherapien aussehen? Welche Funktionen sind für die Therapeuten und Patienten hilfreich?
2. Wie wird der soziale Roboter von Patienten akzeptiert? Wie nehmen Patienten die motivationale und engagierende Wirkung des Robotersystems wahr?
Hierfür nutze ich Technologieakzeptanz-Fragebögen und Usability-Interviews mit Patienten als Evaluationsmethoden.
3. Wie werden die digitalen Umsetzungen bislang analoger Therapieaufgaben bewertet?
Um dies zu untersuchen, werden „digitalisierte“ Varianten der Therapieaufgaben mit den Patienten und Therapeuten erprobt. Dabei wird die klinische Einsatzmöglichkeit dieser Anwendungen in Grundzügen geprüft.

1.4 Struktur der Arbeit

In dieser Arbeit präsentiere und evaluiere ich eine Schlaganfalltherapie mit einem sozialen Robotersystem. Zur Durchführung der Therapien entwickelte ich Software für die Robotersteuerung, die ebenfalls vorgestellt wird.

In Kapitel 2 analysiere ich den aktuellen Stand der Technik von sozialen Robotern in Rehabilitationstherapien. Kapitel 3 beschreibt die notwendigen Hintergründe der betrachteten Therapien und vermittelt die Voraussetzungen für einen Therapieerfolg.

In Kapitel 4 bespreche ich die Arbeiten zu Nutzermodellen in solchen Therapien. Im darauffolgenden Kapitel 5 gebe ich einen Überblick über die verwendete Hard- und Software und erkläre die Abläufe der Therapien. In Kapitel 6 präsentiere ich die Evaluation des Systems mittels Technology-Acceptance und Usability-Interviews und diskutiere die Systemeigenschaft der Leistungsorientierung anhand der Übungswerte der Therapiesitzungen. Kapitel 7 stellt die Vorschläge für die ersten Erweiterungen des Robotersystems vor und

1 Einleitung

zeigt die erfolgten Arbeiten für digitale Therapien. Abschließend fasse ich in Kapitel 8 die Beiträge zusammen und gebe in Kapitel 9 einen Ausblick auf weitere potentielle Forschungsarbeiten.

2 Stand der Technik

Im folgenden Kapitel wird der aktuelle Stand der Forschung rund um soziale Roboter und deren Implementierungen beschrieben. Dabei werden in Abschnitt 2.1 verwandte Robotersysteme präsentiert, die ähnliche Zwecke verfolgen wie im Rahmen dieser Dissertation.

Daran anknüpfend betrachte ich typische technische Eigenschaften und Gemeinsamkeiten solcher Roboteranwendungen.

2.1 Soziale Roboter

Der Einsatz von Roboter für Therapiezwecke ist keine neue Idee und wurde bereits mehrfach angewandt. In der Literatur wird der Begriff "robot-assisted" genutzt, wobei der Einsatz und Umfang des Robotereinsatzes unterschiedlich erfasst wird. Grundsätzlich wird zwischen "physischer" und "sozialer" Assistenz unterschieden [27]. Soziale Roboter werden mit dem Begriff „Socially Assistive Robots“ (SAR) in Verbindung gebracht, welches ein Teilbereich der „Human-Robot-Interaction“ (HRI) ist [21]. SARs unterstützen durch soziale Interaktion [28, 29, 30] und besitzen eine physische Form im Gegensatz zu virtuellen Agenten. Die Anwesenheit des Roboters konnte in verschiedenen Studien zeigen, dass sie die Motivation und Engagement der Nutzer erhöht [31, 32], die Einhaltung an der Interaktion vereinfacht [33, 34] und die Übungsleistung steigern kann [35]. Haustier-ähnliche soziale Roboter wurden eingesetzt, um Stress und Angst zu reduzieren [27, 36]. Meistens wird in Forschungsstudien nicht nur ein Roboter eingesetzt, sondern zusätzliche Rechner, Sensoren oder Anzeigegeräte [37, 38, 39]. Daher könnte häufig treffender von einem Roboter-„System“ gesprochen werden.

Im Vordergrund einer Therapie steht die Behandlung des Patienten und das Robotersystem wird um die Behandlung herum entwickelt. Soziale Roboter werden so konzipiert, dass sie keine physische Hilfe ausüben können, was ihren potentiellen Einsatzbereich

2 Stand der Technik

begrenzt. Dennoch wurde bereits gezeigt, dass Roboter in vielen Rehabilitationsszenarien alleine eingesetzt werden. Alternativ konnten sie die Aufgaben von Therapeuten zeitweise übernehmen, um diese zu entlasten. Es gibt Therapien für das Gehen [38] und in diesem Zusammenhang auch für kardiovaskuläres Training [21, 40]. Bei beiden Anwendungsfällen sollen Patienten auf einem Laufband laufen und gegebenenfalls werden sie durch Hilfsmittel wie ein Exoskelett unterstützt. Ein nahestehender sozialer Roboter gibt ihnen während des Laufens Feedback. Weiterhin bestehen bereits Anwendungen als Fitnessübungstrainer [37], für Sprechtherapien [41] und Spieltherapien für Kinder mit Autismus [42]. Prinzipiell sind viele Bereiche möglich, in denen vor allem verbale Instruktionen von Bedeutung sind.

Die folgende Literaturübersicht erfasst hauptsächlich Robotersysteme, die als Trainer in Rehabilitationsanwendungen für physische Beschwerden fungieren.

Levy-Tzedek und ihr Team [20] untersuchten soziale Roboter in einem ähnlichen Kontext wie das Projekt dieser Dissertation. In ihren Arbeiten entwickelten sie ein roboterbasiertes, "gamifiziertes" Übungssystem für Langzeit-Schlaganfalltherapien. In den Arbeiten von Levy-Tzedek et al. war das wichtigste Element der Vergleich verschiedener Technologien bei der Neurorehabilitation. Zusätzlich wurden die Auswirkungen auf die Motivation der Patienten beobachtet. Die Patienten wurden bei den Therapieaufgaben entweder durch einen sozialen Roboter oder einem digitalen Avatar unterstützt und angeleitet. Zum Vergleich diente auch eine Kontrollgruppe, die keine digitale Hilfe während oder vor den Übungen hatte und lediglich mittels Papieranleitungen die Aufgaben verstehen musste. Diese erhielten auch kein Feedback während der Übungsausführung. Insgesamt umfasste die Studie 24 Schlaganfallpatienten, die über den Verlauf von 5 bis 7 Wochen jeweils 2-3 Sitzungen pro Woche hatten, und somit zu insgesamt 306 Sitzungen führte. Die Therapieaufgaben sind an alltäglichen Dingen des Lebens angelehnt. Die Aufgaben waren folgende: (1) Becher zur richtigen Farbe auf einer Linie platzieren, (2) Becher zur richtigen Farbe in einem Kreis platzieren, (3) farbige Schlüssel auf einen Schlüsselhänger hängen, (4) farbige Schlüssel aus einem Geldbeutel entfernen und auf einem Schlüsselhänger hängen, (5) platzieren von farbigen, befüllten Plastikschröseln auf einem Küchenregal, (6) „Black Jack“, (7) „Escape Room“: finden von Gegenständen und Interaktion mit Gegenständen.

Levy-Tzedek et al. konnten zeigen, dass ihre Therapiesysteme für Langzeit-Rehabilitation in einem klinischen Umfeld eingesetzt werden konnten. Zur Evaluation wurde ein modifizierter "User Satisfaction Evaluation Questionnaire" (USEQ) [43] Fragebogen mit zehn

Fragen verwendet. Sowohl der digitale Avatar und der Roboter wurden gut akzeptiert, wobei die Gruppe mit dem Roboter etwas höhere Akzeptanzwerte aufwies. Levy-Tzedek et al. konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Patientengruppen feststellen, aber merkten an, dass dies auch an der geringen Patientenzahl liegen könnte. Die Autoren behaupten, dass nicht der bloße Einsatz der Technologie die Person zu einer höheren Motivation stimuliere, sondern eher die Wertschätzung der Effektivität der Technologie und wahrgenommenen Beitrag zum Rehabilitationsfortschritt.

Céspedes et al. [38] präsentieren in ihrer Arbeit ein soziales Robotersystem mit einem "NAO" Roboter zur Gehen-Rehabilitation. Die Therapien für das Gehen verbinden typischerweise ein unterstützendes Körpergewichtssystem mit einem Laufband [38]. In der klassischen Variante mit dem "Lokomat"-Exoskelett-Modell werden Patienten mit einem Exoskelett verbunden, sodass dieses das Gewicht des Patienten von oben teilweise trägt und sich an die Patienten anpasst. Der anwesende Therapeut muss sich dabei auf den Patienten und auf das System gleichzeitig konzentrieren. Céspedes et al. stützen sich auf eine andere Arbeit [44], die behauptet, dass Multitasking seitens der Therapeuten Patienten dazu bringen würde, die Therapie abubrechen. Daher erforschten Céspedes et al. in einer Studie mit vier Patienten das Design und Evaluation einer Mensch-Roboter-Interaktion mit einem sozialen Roboter, um die Arbeitslast des Therapeuten während einer Therapiesitzung mit einem "Lokomat"-Modell zu reduzieren und den Patienten während der Sitzung zu motivieren. Das System beobachtet verschiedene Patientenwerte während der Sitzung wie Herzrate, fragt regelmäßig nach dem Grad der gefühlten Anstrengung und gibt dem Patienten angepasstes Feedback.

Für alle Patienten wurde eine Kontrollsituation mit dem Therapeuten und eine Sitzung mit Therapeuten und Roboter durchgeführt. Es konnte beobachtet werden, dass Patienten mit dem sozialen Roboter eine korrektere Haltung beim Laufen bewahren konnten. Céspedes et al. erklären es sich unter anderem dadurch, dass Therapeuten vor allem auf die Beinbewegungen und nicht so häufig wie das Robotersystem auf die Oberkörperhaltung des Patienten achten. Insgesamt wurde das Robotersystem als hilfreich empfunden.

Céspedes et al. [45] nutzten in einer anderen Studie ein ähnliches Setup für kardiovaskuläres Training mit einem sozialen Roboter. Auch hier wurde ein Laufband verwendet und ein Tablet vor den Patienten platziert. Während der Sitzung wurden unter anderem das Herz-EKG des Patienten, die Übungsintensität, die Haltung des Patienten und die manuelle Eingabe der gefühlten Anstrengung des Patienten auf dem Tablet erfasst. Das

2 Stand der Technik

Programm umfasste 18 Wochen mit zwei 60-minütigen Sitzungen pro Woche. Von den jeweils 15 Patienten für die Kontrollgruppe und Robotervariante haben neun Patienten in der Kontrollgruppe und elf das Programm mit dem Roboter abgeschlossen. Insgesamt konnte die Gruppe mit dem Roboter eine bessere "Recovery heart rate" (RHR) erzielen als die Kontrollgruppe. Weniger umgesetzt wurden Aspekte der Personalisierung des Systems auf den Patienten, wie etwa die Berücksichtigung des Namens oder der Trainingsergebnishistorie während der Therapie.

Neben Anwendungen zur Rehabilitation wurden soziale Roboter auch für sonstige sportliche Zwecke wie Lauftrainer [46, 47] eingesetzt.

Diese Lauftrainer-Anwendung funktioniert ähnlich wie das vorhin beschriebenen Systeme für kardiovaskuläres Training, welche mit einem Laufband durchgeführt wurde und dem Roboter in nächster Nähe. Ähnlich wie bei den Roboterstudien in klinischer Umgebung werden auch hier die Nutzer instruiert und Ihnen Feedback zur Verbesserung und Motivation gegeben.

Robotersysteme für generelle sportlich-orientierte Fitnessübungen wurden für verschiedene Einsatzmöglichkeiten untersucht [37, 48]. Nutzer befinden sich vor dem Roboter und werden instruiert, bestimmte Bewegungen auszuführen. Die Darstellungen der Übungen werden dabei oft auf weiteren, in der Nähe befindlichen Bildschirmen angezeigt [49], vom Roboter direkt soweit möglich demonstriert [50] oder durch ein abgespieltes Video auf dem Tablet-Monitor des Roboters dargestellt [51].

Die Übungen sind dabei klassischerweise Sportübungen und erstrecken sich von einfachen Bewegungen wie die Arme im Sitzen vollständig nach außen auszustrecken [51] bis hin zu Kniebeugen.

Görer et al. [52] haben ein Robotersystem für Fitnessübungen für ältere Menschen entwickelt. Der Roboter NAO demonstriert die Übungen soweit möglich und kann bei Bedarf weitere Hilfestellungen geben. Dabei wurde eine verbale Bestätigungsfunktion zur Bereitschaft seitens der Patienten erprobt, was jedoch oft zu Problemen bei der akustischen Verständlichkeit führte. Generell wurden bei bestimmten Roboter-Modellen beobachtet, dass die native Spracherkennung des Roboters ältere Patienten nicht gut verstehen können [53, 54].

Hinsichtlich der Dialog- bzw. Interaktionssteuerung werden häufig „finite state machines“ verwendet. Dieses Konzept wird typischerweise genutzt, um die Inhalte direkt zu bestimmen. So kann an jeder Stelle individuell festgelegt werden, wo der Roboter

Feedback geben soll. Nur in Anwendungen, die eine dynamische Konversation verfolgen, werden "turn taking"-Konzepte zur Dialogsteuerung verwendet [55, 56]. Diese Systeme generieren praktisch unbegrenzt neue Antworten auf die zuletzt verstandene Aussage des Nutzers. Dabei werden typischerweise KI-Modelle und Wissensdatenbanken eingesetzt.

Generell wurden in mehreren Applikationen auch unterschiedliche Erkennungsfunktionen eingebaut, um verschiedene Zustände und Aktionen der Patienten zu beobachten. Dazu gehören häufig Motivation [57], Engagement und Körperpose [37], das Anstrengungsempfinden mittels Borg-Skala [38] und den Affekt- bzw. Emotionszustand [58, 59] des Patienten. Mittels dieser soll die Roboterinteraktion so angepasst werden, dass sie auf den Nutzer reagiert. Die Beobachtung des Nutzers durch Kameraerfassung ist eine beliebte Methode [59]. Weitere unterstützende Signale sind das Elektroenzephalogramm (EEG), die Elektromyografie (EMG) [60] und das Elektrokardiogramm [37]. Sie werden zur Bestimmung von Emotionen und des Affektzustands eingesetzt.

2.2 Technische Implementation von Robotersystemen in Rehabilitationsanwendungen

Dieser Abschnitt gibt einen technischen Überblick zu Robotersystemen in Therapien. Einzelheiten zu umgesetzten Implementationen anderer Forscher wurden oft nicht detailliert präsentiert. Angaben zu den Softwareversionen, Gebrauch von Drittanbieter-Frameworks oder direkter Zugang zu dem konkreten Programmcode sind oft nicht in den Arbeiten erkennbar.

Hier werden ausgewählte Faktoren betrachtet: (1) welche Systemarchitekturen lassen sich erkennen, (2) wie viel der Programmlogik befindet sich im Roboter (oder auch: wie autonom ist der Roboter), (3) was sind häufig genutzte Frameworks und Programmiersprachen und (4) inwieweit wurde künstliche Intelligenz eingesetzt.

(1) Typischerweise verwenden Forscher einen im Handel erhältlichen Roboter und entwickeln darauf aufbauend eine Systemumgebung. Diese werden für spezielle Anwendungsfälle entwickelt und daher existieren meistens deutliche Unterschiede zwischen den Systemarchitekturen. Dennoch sind bestimmte Gemeinsamkeiten auffindbar.

Die Roboteranwendungen verbinden meist mehrere Geräte miteinander. Daher werden oft komplexe Modulararchitekturen eingesetzt. Typischerweise ist ein Softwaremodul zur

2 Stand der Technik

Steuerung bzw. Planung vorhanden, welches zumindest von großer Bedeutung ist [37, 61, 62] oder im Zentrum der Architektur [63, 52] steht. Ein solches Modul kann alle anderen Softwarekomponenten zur Eingabe und Ausgabe von Daten direkt oder indirekt integrieren. Namensgebend wird in diesem Modul die Steuerung der Therapiesitzung veranlasst. Dieses Steuerungsmodul erhält zudem typischerweise aus verschiedenen anderen Modulen Eingabedaten, um die Interaktionsschritte dynamisch anzupassen. Aus diesem Steuerungsmodul heraus werden dann an die andere Module bzw. Endgeräte Informationen versendet. Einige Arbeiten nutzen eine komplexe, mehrschichtige Steuerungsarchitektur [64, 61].

Je nachdem wie weit Systemfunktionen aufgeteilt sind, lassen sich unter anderem folgende Module finden: Funktionen zur Spracherkennung, Datenbankschnittstelle, Kontextwahrnehmung mittels Kameratracking [52, 61], Sensorenmanager zur Körperhaltung oder Herzrate [21], sowie die jeweiligen Endgeräte für die Nutzer (primär Patienten und ggf. Therapeuten). Zu diesen Endgeräten zählen der soziale Roboter und weitere (Anzeige-)Geräte, die oft auch ein grafisches Interface für die Nutzer einsetzen [21]. Dieses Interface kann jeweils für Patienten und Therapeuten unterschiedlich sein. Als ergänzende Funktionsmodule wurden auch Logging der Systemhistorie und Monitoring-Schnittstelle des Systems identifiziert.

Fasola und Mataric untersuchten in ihrer Arbeit [65] die Evaluation eines Roboter-Übungstrainers für Sportübungen im Sitzen für ältere Menschen. Die Systemarchitektur besteht aus sechs Modulen: Vision, World Model, Speech, User Communication, Behaviour, Robot Action und Database Management. Das Behaviour Modul beobachtet den Sitzungsverlauf und agiert als Zentraleinheit der Interaktionssteuerung. Die Anwendung integriert kamerabasierte Überprüfung der Übungsausführung und erlaubt Nutzereingaben. Auf Grundlage des Kontexts werden dann verbale Inhalte generiert und die nächsten Schritte eingeleitet. Der Rechner sendet die Befehle zur Ausführung an den Roboter, vorwiegend für die Sprachwiedergaben. Künstliche Intelligenz wurde hier bei der Kameraerkennung der Bewegung eingesetzt.

(2) Der Umfang der Programmlogik, die direkt auf dem Roboter implementiert wird, ist in der Regel kaum beschrieben. Allerdings kann durch die Anzahl der eingesetzten unterschiedlichen Geräte in den zitierten Werken aus Punkt (1) zumindest vermutet werden, dass Mittel eingesetzt werden müssen, um die Kommunikation zwischen den Komponenten zu gewährleisten. Dieser zusätzliche technische Organisationsaufwand (durch z.B. etablierte Kommunikationsprotokolle wie MQTT [66]) tritt umso stärker auf, je

2.2 Technische Implementation von Robotersystemen in Rehabilitationsanwendungen

mehr Geräte miteinander verbunden sein müssen. Wird für ein Roboterprojekt ein solcher Aufwand vermutet, erscheint es als wahrscheinlich, dass der Großteil der Programmabläufe und Steuerungsprozesse in den hier beschriebenen Anwendungen außerhalb des Roboters ausgeführt wird. Zudem würde sich für die Entwickler und Anwender die Frage stellen, welche Vorteile es gäbe, dass große Software-Module auf dem Roboter ausgeführt werden sollen und langfristig auch aktualisiert werden müssen.

Häufig müssen auch externe Systeme eingesetzt werden, da die Hardwareausstattung eines Roboters oft ungenügend ist. Beispielsweise kann nicht ausreichend Rechenleistung bereitgestellt werden. Bei Robotersystemen, die den Echtzeit-Anwendungskontext mittels Computer Vision - Methodik analysieren, werden oft intensive Rechenkapazitäten benötigt. Weiterhin sind die eingebauten Kameras des Roboters hinsichtlich der Bildauflösung und Kameraperspektive eingeschränkt. Oft werden funktionsreichere Kameras außerhalb des Roboters verwendet, wie etwa eine Microsoft Kinect 3D-Kamera [67].

Erschwerend kommt hinzu, dass eine mangelnde Unterstützung von Software-Bibliotheken für die jeweilige Roboterplattform vorliegen kann. Und gleichzeitig könnten diese Software-Bibliotheken auf einer populäreren Programmplattform besser funktionieren. Häufig werden in wissenschaftlichen Werken die kommerziellen Roboter NAO und Pepper des Unternehmens Softbank Robotics [68] verwendet. Dabei kamen unternehmensspezifische Firmware und Hardware (sowie deren Updates) zum Einsatz, die zum Teil große Veränderungen bewirkten. Bestimmte Updates der Serie schränkten die Programmiermöglichkeiten der "Pepper"-Serie erheblich ein, sodass Roboteraktionen nur noch über das vorinstallierte Android-OS mit entsprechendem Roboter-Framework zugänglich sind. Zudem sind manche Funktionen aus Sicherheitsgründen beschränkt. Dadurch lassen sich manche Studien (auch mit einem Roboter dieser Serie) nicht reproduzieren.

Dennoch gibt es Roboteranwendungen [69, 70], welche wahrscheinlich die Programmlogik überwiegend im Roboter selbst innehaben. Das wichtigste Einsatzszenario für solche Anwendungen scheint in Situationen zu liegen, in denen ein möglichst autonomer Einsatz des Roboters vorgesehen ist. Bei ambulanten Therapiesituationen ist diese Vorgabe aber unnötig, da Roboteranwendungen auf wahrscheinlich vorhandene technische Infrastruktur zurückgreifen können und zwecks Ausfallsicherheit sollten. Grundsätzlich arbeiten die meisten Roboteranwendungen mit mehreren unterstützenden Geräten, wobei der Einsatz von externen Kameras und Rechnern zum Steuern des Roboters beliebt sind.

Ruf et al. [69] führten eine Pilotstudie zur Messung der Geeignetheit eines autonomen Roboters für das häusliche Training für Senioren durch. Deren Ergebnisse zeigten, dass

2 Stand der Technik

ein autonomer Roboter sich nicht für diesen Einsatzzweck eignet. Die Roboter wurden akzeptiert, aber hatten oft technische Schwierigkeiten und eine mangelnde Adaptivität wurde angegeben. Sie fügten hinzu, dass sie nur eine kleine Probandenzahl hatten und ihr Roboter nicht für diesen Einsatz optimiert war.

Meistens werden Roboter daher nur zur Darstellung und Präsentation von Inhalten eingesetzt. Wie oben erwähnt, ist die Steuerung des Roboters ein eigenes Modul in der Softwarearchitektur von Roboteranwendungen. Der Roboter wird also als ein "Thin-Client" [71] verwendet. Praktisch werden nur Nachrichten an den Roboter versendet und der Roboter muss diese Nachricht nur interpretieren und ausführen können. Aus diesem Grund könnten Robotersysteme grundsätzlich in jeder Programmumgebung bzw. Programmiersprache realisiert werden. Lediglich das Framework der eigentlichen Robotersteuerung muss herangezogen werden, um die eintreffenden Nachrichten auf dem Roboter tatsächlich auszuführen.

(3) Die für eine Anwendung relevanten Frameworks sind abhängig vom Use Case und der gewählten Roboterplattform. Die systematische Literaturanalyse von Mahdi et al. [72] fand heraus, dass in bis zum November 2020 veröffentlichten Werken 55 % der darin verwendeten Roboter nicht kommerziell erhältlich sind, da es sich meist um Forschungsprototypen handelt. 28,6 % der Roboter waren zu dem Zeitpunkt erhältlich, während die Produktion bei weiteren 13,5 % eingestellt wurde. Weiterhin sind lediglich 3 % der Roboter Open-Source.

Bei Open-Source Frameworks wurde primär das "Robot-Operating-System" (ROS) als beeinflussender Faktor für Robotik im Generellen genannt.

Als Roboterplattform sind die humanoiden Roboter "NAO" und "Pepper" Serien [73] beliebt und relativ erfolgreich [72]. Innerhalb dieser Serien wurden daher auch verschiedene Versionen seit ihrem Markteintritt entwickelt. Für den NAO Roboter werden vor allem die Sprachen C++ und Python unterstützt, während auf dem Pepper Roboter seit dem Update 2.9 eine Steuerung praktisch nur noch über das Android-OS möglich ist [74, 75] und mit einem proprietären Middleware-Framework namens "Naoqi" ausgestattet ist. Bei früheren Arbeiten wurden häufig die mitgelieferten Software-Tools für die Roboter verwendet. Beim NAO-Roboter ist dies beispielsweise die "Choregraphe" Software [76, 77].

(4) Künstliche Intelligenz wird im Kontext von Robotertherapien vor allem in den Bereichen der visuellen Kontexterkennung und Verhaltenssteuerung des Roboters eingesetzt.

2.2 Technische Implementation von Robotersystemen in Rehabilitationsanwendungen

Auf dem Gebiet der Computer Vision wird bislang ein Fokus auf die Erkennung des gesamten Kontexts und der Übungsausführung gelegt. Wie ein Nutzer eine bestimmte Aufgabe durchführt, ist grundsätzlich eine wichtige und vielseitig nutzbare Information. Die Leistung bzw. das Ergebnis einer Übung kann bewertet werden und so kann der Roboter z.B. hilfreiches und passendes Feedback geben [37]. Eine andere Möglichkeit stellt die Beobachtung des Körper- und Gesichtsausdrucks dar, mit der versucht wird, den emotionalen Zustand der Nutzer zu bestimmen. Diese Informationen können dann ebenfalls im Roboterfeedback berücksichtigt werden. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist beispielsweise, dass ganze Körperbewegungen "erlernt" werden können [52]. Die erkannten Bewegungen der Personen in einem Ausführungsvideo werden so abgebildet, dass der Roboter diese Bewegungen ebenfalls durchführen und diesen Bewegungsablauf speichern kann. Diese gespeicherten Bewegungsabläufe werden dann vom Roboter in tatsächlichen Sitzungen vor den Nutzern demonstriert.

Ein lernendes Verhalten von Systemen mit Robotern als Instruktoren wurde in einer Literaturanalyse [78] nicht gefunden. Neuere Werke versuchen die Handlungen des Roboters zu personalisieren [79, 80, 81, 82].

Bei der Verhaltenssteuerung werden Methoden eingesetzt, um mit den erhobenen Eingabedaten der jeweiligen Therapie möglichst passendes Feedback zu berechnen und wiederzugeben. Dabei wird oft Betonung auf das Timing und die Frequenz des Feedbacks gelegt [52, 46]. Andere Anpassungen betreffen die dynamische Veränderung von Übungsvariablen, um beispielsweise während einer Übung die Schwierigkeit automatisch an die erkannte Leistung der Patienten zu personalisieren [61].

Eine relativ neue Möglichkeit des Einsatzes von künstlicher Intelligenz in der Robotersteuerung ist die Methode der "supervisierten Autonomie" [83, 46, 84]. Das Training erfolgt in einem sogenannten "Interactive Machine Learning"-Design. In dieser Methode "lernt" die künstliche Intelligenz aus den Eingaben eines Menschen während der Ausführung. In dieser Methode handelt ein Robotersystem autonom, aber unter der Aufsicht und Steuerungsmöglichkeit einer Aufsichtsperson (Supervisor). Die Aufsichtsperson kann jederzeit die Handlungen des Roboters vor ihrer Ausführung überschreiben [83]. Das System speichert die Aktionen der Aufsichtsperson und kann auf dieses Wissen zurückgreifen. Technisch wird die Autonomie des Systems durch eine anhaltende Schleife realisiert, die in regelmäßigen Abständen die nächste Roboterhandlung bestimmt und ausführt. Dabei kann eine Handlung wie "Loben", "Motivieren" oder auch keine Handlung ausgeführt werden. Der Aufsichtsperson erhält über ein Systeminterface die Information, was als

2 Stand der Technik

vorgeschlagene Systemhandlung gleich ausführt werden soll. Der Aufsichtsperson kann diesen Vorschlag zulassen, ablehnen oder eine eigene Aktion eingeben. Dabei werden sogenannte "Tupel" erstellt. Dies sind Paare aus Kontextinformationen und einer Aktion. Das System kann von diesen Informationstupeln lernen und die Information für zukünftige Handlungsberechnungen einsetzen. Während das Robotersystem zu Beginn des Einsatzes noch eher wenige passende Vorschläge generieren kann, bildet sich über die Trainingsphase des Systems eine ausreichende Menge an "Kontext-Aktion"-Tupeln bilden, welche dann zu intelligenten Handlungen zur richtigen Zeit innerhalb der Sitzung führen.

Der hier dargestellte Überblick zum aktuellen Stand der Technik verdeutlicht die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten. Das nächste Kapitel zeigt die medizinischen Therapien, die im Rahmen dieser Dissertation betrachtet wurden.

3 Betrachtete Therapien

Im Rahmen des E-BRAiN Projekts entwickelte ich basierend auf bereits bestehenden klinischen Therapien eine Variante mit einem sozialen Roboter als Therapeuten. Davon drei für Lähmungen der Arme und Hände sowie ein Neglect Training zur Behandlung einer visuellen Neglect Störung. Diese Therapien lagen bereits in einer konventionellen klinischen Form vor, die durch einen menschlichen Therapeuten ausgeführt wird. Meine Aufgabe bestand darin, diese Therapien aus technischer Sicht innovativ zu gestalten, um sie durch ein soziales Robotersystem umsetzen zu können.

Im Folgenden werden wichtige theoretische Grundlagen zu den von mir implementierten Rehabilitationstherapien kurz vermittelt. Das Prinzip der Neurorehabilitation basiert auf der Anpassungsfähigkeit des Gehirns. Diese Fähigkeit der Reorganisation des Gehirns wird als "Neuroplastizität" beschrieben [85]. Vereinfacht ausgedrückt, kann sich das Gehirn neu strukturieren, indem es Nervenzellen anders vernetzt, ungenutzte Hirnbereiche aktiviert und Funktionen in andere Regionen verlagert. So können auch motorische Funktionen wiederhergestellt werden.

3.1 Spiegeltherapie

Die Spiegeltherapie (ST) ist vorwiegend für einseitig gelähmte Patienten konzipiert. Innerhalb der vier Therapien des E-BRAiN Projekts werden hier die am schwersten betroffenen Patienten behandelt. Die Therapie nutzt die Spiegelbild-Reflexion des gesunden Armes des Patienten, um dem Patienten so eine optische Täuschung zu ermöglichen. Während einer Sitzung befindet sich ein mittig senkrecht platzierter Spiegel vor der Körperachse der Patienten. Die Patienten führen Bewegungsübungen mit der gesunden Seite aus und schauen leicht von der gesunden Seite geneigt auf das sich bewegende Spiegelbild, ähnlich wie in Abbildung 3.1. So entsteht durch das Betrachten des Spiegelbilds der Eindruck, dass sich der gelähmte Arm bewegen würde [86].

3 Betrachtete Therapien



Abbildung 3.1: Darstellung der Spiegeltherapie mit der rechten Hand aus dem E-BRAiN Projekt. Patienten sollen sich so hinsetzen, dass sie leicht schräg auf das Spiegelbild ihrer gesunden, trainierenden Hand sehen können.

Diese Therapie wird einerseits gegen Phantomschmerzen angewandt, kann aber auch im Kontext nach einem Schlaganfall zu einer motorischen Rehabilitation des Armes helfen.

Zur Erklärung der Wirksamkeit der Spiegeltherapie wird angenommen, dass sie durch Spiegelneuronen zustande kommt. Diese speziellen Nervenzellen besitzen die Fähigkeit, dass eine einzelne Zelle eine multimodale motorische, akustische und visuelle Aufgabe übernehmen kann [86]. Durch das Beobachten des bewegendes Spiegelbilds werden die Spiegelneuronen aktiviert.

3.2 Armbasistraining

Das Arm-Basis-Training (ABT) wird bei Patienten mit relativ schweren Lähmungen verwendet. In solchen Fällen können einzelne Muskeln entweder überhaupt nicht mehr aktiviert werden oder nicht mehr einzeln und gezielt [87]. Das Ziel von Behandlungen ist die Wiederherstellung dieser Basis-Kompetenz der "selektiven Innervation" für die unterschiedlichen Freiheitsgrade der Arme oder Hände.

3.2 Armbasistraining



Abbildung 3.2: ABT-Beispielübungen aus dem E-BRAiN Projekt

Die ABT-Therapie zielt genau darauf ab, bei solch einer schweren Armlähmung alle Muskelgruppen im Arm auch wieder einzeln und gezielt nutzen zu können. Abbildung 3.2 veranschaulicht dies anhand von Bewegungsabläufen, welche den Anfangs- und Endpunkt von Übungen zeigen.

Die Therapie umfasst über einen Zeitraum von mehreren Wochen eine festgelegte Anzahl von Sitzungen. In klinischen Studien zur Wirksamkeit wurde die Therapie über vier

3 Betrachtete Therapien

Wochen hinweg mit fünf 45-minütigen Sitzungen pro Woche erprobt.

In den Sitzungen sollen die wichtigsten Bewegungen für den Patienten wiederholt geübt, um den Patienten das gezielte und isolierte Bewegen jedes einzelnen Armbereichs zu ermöglichen. Bei diesen Bewegungen ist es wichtig, möglichst die volle Bewegungsreichweite der jeweiligen Gelenke zu nutzen.

Das Training erfolgt in drei Stufen bzw. Phasen. In Stufe 1 müssen Patienten ihre Hände oder Arme nicht selbstständig halten, da der Therapeut unterstützend mithilft, indem der Arm oder die Hand von ihm gehalten wird. Diese Art der Hilfe wird unter dem Begriff „Anti-Gravity“-Training erfasst. Auf diese Weise kann der Patient sich auf die eigentliche Übungsbewegung konzentrieren und muss nicht die zusätzliche Kraft anwenden, den Arm „entgegen der Schwerkraft“ zu heben. Können Patienten allein nicht die volle Bewegungsreichweite ausschöpfen, hilft ihnen der Therapeut.

Übungen der Stufe 2 werden ausgeführt, sobald die Patienten die Bewegungen eigenständig ausführen können. Bei diesen Bewegungsabläufen üben sie mit dem Gewicht des eigenen Arms. Der Therapeut leistet dabei keine Unterstützung mehr gegen die Schwerkraft.

Bei Übungen der 3. Stufe werden komplexere Bewegungen trainiert, bei denen mehrere Gelenke gleichzeitig bewegt oder gehalten werden müssen.

3.3 Armfähigkeitstraining

Das Armfähigkeitstraining (AFT) [88] ist eine Therapie für eine leichte bis mittlere Armlähmung und wurde von Prof. Thomas Platz entwickelt. Auch bei Patienten mit einer guten klinischen Rehabilitierung können Defizite in den motorischen Fähigkeiten bestehen [89]. Das Ziel ist eine messbare Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Armmotorik [90]. Das Training ist so strukturiert, um die motorischen Fähigkeiten der Arme und Hände zu trainieren [91]. Dies kann auch potentiell zu einer Verbesserung der motorischen Leistung in anderen Situationen resultieren, wie etwa bei alltäglichen Dingen des Lebens. Die motorischen Fähigkeiten umfassen nach Platz [91] verschiedene unabhängige sensorimotorische Kompetenzen, welche grundlegende Armaktivitäten ermöglichen. Die Sensomotorik beschreibt dabei die Steuerung von Bewegungsabläufen unter Einbeziehung von Sinnesrückmeldungen. Der Erfolg der AFT konnte in mehreren randomisierten Studien erfolgreich bewiesen werden [88, 92, 93, 94, 91].

Die Therapie besteht aus insgesamt acht verschiedenen Aufgaben, wie in Abbildung 3.3

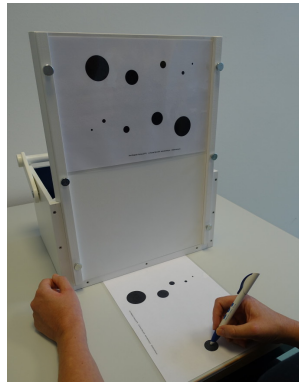
dargestellt. Jede dieser Aufgaben wird typischerweise viermal ausgeführt. Diese repetitive Struktur des Trainings und die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade der Übungen sind die entscheidenden Erfolgsfaktoren der AFT [91]. Über die Ergebnisse der Übungen erhält der Patient Feedback in Form von sogenanntem "Knowledge of Result". Der behandelnde Therapeut gestaltet das Feedback im Zusammenhang mit dem Ziel der Übung [95, 91], z.B. wie schnell oder genau die Leistung der Übung war.

1. Zielen: Bei der Zielen-Bewegung halten die Patienten einen Kugelschreiber in ihrer zu trainierenden Hand. Die Patienten sitzen an einem Tisch und vor ihnen befinden sich zwei DIN A4 Seiten. Eines liegt auf dem Tisch, das andere ist quer auf einer hohen Holzkiste in etwa Augenhöhe befestigt. Auf diesen Seiten befinden sich unterschiedlich große schwarze Kreise. Auf der liegenden Seite befindet sich der Ausgangspunkt. Für die Aufgaben selbst sollen die Patienten vom Ausgangspunkt ausgehend, nacheinander die Zielpunkte der oben befestigten Seite im Uhrzeigersinn und den Ausgangspunkt mit möglichst schnellen Bewegungen mit der Spitze des Stifts berühren. Ist dies erreicht, sollen dann vom Ausgangspunkt die fünf oberen schwarze Punkte der liegenden Seite mit dem Ausgangspunkt abwechselnd mit geraden Strichen verbunden werden. Ist auch dies erreicht, beginnt die Übung erneut von vorne. Der anwesende Therapeut hat die Aufgabe, den Patienten aufzufordern, einen verfehlten schwarzen Punkt erneut zu anzutippen.

2. Tippen: Der Arm der Patienten liegt bis zum Ellenbogen flach auf dem Tisch. Für die eigentliche Übung soll mit dem Daumen, dem gestreckten Zeigefinger und dem gestreckten Mittelfinger jeweils dreimal hintereinander auf dem Tisch getippt werden. Auch hier sollen die Patienten dies möglichst schnell und mit erkennbarer Bewegung der Finger ausführen.

3. Durchstreichen: Vor den Patienten liegt ein DIN A4 Blatt mit einer Vorlage von schwarzen, ovalen Kreisen unterschiedlicher Größe, vergleichbar mit dem Buchstaben „O“. Die Patienten halten in ihrer betroffenen Hand einen Kugelschreiber und während der Übungsausführung dürfen Arm und Hand nicht auf dem Tisch liegen. Für diese Aufgabe sollen die Patienten diese ovalen Kreise nacheinander sichtbar durchstreichen. Ein Kreis zählt als durchgestrichen, wenn der Strich innerhalb der weißen Mitte erkennbar ist.

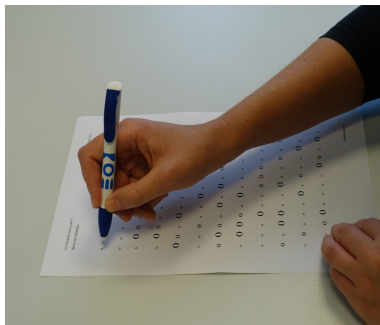
3 Betrachtete Therapien



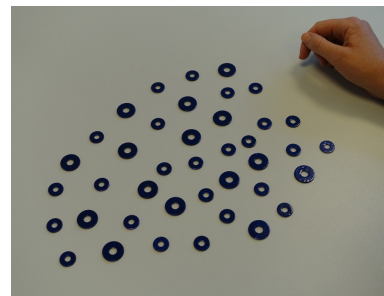
(a) 1. Zielen



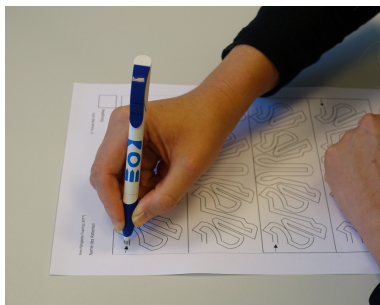
(b) 2. Tippen



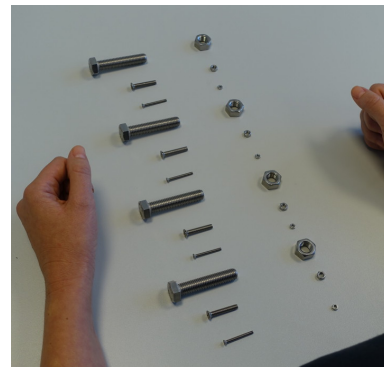
(c) 3. Durchstreichen



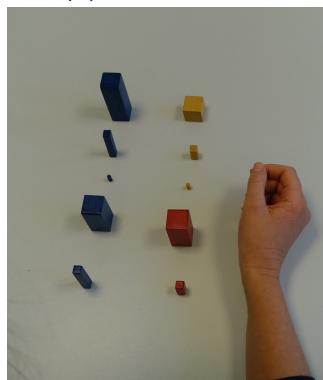
(d) 4. Scheiben umdrehen



(e) 5. Labyrinth



(f) 6. Schrauben



(g) 7. Holzklötze



(h) 8. Kruken

Abbildung 3.3: AFT Aufgaben-Überblick, vgl. [88]

4. Metallscheiben umdrehen: Vor den Patienten liegen Metallscheiben in der Größe von Geldstücken auf dem Tisch. In dieser Aufgabe sollen die Münzen schnell umgedreht werden. Dabei dürfen Patienten diese Scheiben nicht über die Tischkante hinaus schieben und dann umdrehen, sondern sollen diese Schreiben „korrekt“ mit den Fingern umdrehen.

5. Labyrinth: Vor den Patienten liegt eine mit Labyrinth-Vorlagen bedruckte DIN A4 Seite auf dem Tisch und Patienten halten in der zu trainierenden Hand einen Kugelschreiber. Ohne den Arm und die Hand auf dem Tisch abzulegen, sollen sie mit Kugelschreiber eine Linie von einem Ende des Labyrinths zum anderen zeichnen. Dabei sollen sie möglichst ohne das Berühren der Labyrinthwände zum Ziel gelangen. Für jedes Berühren wird den Patienten eine „Strafsekunde“ dazuaddiert. Wurde ein Labyrinthvorlage fertig bearbeitet, können Patienten die nächste, unten liegende Vorlage auf der Seite bearbeiten.

6. Schrauben: Für dieser Aufgabe liegen auf einem Tisch mehrere Schrauben und Muttern unterschiedlicher Größe. Für die Aufgabe sollen Patienten möglichst schnell die Schrauben und Muttern aufeinanderdrehen und anschließend wieder auseinanderdrehen. Das kann auch in mehreren Runden hintereinander geübt werden.

7. Holzklötze: Bei dieser Übung werden mehrere Holzklötze in unterschiedlicher Größe auf einem Tisch in zwei Reihen vor den Patienten vorbereitet. Alle Holzblöcke der einen Seite sollen auf die Holzklötze der anderen Seite gestellt werden. Ebenso wie bei der vorigen Aufgabe sollen die Holzklötze dann wieder in die Ausgangslage zurückgesetzt werden. Auch hier können mehrere Durchgänge des An- und Abstellens der Holzklötze vorgegeben werden.

8. Kruken: Auch hier werden Objekte auf dem Tisch vor den Patienten hingestellt. Es handelt sich um insgesamt sechs zylinderförmige Plastikbehälter, sogenannte "Kruken". Die Kruken werden in zwei Reihen, vorne und weiter hinten platziert. Für diese Übung sollen die vorderen Kruken auf die jeweilige hinten liegende Kruken platziert werden. Sind alle 3 Paare richtig platziert, sollen diese wieder in die Ausgangslage zurückgestellt werden. Wie bei der 6. und 7. Übung können hier mehrere Durchgänge für die Patienten vorgegeben werden.

3.4 Neurovisuelles Neglect-Training

Ein "Neglect" ist eine mögliche neurovisuelle Störung nach einem Schlaganfall [96]. Mit dem Begriff (Hemi-)Neglect werden Symptome verbunden, die mit (halbseitiger) Vernachlässigung des extrapersonalen oder peripersonalen Raum verbunden sind, aber nicht primär auf Störungen der Motorik oder Sensorik basieren [97]. Betroffene haben Probleme ihre Aufmerksamkeit auf die vernachlässigte, kontraläsionale Raumhälfte zu richten und auf visuelle, akustische oder somatosensorische Reize entsprechend zu reagieren.

Im Rahmen der Thesis wird der visuelle Neglect betrachtet und dieser äußert sich zum Beispiel daran, dass betroffene Personen nicht alle Objekte oder ganze Bereiche in ihrem Sichtfeld wahrnehmen können, vereinfacht dargestellt in Abbildung 3.4. Sogenannte "Homonymous Visual field defects" werden bei 20-50 % aller neurologischen Schlaganfallpatienten vorgefunden [98, 99, 100].

Die Probleme einer visuellen Absuchensstörung sind eng mit einer gestörten visuellen Exploration im betroffenen Sichtfeld verbunden. Diese Störung ist durch das Auslassen entscheidender Reize, längerer Suchdauer sowie einer unsystematischen und ineffektiven Suchstrategie gekennzeichnet [99].

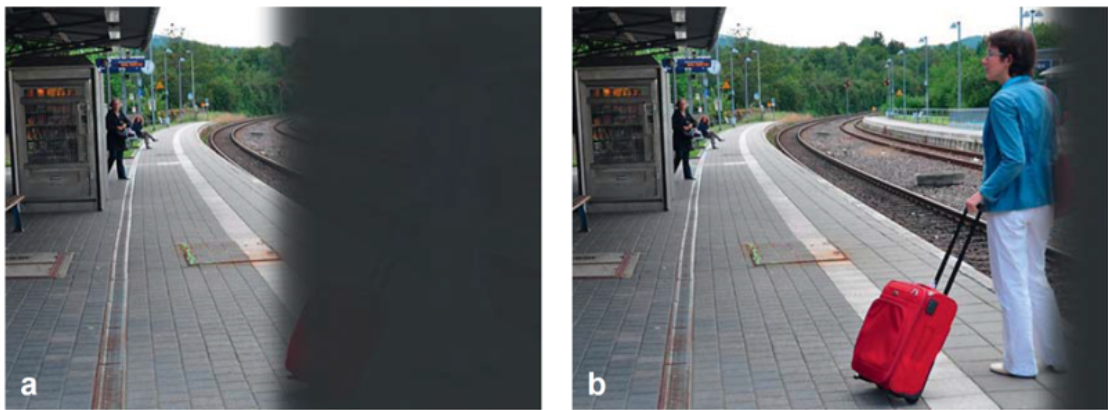


Abbildung 3.4: Darstellung einer Neglect-Störung im Sichtfeld [101]

Da ein visueller Neglect sehr heterogen ausgeprägt sein kann, gibt es keine einheitlichen Standardtherapien. Je nach Ausprägung des Neglects sind aber verschiedene Therapieansätze möglich. Generell lassen sich die verschiedenen Therapieansätze zur Behandlung eines visuellen Neglects grob [102] in (1) Top-Down- und (2) Bottom-Up-Verfahren [103]

unterteilen. Top-Down-Methoden wie das Blicksakkaden- oder Explorationstraining zielen auf eine Bewusstmachung der eigenen Defizite ab und fördern die Entwicklung kompensatorischer Strategien. Die Patienten erlernen bewusste Strategien, um ihre Defizite zu kompensieren, auch wenn der Neglect selbst weiterhin besteht.

Bottom-Up-Ansätze -wie die optokinetische Stimulation- hingegen setzen auf eine passive, restaurative Wirkung. Theoretisch basieren sie auf Transformationsmodellen, denen zufolge die Orientierung und das gezielte Handeln im dreidimensionalen Raum eine Integration und Transformation in nicht an die Sensorik gebundene Koordinatensysteme erfordern [102] und dieser Prozess ist bei Neglect-Patienten gestört [104, 105].

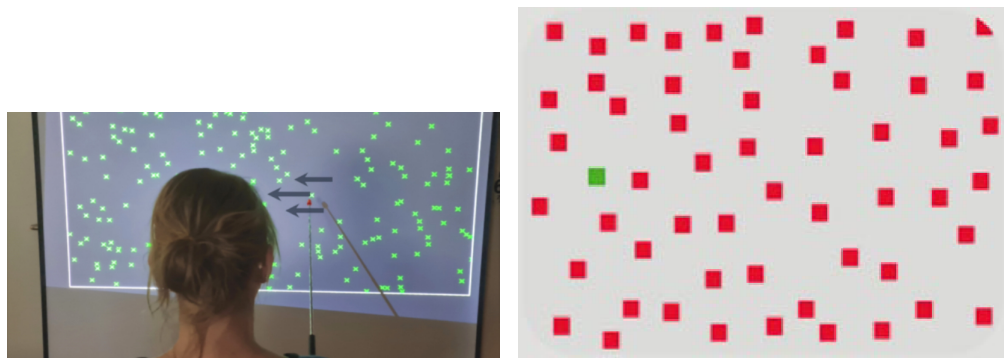
Diese Ansätze, auch als physiologische oder sensorische Methoden bezeichnet, aktivieren peripher-sensorische Eingangskanäle etwa über visuelle oder taktile Reize der Augen oder der Nackenmuskulatur. Die nachfolgende Aktivierung der für Raumkoordinatentransformation zuständigen Hirnareale soll die Reorganisation betroffener Bereiche fördern [102]. Therapieeffekte werden hierbei ohne bewusste Handlungen der Patienten passiv erzeugt und zeigen teils deutliche Verbesserungen bezüglich der Symptome eines Neglects [106].

Generell wird Therapiesoftware angewandt, um zum einen die entsprechende Diagnostik und um Übungseinheiten mit visuellen Reizen besser realisieren zu können [99]. Für die Beobachtungsstudie des E-BRAiN-Projekts ist die Software „Eyemove“ vom ”Verlag Medical Computing“ [107] in der Beobachtungsstudie eingesetzt worden. Die Software wurde unter anderem von Kerkhoff und Marquardt mitentwickelt [99] und diente als Qualitätsvergleich innerhalb der E-BRAiN Eigenentwicklung. Im Kontext dieses Dissertationsprojekts wurde ein neurovisuelles Neglect-Training entwickelt und der Ablauf wird in Kapitel 5.3.6 beschrieben.

Die optokinetische Stimulation (OKS) [109, 106] ist eine geprüfte Therapie zur Behandlung eines visuellen Neglects. Bei dieser werden Patienten sich bewegende visuelle Reize präsentiert, die sich stetig von der gesunden Sichtfeldseite zur vernachlässigten Seite bewegen. Die Therapie kann passiv durch reine Betrachtung der Vorlage erfolgen oder aktiv durch gezielte Blickverfolgungen der Reize. Durch die dabei entstehenden Augenfolgebewegungen wird eine Aktivierung der betroffenen Hirnareale angeregt, die an der Raumwahrnehmung beteiligt sind. Abbildung 3.5a zeigt eine beispielhafte OKS-Übungsvorlage.

Die zweite Übung, das ”Blicksakkaden“-Training, zielt als Top-Down Methode darauf ab, kontrollierte Augenbewegungen in die betroffene Sichtfeldseite zu fördern und dadurch

3 Betrachtete Therapien



(a) Beispielhafte Vorlage einer Optokinetic Stimulation (Vorlage bewegt sich nach links) [108] (b) Beispielhafte Vorlage zur Übung "Visuelle Exploration" aus der EyeMove-Software [99]

Abbildung 3.5: Beispielhaftes Bildmaterial zu Trainingsübungen für einen visuellen Neglect

die visuelle Suche verbessern. Patienten lernen ihre Aufmerksamkeit bewusst auf die vernachlässigte Seite zu lenken. Patienten sollen dabei möglichst zügig einzelne Reize entdecken. Die Übung soll den Patienten effektive Suchstrategien vermitteln, um ihre Defizite im Alltag aktiv kompensieren zu können.

Die dritte Übung, "visuelle Exploration" soll ebenfalls effektive Suchstrategien zur Kompensation des visuellen Neglects fördern. Patienten sollen Symbole auf Vorlagen oder Objekte auf realen, alltagsnahen Fotos suchen. Abbildung 3.5b zeigt eine exemplarische Vorlage aus der Software "Eyemove" [99].

Der Einsatz dieser evidenzbasierten Therapieverfahren erhöht die Wirksamkeit der Therapie und wird durch systematische Reviews [110, 111], klinische Studien [106, 112] und Leitlinien [113] empfohlen. Die Kombination dieser unterschiedlichen Methoden zielt auf eine neurophysiologische Stimulation der betroffenen Gehirnbereiche und lehrt kompensatorische Suchstrategien. Dadurch lässt sich eine breitere Wirksamkeit erreichen, welche eine effektivere Rehabilitation ermöglicht.

In diesem Abschnitt wurden die medizinischen Hintergründe und Übungen der hier betrachteten Schlaganfall-Therapien beleuchtet. Um die Therapien flexibel an die Bedürfnisse der Patienten anzupassen, müssen die individuellen Merkmale der Patienten erfasst werden. Diese werden vom System in den Datenbanken in sogenannten Nutzermodellen festgehalten. Im nächsten Kapitel stelle ich meine Arbeiten dazu vor.

4 Nutzermodelle im E-BRAiN System

In diesem Kapitel werden die dem E-BRAiN System zugrundeliegenden Nutzermodelle (User Models) beschrieben. Es werden die Arbeiten¹ erläutert, die zum Patienten-Nutzermodell führten. Anschließend wird ein kurzer Überblick zu den tatsächlich implementierten Nutzermodellen des E-BRAiN Systems gegeben.

4.1 Methodik und Vergleich der Nutzermodellgestaltung

Für die Entwicklung des Patienten-Nutzermodells verfolgte ich einen mehrstufigen Ansatz, der sowohl deduktive als auch induktive Elemente beinhaltet. Die einzelnen Ergebnisse der Arbeiten vergleiche ich mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse [114, 115], indem ich die Konstrukte aus den Repertory Grid Interviews mit den medizinischen Attributen abgleiche. Das Ziel bestand darin, möglichst viele Impulse für die Optimierung des Robotersystems zu sammeln.

1. Klinisches erfordertes Nutzermodell (Deduktive Erstellung aus vorgegebenem klinischem Material):

Wir (das IT-seitige E-BRAiN-Team) ermittelten alle notwendigen Patientenattribute aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen (klinische Assessment-Unterlagen, Anamnesebögen, Therapieinhalte). Diese Attribute sollen klinisch relevante Merkmale erfassen,

¹Teile dieser Arbeiten basieren auf der Publikation: Bunde, A., Forbrig, P. (2022). Patient and Therapist Model Attributes for Social Robot Stroke Therapies Based on Implicit Knowledge from Expert Interviews. In: Zimmermann, A., Howlett, R.J., Jain, L.C. (eds) Human Centred Intelligent Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 310. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3455-1_4

die für die individuelle Anpassung der Therapie entscheidend sein können. Dazu zählen beispielsweise das Alter oder der Zustand des Patienten.

Dazu extrahierte ich die nötigen Attribute deduktiv [114] und übernahm die jeweiligen offiziellen Skalenwerte dieser Unterlagen. Soweit nötig wurde eine Kodierung ("Attribute Coding"/"Magnitude Coding") [116] für die Attribute umgesetzt. Die Attribute aus diesem Schritt bilden den Großteil des E-BRAiN-Patienten-Nutzermodells.

2. Repertory-Grid Interviews zur Erforschung neuer potentieller Attribute (induktive Arbeit): Um implizites Expertenwissen zu erheben, führte ich Repertory-Grid (RG) Interviews mit E-BRAiN Therapeuten durch, beschrieben in Abschnitt 4.2.2. Die RG-Interview-Methode ermittelt systematisch, inwiefern sich jeweils zwei "Elemente" (Patienten) von einem weiteren (dritten) Element unterscheiden. Aus den so entdeckten Merkmalen ("Konstrukte"), leitete ich potentiell weitere Patientenattribute für das Nutzermodell ab. Zusätzlich verfolgte ich das Ziel, neue Impulse für benötigte Software-features des Robotersystems zu erfassen. Die Ergebnisse dieser RG-Interviews werden zusätzlich einzeln diskutiert.

3. Vergleichsanalyse:

Hier untersuche ich, welche Konstrukte aus den RG-Interviews (Schritt 2) die Attribute aus dem medizinisch geforderten Attribute des Patienten-Nutzermodells (aus Schritt 1) bereits deckt oder dieses ergänzt. Dazu verglich ich beide Datensätze mithilfe primär sprachlich-semantischer Matching-Regeln.

Anschließend zeige ich in einer tabellarischen Gegenüberstellung der Ergebnisse und interpretiere diese.

4.2 Theoretische Grundlagen

4.2.1 Nutzermodellierung

Damit Computersysteme diese Präzision erzielen können, sind Informationen über den Systemnutzer hilfreich. Um diese Informationen zu strukturieren und nutzbar zu machen, helfen Nutzermodelle.

In einer informationsreichen Welt ist die Aufmerksamkeit eines Menschen das wertvollste und knappste Gut [117]. Nach Fischer [117] soll nicht nur die richtige Information zur

richtigen Zeit und an jedem Ort jederzeit verfügbar gemacht werden, sondern der Nutzer auch nicht mit zu vielen Informationen überladen werden.

Diese Nutzermodelle sind eine Repräsentation der Eigenschaften eines Nutzers oder Nutzergruppen. Dazu können alle möglichen Charakteristiken wie körperliche Eigenschaften oder Verhalten oder Bedürfnisse zählen. Diese Eigenschaften werden durch Attribute repräsentiert.

Die Erstellung eines Nutzermodells erfolgt durch die Festlegung aller Attribute für diesen Nutzer. Nutzermodelle können helfen eine gedankliche Vorstellung über die potentiellen (System-)Nutzer abzubilden. Mit dieser Modellierung kann ein System auf die Wünsche der späteren Zielgruppe angepasst entwickelt werden.

User Models werden mit "Personas" oder "User Profiles" in Verbindung gebracht und häufig synonym verwendet [118, 119, 120].

Ein "User Profile" kann als digitale Repräsentation eines einzelnen Nutzers definiert werden [121]. Für jedes Individuum kann ein User Profile mit dessen persönlichen Attributen aus dem User Model erstellt werden [122].

Eine "Persona" ähnelt zwar dem Konzept von User Profiles, hat aber einige Unterschiede [120]. Eine Persona ist eine archetypische Repräsentation eines fiktiven Nutzers [120] und repräsentiert eine Nutzergruppe. Diese Design-Technik soll typischerweise helfen, die unterschiedlichen Nutzergruppen und ihre Ziele und Verhalten zu verstehen und zu beschreiben. Außerdem hilft dies, sich auf die wesentlichen Nutzergruppen zu konzentrieren [123]. Es ist die meist fiktive, stereotypische Natur einer Persona, die einen Vorteil ausmachen kann [124].

Zur Modellierung der relevanten Inhalte und Attribute eines Nutzermodells stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung. Die einfachste Möglichkeit wäre es, potentielle Nutzer direkt zu fragen. Häufige Methoden sind unter anderem Fokusgruppen-Interviews [125] Umfragen, Einzelinterviews und Einbeziehung von Expertenwissen.

Nachdem die Nutzermodelle entworfen und die entsprechenden Datenbankschemata implementiert wurden, müssen die Informationen über die jeweiligen Nutzer für den praktischen Einsatz des Systems erfasst werden. Je nach Systemumgebung können diese Daten direkt in das System eingegeben werden. Dies kann explizit durch Aufforderung des Systems geschehen [126, 127] oder implizit, indem die Nutzer in ihrem Verhalten mit dem System beobachtet werden und so ihr Verhalten zu bestimmten Attributen zugeordnet wird.

Anschließend kann das System diese Daten nutzen, um die Therapie für den jeweiligen

Patienten zu adaptieren.

4.2.2 Repertory-Grid-Methode

Während des E-BRAiN Projekts wurden Interviews mit E-BRAiN Therapeuten durchgeführt, um mehr Informationen über mögliche Nutzermodelle zu gewinnen. In den Interviews ist die Repertory-Grid Interviewmethodik eingesetzt worden.

Diese spezielle Interviewtechnik wurde ursprünglich von Kelly [128] entwickelt. Diese Technik basiert auf Kellys "personal construct theory", die behauptet, dass Menschen die Welt durch ihre persönlichen "Konstruktsysteme" sehen. Jede Person entwickle ihr eigenes persönliches Konstruktsystem und dies sei dann ihr Repräsentations-Set bzw. Modell der Welt.

Die grundlegendste Form der Repertory-Grid-Methode verfolgt eine Liste von sogenannten "Elementen". Diese können Objekte/Subjekte beliebiger Art sein und können frei bestimmt werden. Diese Elemente sind dann die zu untersuchenden Inhalte der RG-Methode und werden miteinander "verglichen". Aus diesen Vergleichen werden "Konstrukte" erzeugt, die das Ergebnis der Methode sind. Daher sollten die Elemente sorgfältig ausgewählt werden und die interviewte Person sollte diese Elemente kennen.

In dieser Arbeit waren die Elemente die Schlaganfallpatienten, die in der Beobachtungsstudie des E-BRAiN Projekts mit den Therapeuten teilgenommen haben. Aus den Vergleichen zwischen den Elementen werden die Konstrukte erstellt. Ein Konstrukt ist eine Eigenschaft der Elemente [129, 130]. Ein Konstrukt bedeckt in der RG-Methode eine zweipolige Dimension, "Konstruktpol" und "Kontrastpol". Ein Beispiel für ein Konstrukt wäre Körpergröße, welches die zwei Pole "klein" und "groß" hätte. Im Kern der Methode stehen Interviews mit relevanten Personen, von denen man ihre Ansichten zu den Elementen haben und erkunden möchte. Für die konkrete Fragetechnik der RG-Methode gibt es mehrere Möglichkeiten. Hier wird Kelly's klassische "Triaden"-Methode angewandt. Hier werden drei Elemente herangezogen und gefragt, worin sich Element 1 und Element 2 ähnlich sind, woran sie sich aber vom Element 3 unterscheiden. Die Sache, in der sich Element 1 und 2 ähnlich sind, wird dann in den Konstruktpol eingetragen, während die Unterscheidung des dritten Elements dann in den Kontrastpol eingetragen wird.

Diese Fragetechnik wird dann so lange für dieses und die anderen Triplets wiederholt werden, bis der interviewten Person nichts mehr einfällt oder eine vorher festgelegte Interviewdauer überschritten wurde. Als Ergebnis erhält man eine Liste von Konstrukten,

die Kandidaten für Attribute des Nutzermodells darstellen.

4.3 Verwandte Arbeiten

In ihrer Studie beschrieben Winkle et al. [131] Design-Implicationen für sozial assistive Roboter (SAR) und untersuchten, wie das Engagement der Patienten gefördert werden kann. Sie führten Fokusgruppen- und Einzelinterviews durch. Die Hauptfragen waren, wie SARs in rehabilitativen Therapien unterstützen könnten und wie Therapeuten die Patienten motivieren könnten.

Winkle et al. präsentierten in ihrer Arbeit eine Liste potenziell wichtiger Eigenschaften, die ein SAR besitzen sollte. Ebenso identifizierten sie bedeutende Attribute von Patienten, die Therapeuten berücksichtigen sollten, wie etwa die sportliche Aktivität des Patienten, den Beruf, (intrinsische) Motivation, Wahrnehmungsfähigkeit, Bildungsstand, soziale Unterstützung sowie individuelle Gesundheitsziele. Ein weiteres Ergebnis war eine Übersicht von Verhaltensweisen, die Therapeuten individuell auf ihre Patienten abstimmen können. Dabei ging es unter anderem um Aspekte der Patientenmotivation und den Einsatz von Feedback. Darüber hinaus empfahlen sie, dass Therapeuten auch außerhalb der Therapiesitzungen emotionalen Support anbieten könnten, um die Patienten zusätzlich zu unterstützen.

Ein weiteres, vergleichbares Werk wurde von Sáenz-de-Urturi und Santos [132] vorgestellt. Diese haben in ihrer Arbeit ein Fitness-Übungsspiel für die Rehabilitation vorgestellt, das speziell auf gebrechliche, ältere Erwachsene ausgerichtet ist. In ihrer Nutzermodellierung wird vor allem die Schwierigkeit der Spielelemente für den jeweiligen Spieler analysiert. Kann ein Spieler die Aufgabe nicht physisch ausführen, sollte das System damit umgehen können und die Übung leichter gestalten. Dies zielt darauf ab, den Nutzer nicht zu demotivieren und dennoch ein angemessenes Feedback geben zu können.

Parallel existieren im medizinischen Umfeld verschiedene Untersuchungen für zu beobachtende Eigenschaften für Patienten und Therapeuten. Das Werk von Ackermann et al. [133] zeigten Attribute für Therapeuten, welche einen positiven Einfluss auf den Bund zwischen Patient und Therapeut haben. Dazu zählen unter anderem Vertrauenswürdigkeit, Erfahrung, Selbstvertrauen. Ihre Literaturanalyse ergab zudem, dass Eigenschaften wie Enthusiasmus, sichtbares Interesse am Patienten, ein hohes Maß an Involvierung sowie ein aktives Auftreten eine zentrale Rolle spielen. Darüber hinaus betonten sie die Bedeutung

von Zusicherung, Hilfsbereitschaft, Freundlichkeit und Verständnis als entscheidende Merkmale für die empathische Interaktion mit Patienten.

4.4 Klinisches Nutzermodell

4.4.1 Patientenmodell

Das medizinische Team arbeitete primär mit etablierten, klinischen Erhebungs- und Anamnesefragebögen für Schlaganfallpatienten, um die Voraussetzungen für das Robotersystem und Interaktion zu gestalten. Uns wurden mehrere Dokumente geteilt: eine (1) allgemeine Vision einer Robottherapie, (2) klinische Erhebungsbögen, und die (3-6) Durchführungsbeschreibungen ("Manuale") der jeweiligen Therapien (siehe Kapitel 3). Diese Manuale werden in Abschnitt 5.1 nochmals näher beschrieben.

Insofern lagen Dokumente mit folgenden Anforderungen und Assessments vor:

1. **Soziodemographische Daten:** Alter, Geschlecht, etc.
2. **Klinische Daten:**
 - National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS) [134, 135]
 - Fugl Meyer Test (FM) [136]
 - Box and Block Test (BBT) [137]
 - Nine-Hole-Peg-Test (NHPT) [138]
 - HADS-Test (HAA und HAD) [139]
 - Neglect-Assessment [140]
 - Catherine Bergego Skala [141, 142]
3. **Therapiespezifische Angaben**
 - ABT
 - AFT
 - ST
 - Neglect

Die vorgegebenen soziodemografischen (1) und klinischen Attribute (2) wurden vollständig in das E-BRAiN-System übernommen. Dieses Patientenmodell spiegelt die wichtigsten Informationen über den Patienten wieder, die auch für die (Roboter-)Therapie von den

Therapeuten benötigt wird. Ergänzend wird hier hingewiesen, dass zwar weitere Patientendaten außerhalb der Robotherapie (beispielsweise Vorher/Nachher-Werte) erhoben werden, diese jedoch nicht für die Durchführung der Robotherapiesitzungen notwendig sind und daher auch kein Bestandteil des Systems sind. Eine (vollständige) Auflistung aller Attribute des Patientenmodells wird im Anhang in Tabelle A.1 gelistet.

Die therapiespezifischen Parameter (3-6) wurden teilweise vorgegeben, teilweise gemeinsam mit dem medizinischen Team während der Gestaltung der Therapien erarbeitet. Der Großteil der dort notwendigen Variablen wurden jedoch primär mit Fokus auf eine Gestaltung der jeweiligen Übungskonfiguration bzw. Übungsablauf entwickelt.

4.4.2 Therapeutenmodell

Ein Therapeutenmodell wurde vom medizinischen Team nicht explizit erstellt. Dennoch wird hier ergänzend auf ein solches Modell eingegangen.

Ein Therapeutenmodell kann während der Entwicklung eines Therapieroboters dazu genutzt werden, die darin enthaltenen Attribute gezielt zu berücksichtigen. Mit einem umfassenden (menschlichen) Therapeutenmodell lässt sich der „Charakter“ und das Verhalten des Roboters präziser anpassen. Ein entsprechendes Nutzermodell kann die nötigen Features, wie der Roboter später wahrgenommen werden soll, direkt aufzeigen. Diese Features können dann direkt integriert und später evaluiert werden.

Das Verhalten der Therapeuten zu verstehen und zu parametrisieren, kann sich lohnen, um bislang weniger offensichtliche Funktionen zu erwägen. Ein Beispiel hierfür ist die unterschiedliche Art und Weise, wie Therapeuten Feedback geben. Feedback kann nicht nur inhaltlich variieren, sondern auch hinsichtlich seiner Frequenz oder des Zeitpunkts, zu dem es erteilt wird. Tatsächlich kann beides in einer Therapiesitzung einen Einfluss haben [143, 144, 145]. Diese Faktoren beeinflussen die Konzentration des Patienten während der Übungsausführung. Die Berücksichtigung solcher Merkmale trägt dazu bei, das Verhalten des Therapieroboters so gestalten zu können, dass es effektive Therapiesitzungen fördert und an die individuellen Bedürfnisse der Patienten angepasst ist.

Im E-BRAiN-System dient das implementierte Therapeutenmodell vor allem zur Unterstützung des Therapiemanagements und bietet ergänzende Hinweise. Zu jeder Sitzung wird der zugeteilte Therapeut mit Namen im System gespeichert. Hierfür existiert eine separate Datenbanktabelle, in welcher die Namen der Therapeuten gespeichert

werden. Die Erstellung und Verwaltung dieser Einträge erfolgt über ein Webinterface.

4.5 Repertory-Grid Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten und Therapeuten

Wie in Abschnitt 4.2.1 erwähnt, können Nutzermodelle durch explizites Wissen von Nutzern direkt oder von Domänenexperten erstellt werden. Explizites Wissen ist jenes Wissen, das durch Worte, Zahlen und Symbole ohne weitere Schwierigkeiten transferierbar ist und deklarativem Wissen gleichzusetzen ist [146, 147]. Mit expliziten Methoden wurden bereits in einer Vielzahl von Domänen wie Autofahrer, Wohnen, Suchmaschinen, Handyverhalten [148] gute Erfolge erzielt und erscheint als der klassische Weg.

Das Domänengebiet von Rehabilitationstherapien oder Schlaganfallpatienten ist bislang noch eher wenig im Hinblick auf Nutzermodellierung untersucht worden, wobei eher explizite Methoden Anwendung finden [131].

Für das E-BRAiN Projekt war es hilfreich, ein umfassendes Nutzermodell über die Patienten und Therapeuten zu erstellen. In dieser Arbeit wurde neben einer expliziten Methode ein impliziter Ansatz verfolgt. Implizites Wissen ist in Individuen oder Prozessen eingebettet und eher auf den Kontext bezogen als explizites Wissen [146, 149]. Dadurch ist es deutlich schwieriger, dieses Wissen zu kommunizieren [149]. Forscher könnten auf diese Weise neue Eigenschaften bei Patienten entdecken und sie zur bestehenden Menge möglicher Nutzermodell-Attribute hinzufügen.

Für ein Therapeutenmodell galt es, die Attribute zu erkennen, wie ein Therapeut wahrgenommen wird. Zusätzlich konnten dadurch auch Design-Richtlinien abgeleitet werden, wie soziale Robotersysteme in diesen Therapien gestaltet sein sollten.

4.5.1 Methodik und Datenbasis der Interviews

Bei dieser Arbeit wurden zwei E-BRAiN Therapeuten befragt, die bei der Beobachtungsstudie des E-BRAiN Projekts im Einsatz waren. Bereits vor dem Entwicklungsstart der Roboterstudie wurde eine "Beobachtungsstudie" aufseiten des klinischen Teams durch vier Therapeuten durchgeführt. Diese hatte den Zweck, die klinische Handlung bei den

4.5 Repertory-Grid Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten und Therapeuten

Therapien zu analysieren für die weitere E-BRAiN Arbeit vorzubereiten. Die Patienten, die an der Studie teilgenommen haben, waren die zu untersuchenden Elemente. Insgesamt wurden 29 Patienten miteinander verglichen. Die Therapeuten haben diese Patienten entweder selbst behandelt oder sie in den Sitzungsaufnahmen danach beobachtet. In einem letzten Teil wurden auch Triplet-Betrachtungen für Therapeuten durchgeführt, um auch für diese entsprechende RG-Konstrukte zu sammeln.

Die Interviews und Befragungen wurden folgendermaßen durchgeführt:

1. Triplet Befragungen nur zu ABT-Patienten
 - a) "Was haben ABT-Patient 1 und ABT-Patient 2 gemeinsam, was sie von ABT-Patient 3 unterscheidet?"
 - b) Was haben ABT-Patient 1 und ABT-Patient 4 gemeinsam, was sie ABT-von Patient 5 unterscheidet?"
 - c) ...
2. Triplet Befragungen nur zu AFT-Patienten
 - a) "Was haben AFT-Patient 1 und AFT-Patient 2 gemeinsam, was sie von AFT-Patient 3 unterscheidet?"
 - b)
3. Triplet Befragungen nur zu ST-Patienten
4. Triplet Befragungen nur zu Neglect-Patienten
5. Triplet Befragungen quer über alle Patienten und Therapien hinweg
6. Triplet Befragungen über die Therapeuten

Die Interviews wurden im Dezember 2020 remote per Videochat mit der Zoom-Software durchgeführt. Eine randomisierte Liste von Patienten-"Triplets", mit Bezeichnungen wie "P1" und "P2" usw., wurde vorher erstellt, und wurde bei allen befragten Therapeuten verwendet. Grundsätzlich sollte jedes Element innerhalb der Triplet-Betrachtungen der eigenen Therapie zumindest einmal genannt werden. Anschließend wurden die Therapeuten einzeln zu den Patienten befragt. Zunächst wurden Patienten innerhalb derselben Therapieart untereinander betrachtet, dann anschließend wurden die Patienten gemischt. Zuletzt wurden die Therapeuten betrachtet. Aufgrund der Vielzahl der Patienten dauerten die Interviews im Schnitt mit Pausen 6 Stunden.

Alle gefundenen Gemeinsamkeiten und Unterschiede wurden währenddessen im gemeinsamen Videofenster aufgeschrieben. Aus diesen Paaren von Konstrukten-Gegensätzen (z.B.

”leicht ablenkbar”<-> ”nicht leicht ablenkbar”) wurden anschließend doppelte aussortiert, und soweit möglich als Nomen (”Ablenkbarkeit”) formuliert.

4.5.2 Ergebnisse der Nutzermodell-Attribute für Patienten und Therapeuten

Aus den RG-Interviews sind rund 185 Konstrukte für Patienten und 45 für Therapeuten erkannt worden. Da RG-Konstrukte oft ähnlich formuliert und/oder unterschiedlich interpretiert werden können, kann es zu inhaltlichen Überlappungen kommen, die nachträglich die Zahl der RG-Konstrukte reduzieren kann.

Da die Ergebnisse der RG-Methode in gegensätzlichen Kombinationen erscheinen, wie ”redet eher schnell” und ”redet eher langsam”, wurde versucht, diese Ausdrücke als Nomen zu erfassen. Aus dieser Beispielskombination ist das Konstrukt ”Sprechgeschwindigkeit” hervorgegangen und wurde zu den Ergebnistabellen hier eingefügt werden.

Tabelle 4.1 zeigt die 50 relevantesten Konstrukte über Patienten, ausgewählt vom Autor. Die Bedeutung dieser Konstrukte wurde durch die gemeinsame Softwareentwicklung mit dem medizinischen Team deutlich. Diese Konstrukte werden im Abschnitt 4.1 mit den medizinischen Nutzermodell-Attributen verglichen. Eine Auswertung, welche dieser RG-Konstrukte sich als potentielle neue Nutzermodell-Kandidaten eignen, wird im Anhang A.2 dargestellt.

Diese 50 Konstrukte wurden vom Autor für einen besseren Überblick in 5 Gruppen unterteilt. Die Konstrukte der Spalte **”Stimmung des Patienten”** beziehen sich auf die Stimmung bzw. das Gemüt des Patienten. Bei der Spalte **”Gespräch”** werden Dinge eingruppiert, die sich während der Therapeuten-Patienten-Interaktion hervor getan haben. Die Spalte **”Während der Sitzung”** betrifft alle Aspekte, die bei der tatsächlichen Ausführung der Therapie geschehen, insbesondere während der Übungen. Die **”Umstände des Patienten”** werden in der gleichnamigen Spalte eingesetzt, dazu zählen unter anderem private Dinge über ihr Leben. Abschließend werden in der Spalte **”Körperliche und kognitive Leistung”** Konstrukte eingetragen, die entsprechende Leistungsfähigkeit der Patienten betreffen.

Folgende Konstrukte konnten identifiziert werden:

4.5 Repertory-Grid Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten und Therapeuten

Stimmung des Patienten	Gespräch	Während der Sitzung	Umstände des Patienten	Körperliche und Kognitive Leistung
Ablenkbarkeit	(deutlich) Wechselnde positive/negative Stimmung	Anzahl benötigter Pausen	Autonomie	Alter
Befangenheit/-Gelöstheit	(sehr/wenig) Gesprächig	Benötigte Menge an "Hands-on-Hilfe"	Bewusstheit über Krankheitsfolgen und Therapiemöglichkeiten	Burnout
Ehrgeizigkeit	Benötigte Kommunikationshilfe (Papier und Stift)	Benötigte viel Aufmerksamkeit	Bewusstheit über eigene Erfolge	Eigenmotivati-on
Ernstheit	einfache / komplexe Fragen	Engagement	Glaube an Therapieerfolg	Erschöpftheit
Frustration über eigene Fehler	Interesse an fachlichem Wissen	Handbewegungstempo	höchster Bildungsgrad	Handicaps
Geduld	Klarheit der Stimme	Hat die Aufgaben falsch ausgeführt	hohe Erwartungen an sich selbst	kognitive Leistungsfähigkeit
Lockerheit	Nervosität	Hat mehr Übungsrunden gebraucht	Leidensgrad	Konzentrationsfähigkeit
Motivation	Sprechgeschwindigkeit	Häufigkeit von Rückversicherung	Qualität des sozialen Umfelds	Körperliche Lockerheit/Steifheit
Perfektionismus	Stimmlautstärke	Sabotage des Übungsablaufs	Therapieerfahrung	Sprechschwierigkeiten
Scham über Krankheitsfolgen	Therapeut musste oft nachfragen	Übung X nicht machbar	Zeit seit Erleiden des Schlaganfalls	Vergesslichkeit

Tabelle 4.1: 50 Ergebnis-Konstrukte aus den RG-Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten

Zusätzliche, therapiespezifische Konstrukte:

- **ABT:** Muskelspannung, Fragilität des Körpers
- **ST:** Patient hat bei Übungswiederholungen laut mitgezählt; Patient wollte nicht, dass Roboter [laut] mitzählt.
- **NVT:** Neigung den Kopf seitlich zu bewegen, Patient hat mit Stift auf Punkte gezeigt (Hilfsmittel); Patient zeigte systematisches/chaotisches Suchmuster; Patient hat (auch) Nicht-Ziel-Objekte mitgezählt; Patient kann nicht verbal bestätigen, sondern durch Nicken des Kopfes.

Therapeuten-Modell

Die Tabelle 4.2 zeigt die 20 relevantesten Konstrukte für Therapeuten nach Auswahl des Autors. Wie bei den Patienten-Konstrukten wurde die Bedeutung dieser RG-Konstrukte durch die Zusammenarbeit und Erfahrungen mit dem medizinischen Team während der Entwicklung des Robotersystems klar.

Hier wurde eine Gruppierung der Konstrukte nach einer modifizierten Version [150] des Konzepts "therapeutic alliance" (TA) durchgeführt.

Das Konzept der ursprünglichen TA kommt aus dem Feld der Psychotherapie [151, 152, 153]. Sie repräsentiert die Qualität der Beziehung zwischen dem Therapeuten und Patienten und wird häufig auch als "working alliance" referenziert. Sie ist ein Oberbegriff, um die interpersonellen Prozesse während therapeutischen Begegnungen zu beschreiben [151, 154].

Die ursprüngliche Konzeption des Modells [155] von Bordin erfolgte mit 3 erfassten Aspekten: (1) die Kongruenz in Relation zu den Zielen und Zweck der Therapie, (2) die Kollaboration zu den expliziten Aufgaben, um diese Ziele zu erreichen und (3) die Errichtung einer emotionalen Bindung durch Vertrauen und Sympathie zwischen dem Klienten und Therapeuten. Bordin fügte hinzu, dass das Konzept der TA auf alle Situationen angewandt werden kann, die einen "change agent" und einer Person, die Veränderung sucht, involviert, unabhängig von der Behandlungsweise [151, 155].

Zum Kontext der Spalte "**Bereitstellung von Wissen**" werden die Konstrukte zu der Expertise und Wissen während einer Therapie verbunden.

In der Spalte "**Bindung**" werden die Charakteristiken dargestellt, die die Qualitäten zum Aufbauen eines "Bundes" zwischen Therapeuten und Patient beschreiben.

"**Feedback**" beinhaltet die Dinge, wie der Therapeut das Feedback gibt.

4.5 Repertory-Grid Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten und Therapeuten

Bereitstellung von Wissen	Bindung	Feedback	Sonstiges
Aufmerksamkeit	"Fingerspitzengefühl" (Vermeidung des Ansprechens unangenehmer Themen für Patienten)	Betrachtung der Leistung auf genereller Ebene und zwischen einzelnen Blöcken	Beachtung der Vollständigkeit der Studienergebnisse und Durchführungsprotokolle
Gezeigte Mühe	Autoritätswirkung	Feedback mit Zahlen	Anzahl zuvor behandelter Patienten
Reaktion auf neue Ereignisse	Beeinflussbarkeit von Patienten	Feedbackumfang	Befolgen des Therapie-Manuals
Umfang Fachwissen	Tempo der Entwicklung einer T-P-Beziehung	Körperregung bei Feedback	vorherige Therapieerfahrung als Patient oder Therapeut
"Hands-On-Expertise"	Offenheit über geleistete Fehler	Häufigkeit von Feedback	Benötigen Pause

Tabelle 4.2: 20 Ergebnis-Konstrukte aus den RG-Interviews zur Nutzermodellierung von Therapeuten

Zuletzt werden in **"Sonstiges"** die Konstrukte eingegliedert, welche nicht zu den anderen Kategorien passen.

4.5.3 Diskussion

Die Arbeiten der RG-Interviews wurden parallel zur Entwicklung des Robotersystems durchgeführt. Viele Konstrukte beziehen sich auf ein zu erfassendes Patientenverhalten oder Eigenschaften, die im Rahmen des Projekts nicht umgesetzt werden sollten. Zudem wurden Konstrukte identifiziert, die von einem Robotersystem nur schwer erfasst werden können, etwa durch visuelle oder multimodale Mittel, und die auch für Menschen schwierig zu wahrzunehmen sind. Daher wäre die Erfassung solcher Attribute komplex und konnte im begrenzten Zeit- und Umfangsrahmen des Projekts nicht berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang könnten die identifizierten Attribute eher als potenzielle Anforderungen oder Design-Richtlinien für zukünftige Systementwicklungen betrachtet werden.

In den Interviews wurden etwa 185 einzigartige Konstrukte für Patienten und 45 für Therapeuten identifiziert. Obwohl die absolute Anzahl der identifizierten Konstrukte für Therapeuten deutlich geringer ist als die für Patienten, wurde dennoch eine ausreichende

4 Nutzermodelle im E-BRAiN System

Anzahl wichtiger Eigenschaften festgestellt. Viele dieser Konstrukte lassen sich in der vergleichbaren Arbeit von Winkle et al. [131] und anderen genannten Werken wiederfinden. Während Winkle et al. ihre Ergebnisse und Empfehlungen stärker zusammengefasst darstellt, wurden die in dieser Arbeit identifizierten Attribute eher individuell erfasst. Diese unterschiedlichen methodischen Ansätze bieten eine neue, andere Perspektive: Winkle et al. stellten gezielte Fragen, um spezifische Eigenschaften zu ermitteln, die ein Therapeut (oder SAR) bei einem Patienten beobachten kann. Im Gegensatz dazu wurden in dieser Arbeit die Attribute durch die offenen Fragen der interviewten Therapeuten organisch entdeckt, was ein anderes Verständnis der individuellen Unterschiede zwischen den Patienten (und Therapeuten) ermöglicht.

Einige von Ackerman et al. genannten hilfreichen Therapeuten-Attribute zur Aufbau einer Therapeut-Patient-Bindung ("working alliance") wie Erfahrung, oder aktives Auftreten (RG-Konstrukt "Autoritätswirkung") konnten auch hier ermittelt werden.

Verglichen mit der Arbeit von Sáenz-de-Urturi und Santos konnten wir ebenfalls RG-Konstrukte ermitteln, die die Übungsausführung und Durchführbarkeit betrafen. Im Rahmen des E-BRAiN Projekts übernehmen die Therapeuten die Übungseinstellungen der Nutzermodelle. Auf Grundlage der medizinischen Assessments stellen sie zum Beispiel die Schwierigkeit und Interaktionstempo ein. Die Übungseinstellungen eines Patienten können jederzeit angepasst werden und sollten im Projekt hauptsächlich vom Therapeuten festgelegt werden. Für das Neglect-Training wurden zusätzliche Attribute implementiert, um dynamisch schwierigere oder einfachere Übungsmodi einzusetzen, abhängig von der Leistung des Patienten.

Die ermittelten Konstrukte zeigten auch interessante Impulse, um die Roboterinteraktion weiter anzupassen.

Einige Patienten zeigten ein Bedürfnis nach mehr "Aufmerksamkeit" und Fürsorge vom Therapeuten. Zur Anpassung könnte der Roboter insgesamt mehr Feedback in kürzeren Abständen mit unterschiedlichem Text geben. Dazu könnte der Roboter mehr "Körpereinsatz" zeigen.

Andere Therapeuten-Attribute wie "Fähigkeit, den Patienten zu beeinflussen" oder "Möglichkeit, Fragen zu stellen" sind optionale Roboter-Patient-Dialog-Bestandteile, die in diesen integriert werden können. Bestimmte Attribute beziehen sich eher allgemein auf das Verhalten des Roboters. "Autorität" oder "vorhandenes Fachwissen" können eben durch einen entsprechenden Sprachstil eingesetzt werden. Um das Attribut "Auf

4.5 Repertory-Grid Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten und Therapeuten

unvorhergesehene Ereignisse gut/schlecht reagieren” auf einen Roboter entsprechend umzusetzen, bedeutet möglichst verschiedene (System-)Fehler erkennen zu können und für diese Fehler auch eine entsprechende Lösung bereits implementiert zu haben. Diese potentielle Roboteranpassung wird durch das Patienten-Attribut ”Sabotage des Übungsablaufs” ergänzt.

Therapeuten berichteten in Interviews, dass zwei Patienten ihre eigene Übungsausführung absichtlich sabotierten. In der AFT-Therapie, die darauf abzielt, Aufgaben möglichst schnell zu erledigen, begannen diese Patienten die Übungen zunächst in ihrem normalen (zügigem) Tempo, brachen jedoch vor dem letzten Teil der Übung ab. Ein Beispiel aus der siebten Übung der AFT zeigt, dass der Patient den letzten „Holzklotz“ nicht auf den Stapel setzte. Erst nach Aufforderung des Therapeuten wurden diese letzten Schritte ausgeführt. Die Gründe für dieses Verhalten sind unklar, jedoch deuteten die Aussagen der Therapeuten darauf hin, dass diese Patienten eher extrinsisch motiviert waren, an der E-BRAiN-Studie teilzunehmen. Sie schienen die Therapie nicht ernst zu nehmen und verhielten sich unfreundlich gegenüber den Therapeuten.

Ob ein Robotersystem in der Lage sein könnte, solche absichtlichen Störungen zu erkennen, bleibt fraglich. Unabhängig davon geben die beiden Fälle von insgesamt 29 Teilnehmern (6,9%) aktuell noch keinen Grund, die Entwicklung einer solchen Reaktions- und Antwortfähigkeiten des Robotersystems voranzutreiben.

Limitierung

Eine Herausforderung der Interviews war die Vorauswahl der befragten Patienten. Für die RG-Interviews wurden die teilnehmenden Patienten der Beobachtungsstudie herangezogen, wobei ein Screening aller interessierten Patienten erfolgte. Die Studie fand in Greifswald statt und das medizinische Team rekrutierte primär Patienten mit ausreichender Genesungschance. Es ist wahrscheinlich, dass überwiegend motivierte Patienten mit guten Anreisemöglichkeiten teilnahmen, was zu einer gewissen Homogenisierung der Patientengruppe geführt haben könnte.

Fazit

Die RG-Interviews mit 29 Patienten und 4 E-BRAiN-Therapeuten als Elemente resultierten in nützliche Einblicke und bieten eine solide Grundlage für zukünftige Forschungen. Viele der identifizierten Konstrukte wurden auch in vergleichbaren Studien genannt, was ihre Relevanz bestätigt. Obwohl diese Konstrukte noch keine umfassenden Nutzermodelle darstellen, können diese als Attribute bzw. als gedankliche Fundamente für diese betrachtet werden.

4.6 Vergleich der medizinischen Nutzermodellierung mit RG-Konstrukten über Patienten

Die entdeckten Konstrukte aus den RG-Interviews wurden in einem weiteren Schritt mit den medizinisch vorgegebenen Attributen verglichen.

Es wurde geprüft, welche Konstrukte aus den Interviews den ermittelten medizinischen Attributen aus Abschnitt 4.4.1 entsprechen oder diese ergänzen könnten. Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob ein entdecktes RG-Konstrukt Anlass gegeben hätte, ein vom medizinischen Team vorgegebenes Attribut zusammen mit der entsprechenden Codierung (Numerisch, Ordinal, Freitext) zu erfassen.

Für diesen Zweck werden Matching-Regeln verwendet, die sprachlich-semantische Aspekte [114, 115] betrachten.

Folgende Matching-Regeln wurden verwendet:

1. $\cong$ **dem Attribut entsprechen/äquivalent sein.** Eine klare Verbindung zum Attribut ist unproblematisch gegeben. (z.B. (RG-Konstrukt) "Alter" = "Alter" (therapeutische Vorgabe))
2. $\sim$ **mit dem Attribut semantisch/ontologisch zusammenhängen.** In einer offiziellen Beschreibung des jeweiligen Attributs wird ein Zusammenhang mit dem RG-Konstrukt deutlich. Potentiell kann das Konstrukt auch nur ein Teil des Attributs sein, woraus sich die abstraktere Attributsform heraus ableitet bzw. berechnet. (Z.B. (RG-Konstrukt) "Depressiv gestimmt" $\sim$ "HADS-Depression Wert).

Patientenmodell/Nutzermodell der Patienten

Die Tabelle 4.3 zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den vorgegebenen therapeutischen Materialien (aus Abschnitt 4.4.1) und aus den RG-Interviews (aus Abschnitt 4.2.2) basierend auf den vorher beschriebenen Matching-Regeln. Die Tabelle verwendet *-Symbole, um passende Verbindungen anzuzeigen:

- Repertory-Grid-Konstrukt
- Nutzermodell-Attribut: Abhängig vom Vorhandensein eines Matches
 - **Mit einem * markiert:** Für das Attribut besteht (zumindest teilweise) ein Match für das Attribut

4.6 Vergleich der medizinischen Nutzermodellierung mit RG-Konstrukten über Patienten

- Therapeutische Kontext-Beschreibung der zu erfassenden Variable

Hier werden die Attribute beleuchtet, welche direkt vom medizinischen Team vorgegeben wurden.

Bestimmte Attribute wurden aus Übersichtsgründen zusammengefasst. Diese werden entsprechend markiert und in eckigen Klammern wird die Gesamtzahl an Attributen angegeben. Hier werden die schematisch selben Attribute, wie im implementierten E-BRAiN-Nutzermodell enthalten (siehe Anhang A.1), dargestellt. Dort werden lediglich die zur Studienorganisation, technisch notwendigen und weitere vom Autor vorgeschlagene Attribute ergänzt.

Passendes Repertory-Grid-Konstrukt	Nutzermodell-Attribut	Herkunft und Beschreibung des Attributs
-	Vorname & Nachname	"Begrüßung": Patient soll mit entsprechender Anrede und Nachnamen angesprochen werden [<i>Freitext</i>]
-	Geschlecht	"Begrüßung": Patient soll mit entsprechender Anrede und Nachnamen angesprochen werden [<i>Freitext</i>]
1. Alter ($\hat{=}$)	*Geburtsdatum	Alter [<i>Numerisch</i>]
-	Diagnose	Diagnose [<i>Freitext</i>]
-	(Persönliche) Motivation	Dialogschritt "Ziel": Ansprache des persönlichen Ziels [<i>Freitext</i>]
-	Medizinisches Ziel	Medizinische Ausdrucksweise des persönlichen Ziels [<i>Freitext</i>]
-	Gelähmte Seite	Gelähmte Seite [<i>Ordinal</i>]
-	Verschriebene Therapie	Therapie [<i>Ordinal</i>]
-	NIHSS-1A	NIHSS: Bewusstseinslage (Vigilanz) [<i>Ordinal</i>]
-	NIHSS-1B	NIHSS: Orientierung [<i>Ordinal</i>]
-	NIHSS-1C	NIHSS: Befolgung von Aufforderungen [<i>Ordinal</i>]
-	NIHSS-2	NIHSS: Blickbewegungen (Okulomotorik) [<i>Ordinal</i>]
-	NIHSS-3	NIHSS: Gesichtsfeld [<i>Ordinal</i>]
2. Gesichtslähmung ($\hat{=}$)	*NIHSS-4	NIHSS: Fazialisparese Ausprägungen: (0) normale symmetrische Bewegungen (1) geringe Parese (abgeflachte Nasolabialfalte, Asymmetrie beim Lächeln) (2) partielle Parese (vollständige oder fast vollständige Parese des unteren Gesichts) (3) vollständige Parese einer oder zwei Seiten (fehlende Bewegungen oberer und unterer Teil des Gesichts) [<i>Ordinal</i>]

4 Nutzermodelle im E-BRAiN System

-	NIHSS-5 [3 Attribute]	NIHSS: Motorik der Arme (Jeweils ein Attribut erfasst den Wert eines Armes und zusätzlich wird ein Gesamtwert beider Arme erstellt.) [Ordinal]
-	NIHSS-6 [3 Attribute]	NIHSS: Motorik der Beine (Jeweils ein Attribut erfasst den Wert eines Beines und zusätzlich wird ein Gesamtwert beider Beine erstellt.) [Ordinal]
-	NIHSS-7	NIHSS: Extremitätenataxie [Ordinal]
-	NIHSS-8	NIHSS: Sensibilität [Ordinal]
3. Sprachunfähigkeit($\hat{=}$) 4. Aphasie($\hat{=}$)	*NIHSS-9	NIHSS: Sprache, Ausprägungen: (0) Keine Aphasie (1) Leichte bis mittelschwere Aphasie; deutliche Einschränkung der Wortflüssigkeit oder des Sprachverständnisses, keine relevante Einschränkung von Umfang oder Art des Ausdrucks. Die Einschränkung des Sprachvermögens und/oder des Sprachverständnisses macht die Unterhaltung über die vorgelegten Untersuchungsmaterialien jedoch schwierig bis unmöglich. [...] (2) Schwere Aphasie, die gesamte Kommunikation findet über fragmentierte Ausdrucksformen statt: Der Zuhörer muss das Gesagte in großem Umfang interpretieren, nachfragen oder erraten. Der Umfang an Informationen, der ausgetauscht werden kann, ist begrenzt; der Zuhörer trägt im Wesentlichen die Kommunikation. Der Untersucher kann die vorgelegten Materialien anhand der Antworten des Patienten nicht zuordnen. (3) Stumm, globale Aphasie; keine verwertbare Sprachproduktion oder kein Sprachverständnis (auch bei Koma) [Ordinal]
5. Klarheit der Stimme($\hat{=}$)	*NIHSS-10	NIHSS: Dysarthrie, Ausprägungen: (0) Normal (1) Leicht bis mittelschwer, der Patient spricht zumindest einige Wörter verwaschen und kann, schlimmstenfalls, nur mit Schwierigkeiten verstanden werden (2) Schwer, die verwaschene Sprache des Patienten ist unverständlich und beruht nicht auf einer Aphasie oder übersteigt das auf eine Aphasie zurückzuführende Maß oder Patient ist stumm/anarthrisch [Ordinal]
-	NIHSS-11	NIHSS: Auslöschung und Nichtbeachtung (Neglect) [Ordinal]
6. Schweregrad der Schlaganfall-Folgen($\hat{=}$) 7. Grad des Handicaps $\hat{=}$	*NIHSS-GES	Gesamtwert der NIHSS-Werte [Numerisch]

4.6 Vergleich der medizinischen Nutzermodellierung mit RG-Konstrukten über Patienten

8. Befangenheit/ Gelöstheit ~ 9. Angespanntheit ~ 10. Corona-Angst ~ 11. Angst vor Demenz ~	*HAA	HADS-Anxiety (Gesamt-)Wert (Hospital Anxiety and Depression Scale), Fragen: HAA1: Ich fühle mich angespannt oder überreizt. HAA2: Mich überkommt eine ängstliche Vorahnung, dass etwas Schreckliches passieren könnte. HAA3: Mir gehen beunruhigende Gedanken durch den Kopf. HAA4: Ich kann behaglich dasitzen und mich entspannen. HAA5: Ich habe manchmal ein ängstliches Gefühl in der Magengegend. HAA6: Ich fühle mich rastlos, muss immer in Bewegung sein. HAA7: Mich überkommt plötzlich ein panikartiger Zustand. [Numerisch]
12. Depressiv gestimmt ~ 13. Freude über Erfolge ~ 14. Freudvoll ~ 15. lebensfroh/ lebensmüde ~	*HAD	HADS-Depression (Gesamt-)Wert, Fragen: HAD1: Ich kann mich heute noch so freuen wie früher. HAD2: Ich kann lachen und die lustige Seite der Dinge sehen. HAD3: Ich fühle mich glücklich. HAD4: Ich fühle mich in meinen Aktivitäten gebremst. HAD5: Ich habe das Interesse an meiner äußeren Erscheinung verloren. HAD6: Ich blicke mit Freude in die Zukunft. HAD7: Ich kann mich an einem guten Buch, einer Radio-oder Fernsehsendung erfreuen. [Numerisch]
-	HADS-total-score	Der Gesamtwert der "Hospital anxiety and depression scale" Fragebogens [139, 156] [Numerisch]
-	BBTB	Ergebnis des Box and Block Test mit der jeweils betroffenen und nicht-betroffenen Seite Ein medizinischer Test zur Messung der groben Handgeschicklichkeit. Messung der Anzahl an erfolgreich bearbeiteten Würfel in 60 Sekunden. [Numerisch]
	NHPT	Nine-Hole-Peg-Test-Wert: Ergebnis des Nine-Hole-Peg-Test mit der jeweils betroffenen und nicht-betroffenen Seite. Ein medizinischer Test zur Erfassung der feinmotorischen Geschwindigkeit der Finger. Messung in Sekunden. [Numerisch]
-	FMA I	Fugl-Meyer: Reflex-Aktivitäten [Numerisch]
-	FMA II	Fugl-Meyer: Willkürbewegungen innerhalb der dynamischen Synergien [Numerisch]
-	FMA III	Fugl-Meyer: Willkürbewegungen in einer Kombination aus den dynamischen Synergien [Numerisch]
-	FMA IV	Fugl-Meyer: Willkürbewegungen in geringer oder ohne Abhängigkeit von Synergien [Numerisch]
-	FMA V	Fugl-Meyer: Normale Reflex-Aktivitäten [Ordinal]
-	FMB	Fugl-Meyer: Handgelenk [Numerisch]
-	FMC	Fugl-Meyer: Hand [Numerisch]

4 Nutzermodelle im E-BRAiN System

-	FMD	Fugl-Meyer: Koordination & Geschwindigkeit[Numerisch]
6. Schweregrad der Schlaganfall-Folgen($\hat{=}$) 7. Grad des Handicaps $\hat{=}$	*FMGES	Fugl-Meyer: Kumulativer Summenwert für die Motorik der oberen Extremität[Numerisch]
-	FMPS	Fugl-Meyer: Passive Gelenkbeweglichkeit/Schmerz der oberen Extremität: Kumulativer Summenwert [Numerisch]
16. Propriozeption $\hat{=}$	*FMSS	Fugl-Meyer: Somatosensibilität der oberen Extremität: Kumulativer Summenwert Bewegungsempfinden der Gelenke: Patient hat die Augen geschlossen. Sehr kleine Veränderungen der Gelenkstellung in Flexion/Extension werden durchgeführt und wie folgt bewertet: (0) Fehlen von Lageempfinden (1) erheblicher Unterschied zum Gelenk der nicht betroffenen Seite, wenigstens 3/4 der Antworten korrekt (2) Alle Antworten korrekt, kleiner oder kein Unterschied zur nicht betroffenen Seite [Numerisch]
6. Schweregrad der Schlaganfall-Folgen($\hat{=}$) 7. Grad des Handicaps $\hat{=}$	*NET Assement-Werte [18 Attribute insgesamt, hier nur der Gesamtwert zutreffend]	Neglect Assessment Ein neuropsychologischer Test, um Aufmerksamkeitsstörungen (durch einen Neglect) zu erkennen. Patienten durchlaufen 17 Testübungen und ein Gesamtwert wird festgehalten. [Numerisch]
6. Schweregrad der Schlaganfall-Folgen($\hat{=}$) 7. Grad des Handicaps $\hat{=}$	*CBS	Catherine Bergego Skala Ein leistungsorientiertes Assement zur Erfassung, wie gut Patienten mit den Folgen eines Neglects den Alltag bewältigen können.[Numerisch]

Tabelle 4.3: Vergleich der Übereinstimmung der RG-Konstrukte und den vorgegebenen, therapeutischen Attribute.

Verbleibende, nicht gematchte RG-Konstrukte: potentielle Kandidaten für Patienten-Nutzermodellattribute: Damit verbleiben folgende 169 RG-Konstrukte, die als potentielle Kandidaten für weitere, potentiell relevante Attribute oder Impulse für weitere Forschung in Frage kommen. Diese werden im Anhang A.2 aufgelistet.

Diskussion

Ziel war es zu untersuchen, welche RG-Konstrukte zu einem Nutzermodell-Attribut führen, die ebenfalls vom medizinischen Team gefordert wurden.

Insgesamt konnten 16 (von insgesamt 185) Konstrukte auf 11 passende Attribute (von insgesamt 61 Attributen) gematcht werden. Davon konnten neun Attribute direkt gematcht werden, während zwei weiteren Attributen teilweise bzw. indirekt erfasst wurde.

4.6 Vergleich der medizinischen Nutzermodellierung mit RG-Konstrukten über Patienten

den.

Somit wurden ~18,0 % Prozent der vom medizinischen Team vorgegebenen Variablen entdeckt. Ungefähr 8,6 % RG-Konstrukte konnten also potentiell einen Beitrag leisten, ein entsprechendes Attribut abzubilden. Diese Zahlen zeigen aber auch, dass mit der RG-Interview-Technik keine ausreichende Abdeckung der von dem medizinischen Team erforderlichen Variablen erbracht werden konnte. Insofern ist der Einsatz von Domänenwissen durch Experteninterviews, Workshops, Fokusgruppen-Interviews [157] und ähnliche Methoden weiterhin notwendig, um ein umfassendes Nutzermodell zu gestalten.

Die verbleibenden 169 RG-Konstrukte sind damit potentielle Kandidaten für neue Nutzermodell-Attribute. Um diese Konstrukte weiter zu analysieren, können Domänenexperten weitere Verbindungen entdecken und neue Forschungsrichtungen vorgeben.

Der Großteil der nicht gefunden Variablen ist wahrscheinlich auf die komplexe Natur der erforderlichen klinischen Variablen zurückzuführen. Die NIHSS-Werte erfassen klinisch-spezifische Werte, die speziell untersucht werden müssen. Lediglich die NIHSS-Attribute wie z.B. "NIHSS-9 Sprache" und "NIHSS-10 Dysarthrie" werden gefunden, weil diese in Therapiesituationen auffallen.

Die restlichen Attribute sind praktisch kaum durch die RG-Methodik mit der Fragestellung auffindbar, weil die erforderlichen klinischen Variablen typischerweise eine Untersuchung durch spezielle Aufgaben erfordern und einen bestimmten Zweck im Nutzermodell verfolgen.

Als Beispiel werden hier die 18 Attribute allein für das "Neglect-Assessment" genannt. Davon werden in Form von 17 speziellen Übungstests und ein Gesamtwert Daten erhoben. Es erscheint unwahrscheinlich, dass die hier angewandte Fragestellung der RG-Methodik (Patienten-Vergleiche) solche klinischen Variablen finden kann. Insofern liegt hier ein weiteres Argument vor, dass andere Methoden für dieses Ziel angewandt werden müssen, und gleichzeitig erklärt dies auch die geringe Abdeckungsquote.

Bemerkenswert ist, dass bestimmte soziodemografische (Name, Geschlecht ...) und grundlegende Attribute wie "verschriebene Therapie" und "Gelähmte Seite" nicht genannt wurden. Demografische Daten sind für eine Therapiesitzung zwar nicht unbedingt notwendig, aber die klinischen Informationen über die zu leistende Behandlung und Therapie sind unverzichtbar und für Therapeuten von essentieller Bedeutung.

Die RG-Technik soll sinnvolle [158] und tiefe Thematiken analysieren und dies wird auch als ihre Stärke bezeichnet [159]. Dies geschieht primär durch die spezielle Fragetechnik, dabei können jedoch mehrere tieferliegende Nebeneffekte auftreten. Nach Meinung des Autors sind vor allem folgende Erklärungen naheliegend, dass diese offensichtlichen Attribute nicht in den RG-Interviews genannt wurden:

(1) Homogenität der Elemente: Auch wichtige, aber nur deskriptiv bzw. "triviale" Konstrukte können von den Befragten übersehen werden, wenn diese Konstrukte von allen Elementen (hier die Patienten) geteilt werden oder gar nicht vorkommen [160]. Eine größere Heterogenität der Elemente (Patienten) könnte helfen, das Spektrum der Unterschiede besser zu erkennen.

(2) Erfahrung und Verhalten der Befragten: Die RG-Technik zielt auf die gedanklichen Prozesse der befragten Person ab. Dadurch können die persönlichen als relevant erachteten Verbindungen zwischen den Elementen entdeckt werden. Aus der jeweiligen Expertise und Erfahrung der Person gehen als nicht relevant wahrgenommene Konstrukte verloren. Zusätzlich können weitere Informationen verloren gehen, wenn durch die Interview-Situation die Person versucht, möglichst "kluge" Antworten zu geben, um eine positive Außenwahrnehmung zu erzielen.

(3) Abfolge der Triaden-Abfragen: Die Art und Weise der zeitlichen Abfolge der durchgeführten Triaden-Abfragen spielt vermutlich ebenfalls eine Rolle [161]. In einem Versuch wurde gezeigt, dass je zufälliger die Abfolge der Vergleichselemente (hier die Patienten) erfragt wird, umso eher werden größere, wichtige Unterschiede genannt [162]. Würden bei nachfolgenden Triaden-Vergleichen nur ein Element verändert werden, so werden die resultierenden Konstrukte weniger relevant sein [163], aber so vielleicht auch einfachere Konstrukte entdeckt werden.

Aus diesen Gründen heraus ist es daher nicht fernliegend, dass viele der offensichtlich wichtigen Attribute nicht durch RG-Konstrukte entdeckt wurden.

Die indirekt und mehrfach gematchten Konstrukte werden hier näher diskutiert:

- **HAA** <-> (8) Befangenheit/Gelöstheit, (9) Angespanntheit, (10) Corona-Angst, (11) Angst vor Demenz: Das "HAA"-Attribut misst die Punktzahl der Ausprägungen, wie häufig die befragten Personen die jeweiligen Aspekte empfinden, je häufiger umso höher ist die Punktzahl. Je höher ein Wert (und somit der kumulative Gesamtwert) umso eher deutet dies auf eine klinisch relevante Ängstlichkeit hin.

4.6 Vergleich der medizinischen Nutzermodellierung mit RG-Konstrukten über Patienten

Hier wird durch die Nähe der RG-Konstrukte zu den einzelnen Fragen der HADS-Anxiety eine semantische Nähe zum entsprechenden Attribut zugesprochen. Die RG-Konstrukte "Befangenheit/Gelöstheit" und "Angespanntheit" passen semantisch zu den Fragen HAA1, HAA4, HAA6. Die RG-Konstrukte "Corona-Angst" und "Angst vor Demenz" weisen eine Nähe zu den Fragen HAA2 und HAA5 auf, die konkret nach ängstlichen Gefühlen fragen.

- **HAD** <-> (12) Depressiv gestimmt, (13) Freude über Erfolge, (14) lebensfroh/-lebensmüde: Ähnlich wie die RG-Konstrukte zum Gesamtwert der HAA-Fragen, gelten dieselben Aspekte auch hier für Fragen bezüglich depressiven Empfindungen. Diese RG-Konstrukte weisen auf eine semantische Nähe zu potentiell mehreren Fragen und die RG-Konstrukte "Freude" und "lebensfroh" zumindest in den Fragen HAD 1, 6 und 7 wiedergefunden werden können.
- (6) Schweregrad der Schlaganfall-Folgen, (7) Grad des Handicaps: Die beiden Konstrukte beinhalten beide das Wort "Grad" und beziehen sich auf die Folgen (Handicaps) eines Schlaganfalls. Sie können universal für alle Schlaganfallstörungen und Handicaps gelten, daher ist die Zuordnung dieser Konstrukte auf verschiedene Nutzermodell-Attribute möglich.

Limitierung

Grundsätzlich könnten weitere Konstrukte durch erweiterte ontologische Betrachtungen, anderen Regeln und Expertenwissen zu weiteren Attributen erfasst werden. Bestimmte Konstrukte scheinen auf den ersten Blick weitere Matching-Möglichkeiten zu bieten, werden hier aber bewusst ausgespart. Beispielsweise wurde "Eigenmotivation" als RG-Konstrukt identifiziert, das im Zusammenhang mit dem Attribut "Persönliche Motivation" stehen könnte. Auf eine Verbindung dieses und potentiell anderer Konstrukte zu Attributen wurde abgesehen, da einerseits der ursprüngliche Kontext eines RG-Konstrukts potentiell komplexer sein kann und andererseits das hier erforderliche, therapeutische Attribut einen anderen Zweck verfolgt.

Die Konstrukte aus einem RG-Interview entstehen immer im Kontext bipolarer Unterschiede. Beispielsweise entstand das Konstrukt aus einer Nennung wie "war sehr eigenmotiviert" und "war nicht eigenmotiviert". Eine direkte Zuordnung nicht unbedingt sinnvoll, da der erforderliche Parameter eine wörtlich beschriebene, persönliche Motivation für eine direkte Ansprache des Patienten in der Therapie genutzt soll. Dennoch ist für dieses Konstrukt (und wäre vermutlich für weitere) eine Auswertung durch z.B. Experten sinnvoll, um weitere, allgemeingültige Verbindungen zu erstellen.

4.7 Implementiertes Nutzermodell für Patienten im E-BRAiN System

Die tatsächlich genutzte Nutzermodellierung basiert auf einer agilen/iterativen Entwicklungsweise, die zu Beginn des Projekts vereinbart wurde. Diese Methode ermöglichte es, flexibel auf wechselnde Anforderungen primär seitens des medizinischen Teams zu reagieren und das System schrittweise zu verbessern. Die erste Version des Nutzermodells konzentriert sich dabei zunächst auf zwei zentrale Aspekte: medizinische Attribute und Attribute der Aufgabenerfüllung.

Die medizinischen Attribute bilden die Grundlage, siehe Abschnitt 4.4.1. Von diesen Daten werden z.B. auch Dialoginhalte modifiziert bzw. hinzugefügt, sodass der Roboter beispielsweise nach Berechnung der Fugl-Meyr Werte unterschiedlich antwortet. Für die Übungskonfigurationen werden therapiespezifische Daten eingetragen. Bei den Übungen der ST und ABT betrifft dies primär die Interaktionsgeschwindigkeit wie schnell der Roboter die Bewegungsabfolgen vorschlägt. Beim AFT sind zusätzliche Eingaben notwendig z.B. wie viele Vorlagen bearbeitet oder wie viele Münzen vorbereitet und umgedreht werden sollen. Für das visuelle Neglect-Training werden je nach Übung Einstellungen wie die Größe der Objekte und Länge der Übung nötig. Im Folgenden werden einige Ausschnitte aus dem Therapeuten-System gezeigt. Eine vollständige Auflistung aller genutzten Datenschemata sind im Anhang A.1 angeführt.

In Bild 4.1 wird das primäre Fenster zur Erstellung und Bearbeitung eines Patienten dargestellt. In diesem Fenster können die grundlegenden Daten eines Patienten bearbeitet werden wie Geburtsdatum, verschriebene Therapie oder betroffene Körperseite.

In einem anderen Reiter wie im Bild 4.2 können die medizinischen Attribute der Fugl-Meyer Assessments, HADS-Werte, 9-Hole-Peg-Test und weitere eingegeben werden. Von diesen Attributen werden die Werte des Fugl-Meyer-Tests für bestimmte Anpassungen in den Therapien verwendet.

4.7 Implementiertes Nutzermodell für Patienten im E-BRAiN System

The screenshot shows the 'Persönliche Daten' (Personal Data) tab of the E-BRAiN system. The interface includes a top navigation bar with tabs: 'Persönliche Daten', 'Klinische Angaben', 'Therapietermine', 'Übungsconfiguration', 'Übungsergebnisse', and 'Weitere Angaben'. Below the navigation bar, there is a patient overview section with 'Patientenübersicht: 3t3t, ev' and buttons for 'Bearbeiten' and 'Änderungen speichern'. The main form is divided into two columns. The left column contains fields for 'Name' (3t3t), 'Geschlecht' (radio buttons for weiblich, männlich, divers; 'divers' is selected), 'Welche Seite wird trainiert?' (radio buttons for right, left; 'right' is selected), 'Wie viele Sitzungen sollen gemacht werden?' (20), 'Diagnose' (efwgrd), and 'Motivation des Patienten (medizinisch)'. The right column contains fields for 'Vorname' (ev), 'Patienten-Nummer' (P006), 'Welche Therapie wird angewandt?' (radio buttons for aft, st, abt, nvt; 'aft' is selected), 'Geburtsdatum' (9.4.2022), and 'Motivation des Patienten (in der Form wie unten angeben! Wird direkt so vom ...)'. A 'Foto hochladen' section is on the far right with a button and text: 'Ziehen Sie eine Datei hierher...'. At the bottom, there is a small text label 'Motivation des Patienten (medizinisch)'.

Abbildung 4.1: Screenshot aus dem Therapiemanagement-Interface: Allgemeine Patientenattribute

The screenshot shows the 'Klinische Angaben' (Clinical Data) tab of the E-BRAiN system. The interface includes a top navigation bar with tabs: 'Persönliche Daten', 'Klinische Angaben', 'Therapietermine', 'Übungsconfiguration', 'Übungsergebnisse', and 'Weitere Angaben'. Below the navigation bar, there is a section for 'NIHSS-Scores' with a dropdown arrow. The main form is divided into two columns. The left column contains fields for NIHSS1A, NIHSS1C, NIHSS3, NIHSS5L, NIHSS5, NIHSS7, NIHSS9, and NIHSS11, all with a value of 0. The right column contains fields for NIHSS1B, NIHSS2, NIHSS4, NIHSS5R, NIHSS6, NIHSS8, NIHSS10, and NIHSS-Gesamtscore, all with a value of 0. Below the NIHSS-Scores section, there are links for '> HADS' and '> Assessment'.

Abbildung 4.2: Screenshot aus dem Therapiemanagement-Interface: Klinische Patientenattribute

Das Bild 4.3 zeigt einen Ausschnitt der insgesamt 276 Übungsconfigurationsattribute, wobei insgesamt 176 Attribute für die ABT Therapie benötigt werden. Die Attribute werden je nach notwendigem Format z.B. als Integer- oder Float-Werte gespeichert. Diese Werte legen die zu erreichenden Arbeitspakete fest wie beispielsweise X Holzklötze zu

4 Nutzermodelle im E-BRAiN System

The screenshot displays the 'Übungskonfiguration' (Exercise Configuration) page for a patient named '343t, ev'. The interface includes a top navigation bar with tabs for 'Persönliche Daten', 'Klinische Angaben', 'Therapietermine', 'Übungskonfiguration' (active), 'Übungsergebnisse', and 'Weitere Angaben'. A 'Zurück zur Patientenliste' button is located in the top right corner. The main content area is titled 'Generelle Einstellungen' and contains a section for 'AFT' (Assisted Functional Training) exercises. The exercises are configured as follows:

Exercise	Configuration
AFT Übung 1: Anzahl der Runden (15 Kreise angezielt)	4
AFT Übung 2: Anzahl Runden (Runde = Vollständige Handkombinationsausführung)	4
AFT Übung 7: Anzahl Runden	4
AFT Übung 8: Anzahl Runden	4
AFT Übung 3: Anzahl der durchzustreichenden Kreise	10
AFT Übung 4: Welche Münzfarbe soll zu Beginn oben sein? Blau oder Silber?	blau
AFT Übung 4: Anzahl wie oft alle Münzen umgedreht werden sollen	1
AFT Übung 4: Anzahl der kleiner Münzen	25
AFT Übung 4: Anzahl der grossen Münzen	15
AFT Übung 5: Prozent Labyrinth	100
AFT Übung 6: Anzahl kleiner Schrauben	4
AFT Übung 6: Anzahl mittlerer Schrauben	4
AFT Übung 6: Anzahl großer Schrauben	4
AFT Übung 7: Kleine Holzblöcke aktiv? (Andernfalls auf >False< setzen)	true

AFT Übungen 8: Große Weichen aktiv? (Andernfalls auf <False> setzen)

Abbildung 4.3: Screenshot aus dem Therapiemanagement-Interface: Konfiguration der Therapien

stapeln oder den Arm um die Hälfte des Bewegungsradius zu bewegen. Viele andere Übungsattribute sind als binär (Boolean) notiert. Diese definieren dann typischerweise, ob und welche Aufgaben innerhalb einer Therapie durchzuführen sind oder übersprungen werden.

In diesem Kapitel wurden die theoretischen Grundlagen zu den Nutzermodellen erläutert. Der Schwerpunkt lag auf den Repertory-Grid-Interviews.

Im weiteren Verlauf wird das Robotersystem sowohl hinsichtlich der Hardware als auch der Software beschrieben.

5 Das Robotersystem

In diesem Kapitel werden die Arbeiten zum Robotersystem beschrieben, das in den Evaluationsstudien (siehe Kapitel 6) zum Einsatz kommt.

Zunächst beschreibe ich die Entwicklungsmethodik des Systems und der Therapieinhalte. Dann gebe ich einen Überblick über die eingesetzten Hardware-Komponenten, gefolgt von einer technischen Betrachtung der Softwaremodule¹. Anschließend werden die Abläufe der Therapien beleuchtet. Danach werden bestimmte Aspekte der Systementwicklung diskutiert und wichtige Erfahrungswerte ("Lessons learned") rund um das System und seine Entwicklung wiedergegeben.

¹Die Arbeiten basieren auf den Publikationen: **(1)** Alexandru Bunea, Peter Forbrig: Constructing a neurovisual therapy for with a social robot for a neglect handicap. EICS (Workshops) 2022: 49-56, <https://dblp.org/rec/conf/eics/BuneaF22>; **(2)** Forbrig, Peter Bunea, Alexandru Pedersen, Ann Platz, Thomas. (2022). Using a Humanoid Robot to Assist Post-stroke Patients with Standardized Neurorehabilitation Therapy. 10.1007/978-981-16-6369-7 _3.; **(3)** Peter Forbrig, Alexandru Bunea, and Mathias Kühn. 2022. Challenges with Traditional Human-Centered Design for Developing Neurorehabilitation Software. HCSE 2022, 10.1007/978-3-031-14785-2 _3; **(4)** Peter Forbrig, Alexandru Bunea: Coping with the Complexity of Software for a Humanoid Robot Pepper. BIR Workshops 2021: 16-25; **(5)** Bunea, A., Bader, S., Forbrig, P. (2021). Interaction and Dialogue Design of a Humanoid Social Robot in an Analogue Neurorehabilitation Application. 0.1007/978-981-16-3264-8 _8; **(6)** Peter Forbrig, Alexandru Bunea, and Sebastian Bader. 2021. Engineering the Interaction of a Humanoid Robot Pepper with Post-Stroke Patients During Training Tasks. (EICS '21), 10.1145/3459926.3464756; **(7)** Bunea, A., Bader, S., Forbrig, P. (2021). Interaction and Dialogue Design of a Humanoid Social Robot in an Analogue Neurorehabilitation Application. KES-HCIS 2021. 10.1007/978-981-16-3264-8 _8; **(8)** Peter Forbrig, Alexandru Bunea, and Sebastian Bader. 2021. Engineering the Interaction of a Humanoid Robot Pepper with Post-Stroke Patients During Training Tasks. (EICS '21), 10.1145/3459926.3464756; **(9)** Forbrig, P., Bunea, AN. (2020). Modelling the Collaboration of a Patient and an Assisting Humanoid Robot During Training Tasks, 10.1007/978-3-030-49062-1 _40

5.1 Methodik der System- und Therapiegestaltung

Die Entwicklung von Software im medizinischen Bereich erfordert besondere ethische Sorgfalt. Ein zentrales Anliegen des Projekts war es, sicherzustellen, dass die entwickelte Software keine unnötigen Belastungen für die Patienten darstellt. Es wäre unethisch, experimentelle Prototypen, die noch Fehler aufweisen, direkt mit gehandicapten Patienten zu testen. Daher sollten Patienten mit der Software erst nach umfassender Qualitätssicherung in Berührung kommen.

Um diesem ethischen Aspekt gerecht zu werden, wurde ein gestufter, partizipativer Softwareentwicklungsansatz gewählt. Dieser Ansatz sieht die Einbindung der wichtigsten Stakeholder (Therapeuten und Patienten) in zwei Phasen vor. Therapeuten wurden als primäre Stakeholder zu Beginn in den Entwicklungsprozess (formative Phase) eingebunden, während Patienten erst später durch die geprüfte Roboterstudie integriert wurden (summative Phase).

Abbildung 5.1 illustriert den zeitlichen Ablauf. Die detaillierte Aufschlüsselung der Monate 2020 bis 2022 zeigt die Entwicklung der zentralen Therapieinhalte mit dem medizinischen Team. Die Zeitabschnitte der späteren Jahre 2023 und 2024 sind aus Übersichtsgründen umfassender, da die Arbeiten den aufkommenden Verbesserungen rund um die Usability-Interviews und weniger entwicklungsintensive Arbeiten enthielten. Eine genauere Auflistung der Termine und Entwicklungsschritte wird im Anhang A.11 aufgezeigt. Zur Erstellung von Abbildungen nutzte ich Microsoft Office.

Für jeden Zeitabschnitt wurden aus den Nachrichtenverläufen die Anzahl der folgenden Kennzahlen zusammengefasst:

- der Entwicklungs-Treffen (online/vor Ort)
- erhaltenes Feedback (in Form von Dokumenten) oder ausführliche E-Mails
- Software-Versionsupdates (meistens in Form von manuell zu installierende Android-Applikationen durch die Therapeuten)

Diese Kennzahlen dienen primär als Orientierung und sind nicht direkt vergleichbar, da ihre inhaltliche Bedeutung variiert. Ergänzend um die anderen Tätigkeiten meiner Thesis zu illustrieren, markiere ich an der rechten Seite des Zeitstrahls mit beschrifteten farbigen Pfeile ausgewählte wichtige Zeitabschnitte meiner Forschungsarbeiten. Diese werden in den jeweiligen anderen Kapiteln betrachtet. Hier wird primär die Entwicklung des Robotersystems mit den Therapien behandelt.

5.1 Methodik der System- und Therapiegestaltung

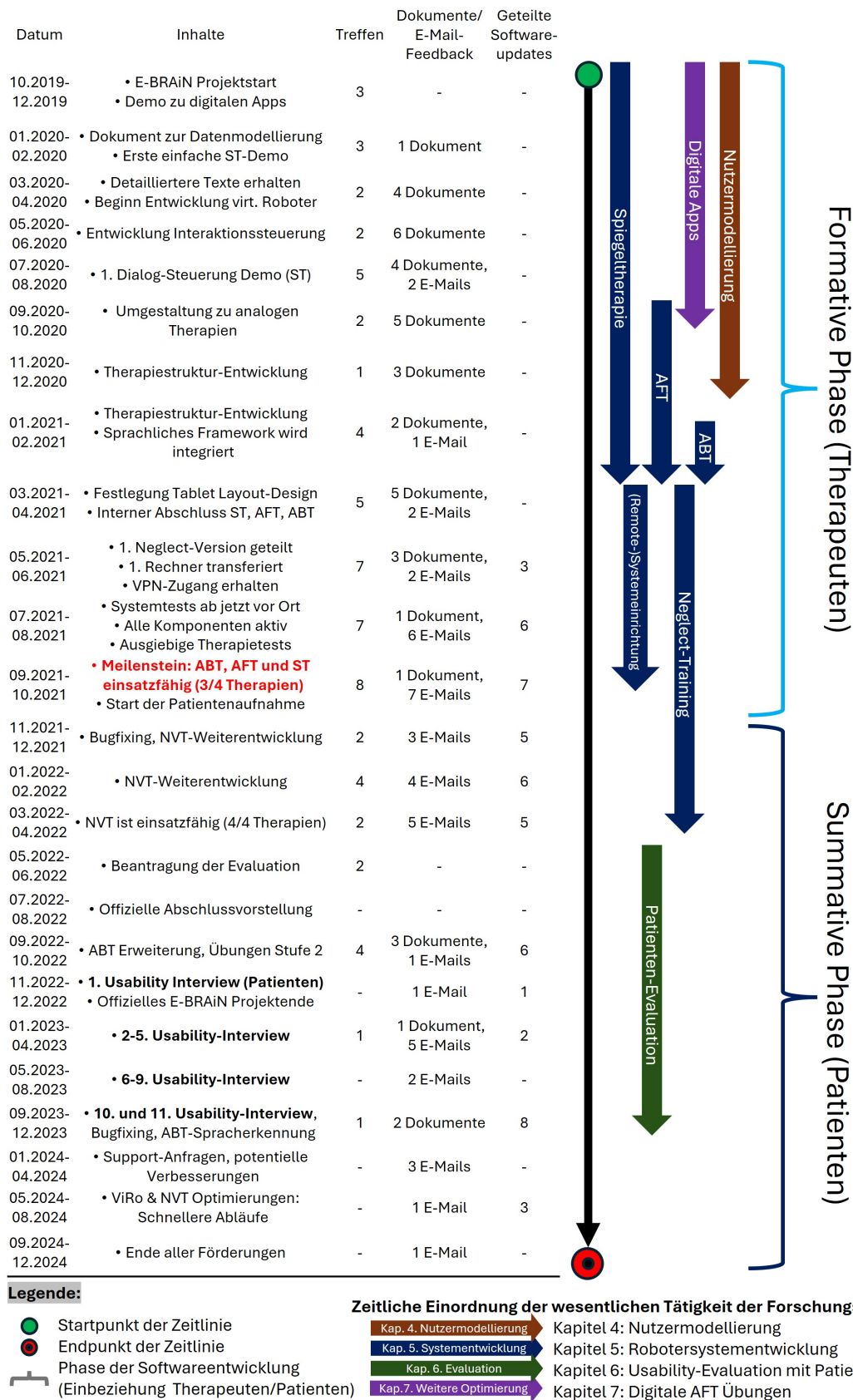


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung der Systementwicklung

Formative Phase

Zu Beginn dieser Phase beriet sich das IT-Team des E-BRAiN Projekts ("HAIML"-Hybrid Methods in Artificial Intelligence and Machine Learning [ehemals Lehrstuhl "MMIS"-Mobile Multimedia Information Systems] und Lehrstuhl Softwaretechnik, insgesamt 5 Personen) mit dem medizinischen Team, bestehend aus Therapeuten und Ärzten. Zu Beginn des Projekts arbeiteten wir zusätzlich auch an den digitalen Varianten bestimmter Therapieübungen. Diese sind in der Grafik mit "digitale Apps" dargestellt und werden in einem späteren Abschnitt 7.1 präsentiert.

Nach wenigen Monaten übernahm ich die Rolle als der Hauptansprechpartner für die Konzeption und technische Umsetzung des Robotersystems. Bis Ende des Jahres 2020 arbeitete ich allein mit gelegentlicher Hilfe eines postdoktoralen Mitarbeiters des HAIML-Lehrstuhls. Ergänzend wurde an diesen Lehrstuhl auch die primär visuelle Übungserfassung der AFT und ABT Therapien erforscht, die später in das Robotersystem integriert werden sollten.

Zu Beginn des Projekts ermittelten wir die funktionalen und inhaltlichen Anforderungen einer Robotertherapie. Parallel wurde die Entwicklung und Integration der digitalisierten Therapieübungen verfolgt, welche in einem späteren Abschnitt 7.1 näher beschrieben werden. Im Laufe des Jahres 2020 wurde die Grundstruktur der Interaktionssteuerung und des Hardware-Setups und die Nutzermodellierung (siehe Kapitel 4) entwickelt. Im Kern der Entwicklungstreffen stand stets die Abfolge der Systemausgabe und ihre Inhalte. Bestimmte Systemanforderungen wie eine "schrittweise" steuerbare Dialogsteuerung und eine modulare Soft- und Hardwarearchitektur wurden früh erkannt.

Die ersten Treffen für diese Festlegungen behandelten die Vision einer Robotertherapie. Aber im Laufe der Zeit wurden die Funktionsanforderungen präziser. Aus der groben Struktur präsentierte ich die ersten Vorschläge für die Systemansprache an die Patienten. Es wurde beschlossen, dass das medizinische Team die sprachlichen Inhalte überwiegend vorgeben sollte, da es Erfahrung mit sensibler Patientenansprache hat.

Aus diesem Grund wurden im Januar 2020 erstmal sogenannte "Manual-Dokumente" erstellt, welche grobe Handlungsanweisungen, Dialogtexte und darzustellende Bilder/Videos seitens des medizinischen Teams beschreiben. Die erste Version einer jeden Therapie stammte vom medizinischen Team und war ein geeignetes Mittel, um vor allem den Ablauf (siehe Abschnitt 5.3) aus der klinischen Sicht auszudrücken und die Besprechungsergebnisse für beide Seiten festzuhalten. Aus diesen Dokumenten konnten die klinischen Anforderungen ermittelt werden und waren daher bis zu den klinischen Tests

5.1 Methodik der System- und Therapiegestaltung

ab Mai 2021 die zentrale Form in welcher wir Systemfeedback erhielten. Gleichzeitig dienten diese Dokumente als Diskussionsgrundlage, die verändert und erweitert werden sollten. Ich leistete hier einen großen Beitrag durch die technische Beratung und Gestaltung der Interaktion, wie gut entsprechende Interaktionsabfolgen technisch mit dem Robotersystem umsetzbar sind, und entwickelte eigene Lösungen, um die Wünsche des medizinischen Teams bestmöglich zu realisieren. Meistens wurden vom medizinischen Team diese entsprechenden Manuale im Nachgang eines Treffens erstellt, um die Ergebnisse einer Besprechung festzuhalten. Im Laufe der Entwicklung wurden -wie aus der Abbildung 5.1 erkennbar- viele solcher Manual-Aktualisierungen vorgenommen. Später wurde uns Feedback vermehrt in der Form von längeren E-Mails geteilt. Dies hing damit zusammen, dass E-Mails besser geeignet waren, kleine Änderungen effektiv und schneller zu kommunizieren.

Abbildung 5.2 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt eines Therapiemanuals zum Neglect-Training. **Beschreibungen der Interaktionen sind mit schwarzer Schrift gefärbt**, **verbale Roboterassagen sind blau markiert** und **Änderungen der jeweiligen Version sind rot gezeichnet**. Punkte die hier geändert wurden, betrafen die monotonen Ansagen des Roboters, die nun mehr zufällige Variationen erlauben soll.

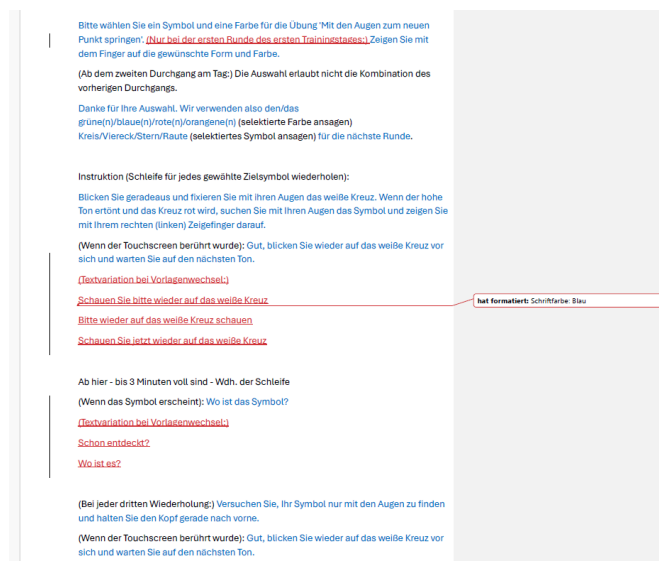


Abbildung 5.2: Beispielhafter, modifizierter Ausschnitt eines Therapiemanuals zum Neglect-Training in Microsoft Word (im Ansichtsmodus "Änderungen verfolgen")

Pandemiebedingte Anpassungen. Eine wesentliche Herausforderung war der Ausfall an persönlichen Treffen aufgrund der Einschränkungen durch die Covid-19 Pandemie, die bis ins Mitte des Jahres 2022 wirkten. Zu Beginn des Projekts im Oktober 2019 konnte noch der bereits an der Universität Rostock vorhandene Roboter als Demonstrationsobjekt für die Therapieinteraktion genutzt werden. Im März 2020 kamen von der Bundesregierung die ersten "Lockdown"-Maßnahmen, um weitere Covid-19 Infektionen einzudämmen.

Da unklar war, wann Präsenz-Treffen wieder möglich sein würden, wurden bestimmte Darstellungstechniken verstärkt in Kombination (und früher) in der Systementwicklung genutzt:

1. Ein Online-Tool zur Präsentation von simuliertem Robotersystem-Interaktionen (aus diesem Tool entwickelte sich später der virtuelle Roboter, siehe Abschnitt 5.11)
2. Telepräsenz-Treffen **zusätzlich mit** dem aktivem, physischen Roboter als "zusätzlichen Teilnehmer"
3. Generierte (PDF-)Dokumente von simulierten Therapieverläufen, welche alle Dialogoptionen abbilden
4. Isolierte Testversionen der digitalen Applikationen zur Messung von Parametern (hauptsächlich für das Neglect-Training)

Mit den Techniken 1-3 konnten wir die Therapien und die tatsächliche Bereitstellung des Robotersystems weiter vorbereiten. Grundsätzlich wurden virtuelle Treffen mit entsprechender Software auch schon vor den Pandemie-Einschränkungen gemacht. Schon früh in der Entwicklung wurde versucht, mit "Mockups" zu arbeiten, um die Darstellung der Systemausgabe auf den Endgeräten zu simulieren. Später wurde mit dem virtuellen und dem physischen Robotersystem die Interaktion demonstriert. Mithilfe dieser Ansätze konnten wir die Entwicklung weitgehend vorantreiben trotz der Covid-19 Problematiken. Die 4. Technik wurde später stellenweise eingesetzt, indem wir Therapeuten spezielle "Debug"-Versionen der digital umgesetzten Therapien (Neglect-Training) zur Verfügung stellten. Diese sollten bestimmte Funktionen (z.B. die Touch-Genauigkeit und Spracherkennung der Tablets) isoliert von einem aktiven System und somit schneller überprüfen lassen. Dies hat sich insbesondere bei den Aufgaben bewährt, die unter einer zeitlichen Grenze bearbeitet werden müssen und das zu prüfende Element andernfalls neu gestartet werden müsste.

Im Jahr 2021 kam ein neuer Arbeitskollege vom anderen Lehrstuhl hinzu, welcher

5.1 Methodik der System- und Therapiegestaltung

speziell die Interaktionsplattform und die Sprachsynthese des Robotersystems weiterentwickelte (siehe Abschnitt 5.2.2.5). Die 1. und 2. Darstellungstechniken halfen, bestimmte Ausschnitte der Therapie zu betrachten. Sowohl der physische als auch der virtuelle Roboter wurden so entwickelt, dass sie durch das Abhören derselben Schnittstelle auch die Interaktionsdauer abbilden. Zwar wurden Mechanismen mitentwickelt, die die Therapie "beschleunigen", aber dennoch konnten in den Entwicklungstreffen nicht alle Interaktionsverläufe vollständig abgebildet werden, wenn eine konfigurierbare Sitzung ein bis zwei Stunden dauern könnte. Für diesen Zweck wurden die vollständigen Interaktionsverläufe der Therapie in Dokumenten (3. Darstellungstechnik) programmatisch erstellt, die wir an das medizinische Team versendeten. Mit diesen Dokumenten konnten wir ungefähr im Frühjahr 2021 speziell die Textinhalte zu den Therapien der AFT, ST und ABT prüfen.

Inbetriebnahme an den Klinikstandorten: Anschließend galt es, die Therapien an den Therapiestandorten für die Therapeuten nutzbar zu machen. Für diesen Zweck entwickelte ich zuvor mit studentischen Hilfskräften das Web-Interface zur Therapieadministration. Die Nutzung der Interaktionssteuerung wurde dann über die Therapieadministration eingebettet und alles sollte über die zentralen Rechner betrieben werden. Diese zentralen Rechner wurden im universitätseigenen Netzwerk soweit wie möglich vorbereitet und dann Ende Mai für den ersten Standort verschickt. Kurz darauf erhielten wir VPN-Zugänge, um diese Rechner auch dort bedienen zu können. Wir arbeiteten daran, dass alle Komponenten im dortigen Netz verbunden werden können.

Ab diesem Zeitpunkt konnten Softwareupdates auf dem zentralen Rechner für die Therapien auch direkt eingespielt werden. Dadurch konnten wir unsere Entwicklungsfortschritte über geplante Releases bereitstellen. Über die VPN-Zugänge waren wir auch in der Lage den Systemstatus zu beobachten und schnelle kleine Softwareänderungen ("Hotfixes") einzusetzen.

Dafür mussten zunächst das Netzwerk und die Systemkomponenten eingerichtet werden. Anschließend wurden die vorbereiteten Therapien dort eingebettet und für die tatsächliche Inbetriebnahme für Patienten vorbereitet.

Auch wenn durch die Vorbereitung der Therapien mittels der erwähnten Darstellungstechniken (1-3) vieles vorbereitet werden konnte, waren dennoch zahlreiche Änderungen notwendig bzw. empfehlenswert. Der wichtigste Teil der Änderungen betraf die Nutzung der Webseite und die Therapieabläufe. Während bei der Nutzung des Therapiemanagement-Interfaces primär kosmetische Änderungen vorgenommen wurden (z.B. Bedienelemen-

5 Das Robotersystem

te durch Farben eindeutiger gestaltet), konnte das medizinische Team erst mit dem produktiven Robotersystem prüfen, wie eine vollständige Therapiesitzung mit einem Robotersystem "erlebt" wird. Viele vorgeschlagene Verbesserungen betrafen die Länge der Roboteransprachen und das Interaktionstempo, um die Interaktion zu beschleunigen.

Größere Systemupdates, welche meistens die manuelle Installation einer neuen Android-App auf dem Tablet und/oder dem Roboter (durch die Therapeuten vor Ort) erforderten, wurden in der Abbildung 5.1 durch "Geteilte Softwareupdates" bezeichnet. Dafür hat sich als Methodik ein einfacher Dateiupload in einen Cloud-Dienst und ein anschließend "geteilter" Sharing-Link bewährt.

Während der Online-Treffen mit dem medizinischen Team konnte ich kleine Änderungen in den Therapieskripten sofort umsetzen und diese Änderungen während desselben Treffens erneut erproben lassen. Ein Beispiel war die Veränderung der dynamisch generierten Ergebnisdiagramme durch einen mir mitgeteilten Hinweis wie "Die Legende im Diagramm sollte größer sein."

Innerhalb von drei Monaten nach der vollständigen Netzwerkkonnektivität im Juli 2021 konnten für drei der vier Therapien die formative Entwicklungsphase abgeschlossen werden.

Während dieser Phase die ich zeitlich bis einschließlich Oktober 2021 einordne (25 Monate), wurden insgesamt:

- 49 Treffen mit dem medizinischen Team vereinbart
- 55 Mal erhielten wir schriftliches Feedback
 - 35 Mal in Form eines veränderten Manual-Dokuments
 - 20 Mal in Form von E-Mails
- 16 Software-Versionsupdates

Summative Phase

Ab Oktober 2021 starteten wir die Patienten-Rekrutierung für die Roboterstudie. Kurz darauf folgten die ersten Rückmeldungen seitens der Therapeuten über die Nutzung des Systems. Weiterhin entwickelten wir die NVT, die auch schon von diesen Rückmeldungen profitieren konnte. Im weiteren Verlauf dieser Phase merkten wir einen Rückgang der Studienteilnehmer, was wir als Folge der pandemiebedingten Zurückhaltung vermuteten.

5.1 Methodik der System- und Therapiegestaltung

Dadurch konnte die Evaluation nur langsamer vorangetrieben werden und dies resultierte schließlich in selteneren Verbesserungsideen.

Ich habe die Durchführung der technischen Evaluation angestoßen und durfte im Dezember 2022 mit dem ersten Patienten das System evaluieren. Anhand der Usability-Interviews konnte ich weitere Anpassungen umsetzen. An dieser Stelle wird nochmals betont, dass die Jahre 2023 und 2024 in der Abbildung 5.1 aus Platzgründen verkürzt dargestellt wurden. Am Vergleich der "Versionsupdates" habe ich 2021 die App und größere Teile des Systems 21 Mal aktualisiert, 2022 dann 18 Mal, 2023 nochmals 10 Mal und im letzten Jahr 2024 noch 3 Updates geteilt, was auf eine zunehmende Reife des Systems hinweist.

In dieser Phase ab November 2021 bis einschließlich Dezember 2024, wurden insgesamt:

- 16 Treffen mit dem medizinischen Team vereinbart
- 32 Mal schriftliches Feedback erhalten
 - 6 Mal in Form eines veränderten Manual-Dokuments
 - 26 Mal in Form von E-Mails
- 36 Software-Versionsupdates veröffentlicht

5.2 Das resultierende System

5.2.1 Überblick der Hardware-Komponenten

Das E-BRAiN System verfügt während Therapien über folgende Geräte und Komponenten:

1. Sozialer Roboter „Pepper“ [68]
2. Android Tablet „Samsung Galaxy Tab S7+“ [164]
3. Zentraler Rechner (Betriebssystem CentOS 8, 20 GB HDD)
4. Viewsonic TD 2760 27-Zoll 10-Punkte-Touchscreen-Monitor [165]

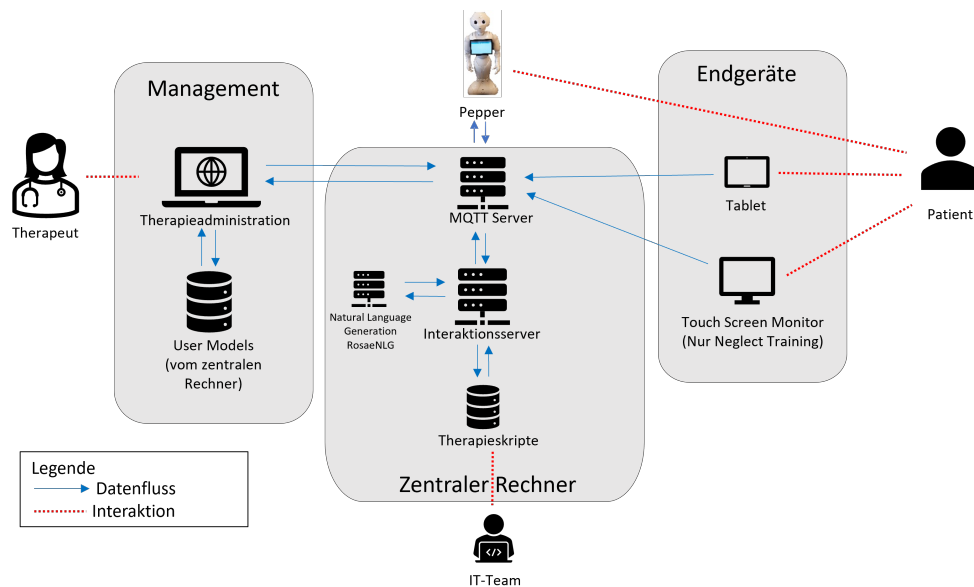


Abbildung 5.3: Übersicht über die verwendeten Hard- und Software des E-BRAiN Robotersystems

Das Zusammenspiel der Geräte wird in Abbildung 5.3 symbolisch dargestellt. Wie die Therapie im Detail abläuft, wird später in Kapitel 5.3 näher erläutert. Alle Geräte sind innerhalb der Versuchsumgebung in einem WLAN-Netz verbunden. Im Folgenden werden die Hintergründe zu den einzelnen Geräten beschrieben: Der soziale Roboter „Pepper“ wurde bereits vor dem Start des E-BRAiN-Projekts am 01.07.2019 für dessen Durchführung ausgewählt. Pepper ist mit einem Android OS-Tablet ausgestattet und

verfügt über die Fähigkeit, bestimmte Bewegungen auszuführen. Der verwendete Roboter lief mit dem herstellereigenen Betriebssystem NAOqi Version 2.9.2.89, das eine Steuerung über eine Android-App erfordert. Auf dem Tablet des Roboters wird eine Android-App gestartet, die die Steuerung übernimmt, indem sie Befehle an das interne Roboter-Framework weiterleitet. Dieses roboterinterne Framework führt schließlich die eigentlichen Steuerungsaufgaben aus. Eine der größten technischen Herausforderungen besteht darin, dass der Roboter während einer laufenden Sprachausgabe zusätzliche eingehende Sprachbefehle ignoriert. Diese Befehle werden auch nach Abschluss der aktuellen Sprachausgabe nicht ausgeführt. Dieses Problem musste bei der Entwicklung und Nutzung des Systems berücksichtigt werden.

Die Auswahl des Tablets „Samsung Galaxy Tab S7+“ basierte auf der Unterstützung eines Stylus-Pens und der Größe des Tablets, die in etwa der Fläche einer DIN-A4-Seite entspricht. Bei der AFT-Therapie arbeiten Patienten mit ausgedruckten Vorlagen auf DIN A4 Seiten. Ein Beispiel ist die erste Übung „Zielen“, wie in Kapitel 3 beschrieben. Bei dieser Übung verwenden die Patienten zwei laminierte DIN-A4-Seiten und einen Stift. Weitere Details zur digitalen Umsetzung der Therapien finden sich in Abschnitt 7.1.

Der zentrale Rechner übernimmt die Steuerung der gesamten Interaktion und speichert alle Informationen zur Therapieadministration. Dieser Rechner benötigt keine ausgeprägte Hardwareausstattung und muss nur einfache Rechenoperationen für die Ausführung von z.B. Python Skripten und das Hosten der MYSQL-Datenbank ausführen können. Die in dem E-BRAiN Projekt verwendeten Rechner sind mit CentOS 8 als Betriebssystem ausgestattet.

Dieser zentrale Rechner ist das einzige Gerät, auf das von außerhalb zugegriffen werden kann. Der technische Support kann sich per VPN-Tunnel zum zentralen Rechner eines Therapiestandortes verbinden, und auf diese Weise beispielsweise neue Updates einspielen oder Wartungen durchführen.

Der Monitor wurde gemäß der Projektvorgaben für die neurovisuelle Therapie ausgewählt, welcher eine 27 Zoll (ca. 69 cm) Bildschirmdiagonale und Touch-Funktionalität haben soll. Touch-Funktionalität des Monitors kommt durch USB-Kabel vom Monitor und kann von aktuellen Geräten als Touch-Eingabe erkannt werden.

Ein weiterer (beliebiger) Rechner wird als Administrator-PC und zur klinischen Beobachtung der Therapie eingesetzt. Über diesen Rechner (z.B. ein Notebook) greifen

die Therapeuten auf die E-BRAiN Systemsteuerung (eine von mir entwickelte Web-Anwendung) zu. Der Therapeut bereitet die Therapie für den Patienten vor, indem er die erforderlichen Daten eingibt und das Therapieprogramm lädt. Darüber hinaus ermöglicht das System die Therapie über eine Benutzeroberfläche zu starten und zu steuern.

Sozialer Roboter "Pepper" (Softbank Robotics) 2014 stellten Aldebaran Robotics SAS und Softbank Robotics den „Pepper“ Roboter vor. Er wurde als "companion robot" entwickelt. Die Gestalt des Roboters wirkt mit seinem humanoiden und seiner Sprachwiedergabe mit einer kinderähnlichen, geschlechtsneutralen und hohen Stimme [166] wie die eines Kindes.

Die Abmessungen des Roboters sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Der Roboter ist 1,20 Meter groß und besitzt eine maximale Armspannweite von knapp 1,20 Meter. In Abbildung 5.4 wird ein Foto vom Roboter gezeigt. Der Roboter ist überwiegend weiß gefärbt und verfügt über ein integriertes Tablet, das eine zentrale Rolle in der Interaktion spielt. In der Roboterversion, die für das E-BRAiN Projekt zugrunde lag, wird der Roboter über eine Android-App gesteuert. Softbank Robotics stellt ein Android-Framework namens "QiSDK" bereit, um die Entwicklung auf dem Roboter zu ermöglichen. Zusätzlich wird ein Android-Studio Plugin angeboten, um eine "QiSDK"-konforme Entwicklung zu erleichtern, wie durch einen Roboter-Emulator. Dieses Plugin ist allerdings auch zwingend notwendig, um eine Android-Roboter-App auf dem Roboter zu installieren, da sich nur mit diesem Plugin eine Verbindung aufbauen lässt. Sobald eine Verbindung von Android Studio mit dem Roboter gemäß den Anweisungen von Softbank Robotics hergestellt wurde, kann der Roboter wie ein gewöhnliches Android-Gerät selektiert werden und eine kompatible Android-App installiert werden.

Der Roboter wird mit diversen Hardwaresensoren und Rollen ausgestattet, wie ebenfalls in Abbildung 5.4 dargestellt. Der Roboter besitzt einige vorprogrammierte Grundfunktionen wie automatische Kopf-, Arm- und Torsobewegungen und automatische Erkennung von Menschen. Wird beispielsweise bei dieser Funktion ein Mensch erkannt, dreht der Roboter seinen Kopf in die Richtung jener Person und fokussiert diese Person auch daraufhin. Diese Funktionen verleihen dem Roboter eine gewisse "Lebendigkeit", wobei diese Grundfunktionen auch deaktiviert werden können.

Eine Android-Applikation muss dazu zunächst um die Pakete der QiSDK ergänzt werden. Zusätzlich werden einige Erweiterungen notwendig. Die "Mainactivity"-Methode wird z.B. um die "Robotactivity" "erweitert". Des Weiteren wird die "Qicontext"-Variable

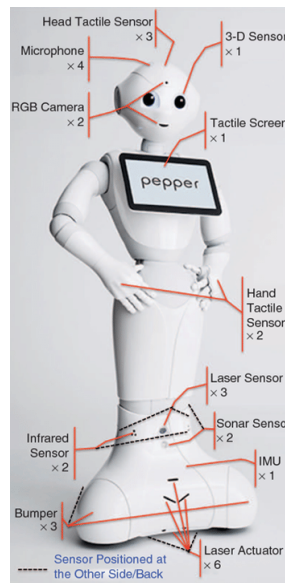


Abbildung 5.4: Pepper-Roboter: Konzept der Pepper-Hardwareausrüstung [167]

benötigt, die in gewisser Weise der "Fokus" des Roboters ist. Dieser Fokus wird in den Roboterfunktionen benötigt, um die tatsächlichen Roboterfunktionen wie die Aussprache eines Satzes auszuführen.

5.2.2 Software-Komponenten

5.2.2.1 Interaktionssteuerung

Die Grundlage der Interaktionssteuerung liegt im Konzept von Zustandsautomaten, im Englischen bekannt durch den Ausdruck "Finite State Machine" oder "FSM". Eine FSM ist ein Konstrukt der theoretischen Informatik [168, 169] und wird im Deutschen als „endlicher Automat“ bezeichnet. Es ist ein formales Modell zur Steuerung einer abstrakten Maschine, die mehrere „Zustände“ besitzt. Die Arbeitsweise der Maschine erfolgt durch den Wechsel zwischen diesen Zuständen. Innerhalb dieser Zuständen oder beim Wechsel führt sie eine bestimmte Aktion aus. Sogenannte "state charts" [170] erweitern die bislang verwendeten FSM und bieten unter anderem eine Art Hierarchie an, sodass Zustände auch in über- und untergeordnete Zustände ("Superstates" und "Substates") unterteilt werden können. Dies vereinfacht komplexe Zustandsmodelle. Zusätzlich werden verfeinert

5 Das Robotersystem

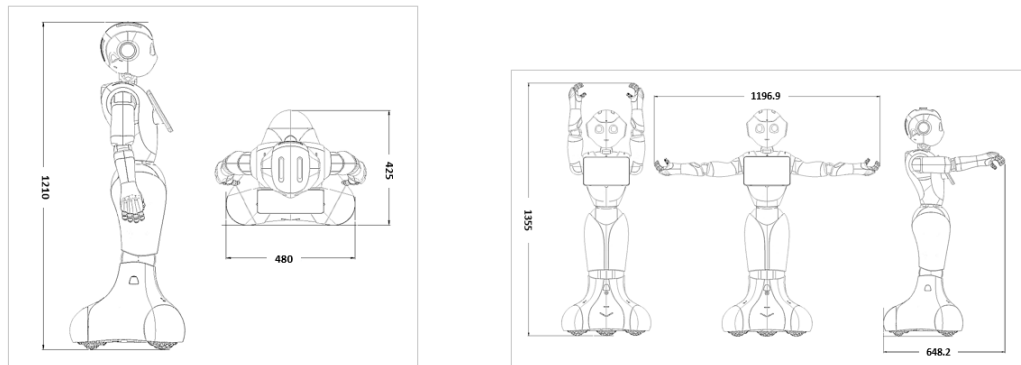


Abbildung 5.5: Größendimensionen des "Pepper" Roboters, Angaben in Millimeter [74]

Zustandstransitionen durch ein externes Ereignis oder ein zeitlicher Ablauf ermöglicht, um in einen Folgezustand zu gelangen. So wird eine Therapiesitzung zum „abspielbaren“ Programm, mit einzeln abrufbaren Abschnitten.

In den implementierten E-BRAiN Therapien schreitet der Großteil der Interaktionssteuerung voran, auch wenn keine Nutzereingabe vorliegt. Meistens wird nach der eingeplanten Transitionszeit eines Zustandes automatisch ein nachfolgender Zustand betreten. Die Verweildauer in einem Zustand ist so festgelegt, dass der Roboter die Sprachausgabe wiedergeben kann und mit möglichst wenig Verzögerung den Sprachinhalt des nächsten Zustandes wiedergeben kann.

Bei den Fragen, die das System dem Patienten stellt, gibt es in der Regel mehrere mögliche Nachfolgezustände. Die Patienten haben etwa 15-30 Sekunden Zeit, eine Eingabe zu tätigen. Erfolgt keine Eingabe, wird ein Zustand aufgerufen, in dem der Roboter darauf hinweist, dass keine Aktion erfolgt ist und die Frage bis zu zweimal mit einem Hinweis auf die fehlende Eingabe wiederholt. Die Therapie schreitet auch ohne Nutzereingabe weiter und speichert diese als fehlende Eingabe.

Ein wesentlicher Entscheidungsgrund für die Verwendung von state charts als formales Modell liegt in der Einfachheit des Therapieablaufs. Zum einen bestehen die hier implementierten Therapien aus umfangreichen repetitiven Abschnitten. Zum anderen sieht das E-BRAiN-Projekt keine Entscheidungsfindungen durch künstliche Intelligenz vor. Der Roboter soll ausschließlich vorher festgelegte Aktionen ausführen, sodass die Handlungen des Roboters jederzeit nachvollziehbar und erklärbar bleiben.

Abbildung 5.6 zeigt einen schematischen Ablauf eines Therapiebeginns. Für jeden der

dargestellten Zustände wurden Inhalte vorbereitet, die auf den Endgeräten abgespielt werden. Das System verwendet das Kommunikationsprotokoll „MQTT“, ein populäres Publish-Subscribe-Messaging-Protokoll, das häufig in "Internet-of-Things"-Anwendungen eingesetzt wird. Es bietet eine effiziente und skalierbare Möglichkeit zwischen Geräten zu kommunizieren und MQTT wird in vielen Anwendungen und Programmiersprachen unterstützt [66].

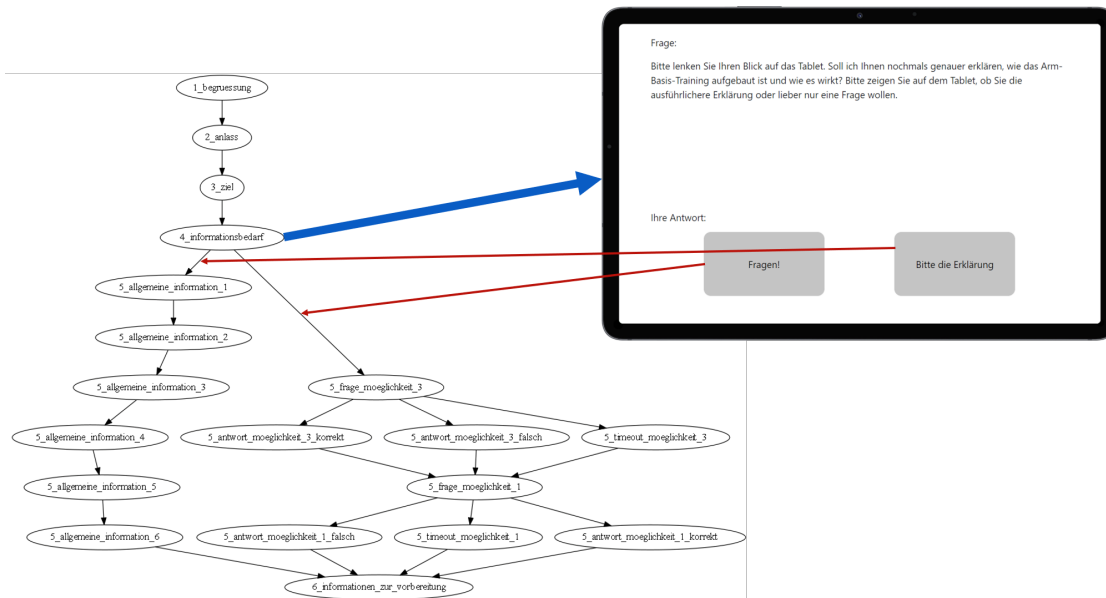


Abbildung 5.6: Konzept der Interaktionsmodellierung und Darstellung auf dem Tablet

Das System wurde so umgesetzt, dass in jedem Zustand eine MQTT-Nachricht gesendet wird, die von den Endgeräten entsprechend interpretiert wird. Dazu zählen folgende Inhalte:

- Texte zum Aussprechen durch den Roboter
- Texte zur Darstellung auf den Geräten
- Namen von darzustellenden Bilddateien*
- Namen von darzustellenden Videodateien*
- Dynamisch generierte Bilddateien im Byte64-Format

*Für eine beschleunigte und stabilere Kommunikation werden die Therapiebilder und Videos auf dem Roboter gespeichert. Medien werden also mittels des Namens aufgerufen.

5.2.2.2 Interpretation der Nachrichten und Layout-Design

Wenn eine ordnungsgemäße MQTT-Nachricht von einem Gerät empfangen wurde, wird diese von dem Gerät interpretiert. Eine solche Nachricht wird in Abbildung 5.7 gezeigt.

```
{
  "target_CID": "Pepper1",
  "api_version": "v0.1.0",
  "time": 1661198637.894366,
  "time_hr": "2022-08-22T22:03:57.894366",
  "sender_CID": "DialogEngine1",
  "message_type": "interaction",
  "message_uuid": "DialogEngine1-interaction8ea2acb1-2255-11ed-8221-70bc1072bf21",
  "content": {
    "say": "Versuchen Sie, die Bewegung konzentriert aber doch z\u00f6gig auszuf\u00fchren.",
    "text": "Versuchen Sie, die Bewegung konzentriert aber doch z\u00f6gig auszuf\u00fchren.",
    "video": "aft_1_4_analog_r.mp4",
    "layout_type": "media_text",
    "stateID": "9_aft_test_video"
  }
}
```

Abbildung 5.7: Eine beispielhafte Interaktionsnachricht im E-BRAiN System.

Die Nachrichten im E-BRAiN-System wurden im JSON-Format (JavaScript Object Notation) [171, 172] als JSON-Dictionaries umgesetzt. JSON ist ein weit verbreiteter, textbasierter, offener Standard für den Datenaustausch im Internet. Ursprünglich aus der JavaScript-Sprache abgeleitet, basiert JSON auf zwei grundlegenden Datenstrukturen: geordneten Listen (dargestellt als "arrays") und Name/Wert-Paaren (dargestellt als "objects").

Eine Nachricht im E-BRAiN-System umfasst mehrere Rahmendaten wie den Absender der Nachricht, einen Zeitstempel und den eigentlichen Nachrichteninhalt. Der Nachrichteninhalt wird innerhalb des „content“-Keywords definiert, wobei hier der Layout-Typ spezifiziert wird. Ist ein bekannter Layout-Typ angegeben, wird der angegebene Layout-Typ interpretiert. Andernfalls wird die Nachricht weder auf dem Tablet noch auf dem Roboter-Tablet dargestellt.

Durch die Layout-Typen soll ein einheitliches Schema für die Anzeige auf den Endgeräten geschaffen werden. Dazu gehören Aspekte wie Schriftgröße, Bildgrößen und Buttongrößen, insbesondere unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von Schlaganfallpatienten, wie sie von den medizinischen Partnern des Projekts definiert wurden. Anhand dieser Layout-Größen wurde bestimmt, wie viele Wörter in dem jeweiligen "state" bzw.



Abbildung 5.8: Tablet-Darstellung Konzept des "media_text" Layouts. Hier am Beispiel der Vorbereitung der Spiegeltherapie.

„Zustand-Layout“ angezeigt werden können. Die Layouts wurden zunächst als Schema entworfen und im Rahmen eines Projektworkshops durch E-BRAiN-Mitglieder festgelegt. Das Layout „media_text“ ist das am häufigsten verwendete Format. Es dient zur Darstellung eines Bildes in Kombination mit einem Text, wie in Abbildung 5.8 veranschaulicht.

Die Interpretationslogik funktioniert so, dass die angegebenen Keywords nach ihrem Inhalt abgefragt werden. Die wichtigsten Keywords betreffen Layout, Text, Sprachinhalt, Bilder und Videos. Nur wenn ein bestimmtes Keyword in einer Nachricht vorhanden ist, wird der entsprechende Inhalt hinter diesem Keyword angezeigt.

Bei Mediendateien gilt eine Besonderheit, da diese überwiegend bereits gespeicherte Medien wiedergeben. Falls also ein Inhalt mit "video" oder "image"-Keyword in einer Nachricht angegeben wurde, wird der Name des Mediums geprüft und festgestellt, ob es existiert. Ist das der Fall, wird das Bild bzw. das Video aus dem internen App-Speicher geladen. Der Ansatz dahinter ist, möglichst wenige Mediendateien zu übertragen und stattdessen auf lokal gespeicherte Inhalte zurückzugreifen, um Übertragungsprobleme zu vermeiden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Bilddateien (z. B. als Bitmap) über ein anderes Keyword zu senden.

5.2.2.3 Datenspeicherung und Datenabfragen rund um die Therapie

Die Datenspeicherung aller Daten während aller Prozesse erfolgt auf einer MySQL-Datenbank (Version 8.0.25 für Linux). Das relevante Datenbankschema befindet sich im Anhang dieser Thesis. Ein verkürztes UML-Diagramm wird in Abbildung in 5.9 präsentiert. Im Anhang werden die entsprechenden Datenbankschemata A.1 detaillierter beschrieben.

Für das E-BRAiN-System wurden Tabellen für Patienten, Therapiekonfigurationen, Sitzungen, Übungsergebnisse und Nutzerantworten angelegt. Der Prozess zur Eintragung eines neuen Patienten erfolgt über ein Webinterface. Über dieses Interface wird ein neuer Patient mit den erforderlichen Angaben im System registriert, wobei die Daten anschließend in das Datenbankschema eingetragen werden. Sollten bestimmte Angaben fehlen, werden automatisch Standardwerte verwendet. Die Datenabfrage und Speicherung während einer Therapie erfolgt mittels eines ausgelagerten, eigens erstellten Datenbankservices. Dieser wird für alle Therapien des Systems einheitlich genutzt wird.

Beim Start einer Therapiesitzung wird ein Therapieskript mit einer Sitzungs- und Patientennummer ausgeführt. Basierend auf diesen beiden Informationen erfolgt eine Abfrage der entsprechenden Therapiekonfiguration beim Datenbankservice, welche per MQTT-Protokoll übermittelt wird. Nach erfolgreicher Abfrage werden die benötigten Patientendaten an das System übertragen.

Auch die Speicherung von Daten, wie beispielsweise Übungsergebnissen, erfolgt über das MQTT-Protokoll. Die jeweiligen Daten werden als MQTT-Nachrichten an den Datenbankservice übermittelt und von dort in der MYSQL-Datenbank gespeichert.

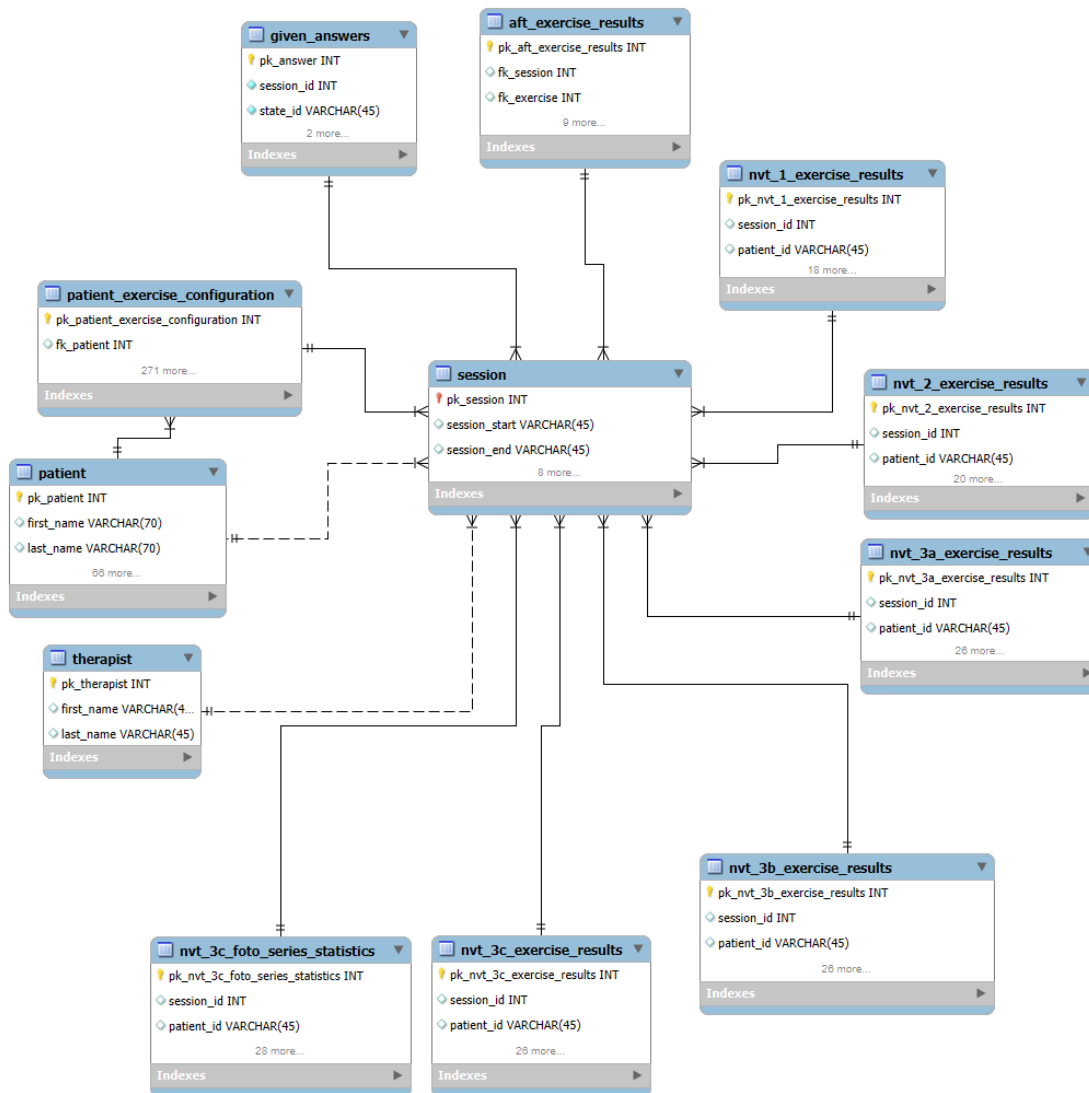


Abbildung 5.9: Verkürztes UML-Datenbankschema

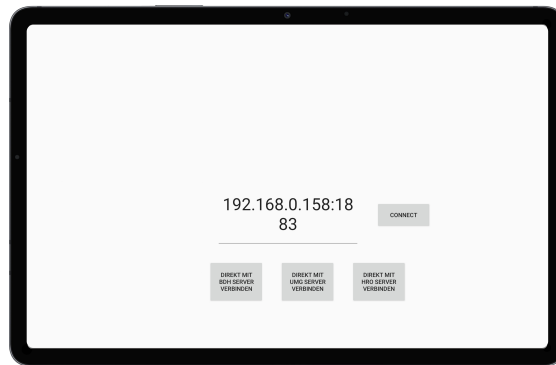


Abbildung 5.10: Startbildschirm nach dem Aufrufen der App

5.2.2.4 Endgeräte

Im Folgenden werden Einzelheiten über die Nutzerschnittstellen auf den Endgeräten erläutert.

Android-Tablet App

Die Interaktion mit den Android-Tablets wird durch eigens entwickelte Android-Apps ermöglicht. Das Hauptziel der Entwicklung war ein reibungsloser Sitzungsverlauf für die Patienten, wobei alle Übergänge zwischen den state charts-Zuständen berücksichtigt wurden. Zusätzlich wurde sichergestellt, dass die Therapiesitzung im Falle eines App-Absturzes schnell wiederaufgenommen werden kann. Alle Therapien werden über eine einzige App gesteuert, die als „E-BRAiN Meta App“ bezeichnet wird.

Ein zusätzlicher wichtiger Aspekt war, die Therapievorbereitung für die Therapeuten so komfortabel und effizient wie möglich zu gestalten. In Abbildung 5.10 ist die Übersicht zu Beginn des App-Aufrufs zu sehen.

Zu Beginn muss die App mit dem MQTT-Broker verbunden werden. In der Mitte des Bildschirms befindet sich eine editierbare IP-Adresszeile, rechts daneben ist ein „Connect“-Button für eine beliebige Broker-Adresse. Durch Berührung dieses Buttons wird ein Verbindungsversuch des MQTT-Clients mit der eingegebenen Broker-Adresse initiiert. Wird die Verbindung erfolgreich hergestellt, werden alle grafischen Objekte auf dem Bildschirm entfernt. Dies signalisiert dem Therapeuten, dass das Tablet mit dem MQTT-Broker verbunden ist und nun auf Interaktionsnachrichten reagieren kann. Unterhalb der IP-Adresszeile befinden sich drei weitere Buttons, um direkt eine Verbindung zu einer der drei vorgegebenen Broker-Adressen des E-BRAiN Projekts aufzubauen. Diese sind

für die zwei Studienstandorte, die BDH-Klinik Greifswald und die Universitätsmedizin Greifswald, und die Testinstanz im Entwicklungslabor gedacht.

Virtueller Roboter

Für die ausführenden Therapeuten steht ein Steuerungsinterface zur Verfügung, mit der sie den Therapieverlauf kontrollieren können. Dieses Interface wird als "virtueller Roboter" bezeichnet.

Die Hauptfunktion des virtuellen Roboters besteht darin, die Inhalte der Interaktionssteuerung sowie den Text darzustellen, den der Roboter ausspricht. Im oberen Fenster wird der Inhalt angezeigt, der auf dem Tablet und dem Roboter entsprechend dem jeweiligen Interaktionszustand dargestellt werden soll. Das Layout der Seite orientiert sich an den Layout-Typen und dient hauptsächlich als internes Werkzeug, um den Zustand und Fortschritt der Therapie aus der Sicht des Patienten zu überwachen. Daher entspricht es nicht den ursprünglichen Layout-Verhältnissen der anderen Endgeräte. Im unteren Bildschirmbereich wird der ausgesprochene Text angezeigt. Zusätzlich lässt sich der aktuellen Stand der Therapie beobachten, die Sitzung pausieren oder zwischen den einzelnen Therapieabschnitten navigieren. Dies ermöglicht auch, den Therapiefortschritt nach einem Absturz oder einem anderen zügig Problem zurückzusetzen, beispielsweise auf den Beginn einer Übung.

Weiterhin ermöglicht der virtuelle Roboter das Testen der Interaktion ohne aktiven Roboter und die Fernüberwachung durch den technischen Support.

Die Schnittstelle wurde hier als einfache HTML und Javascript Webseite realisiert. Das Interface verbindet sich ebenfalls zum MQTT-Broker, um Nachrichten zu empfangen und darauf zu reagieren.

5 Das Robotersystem

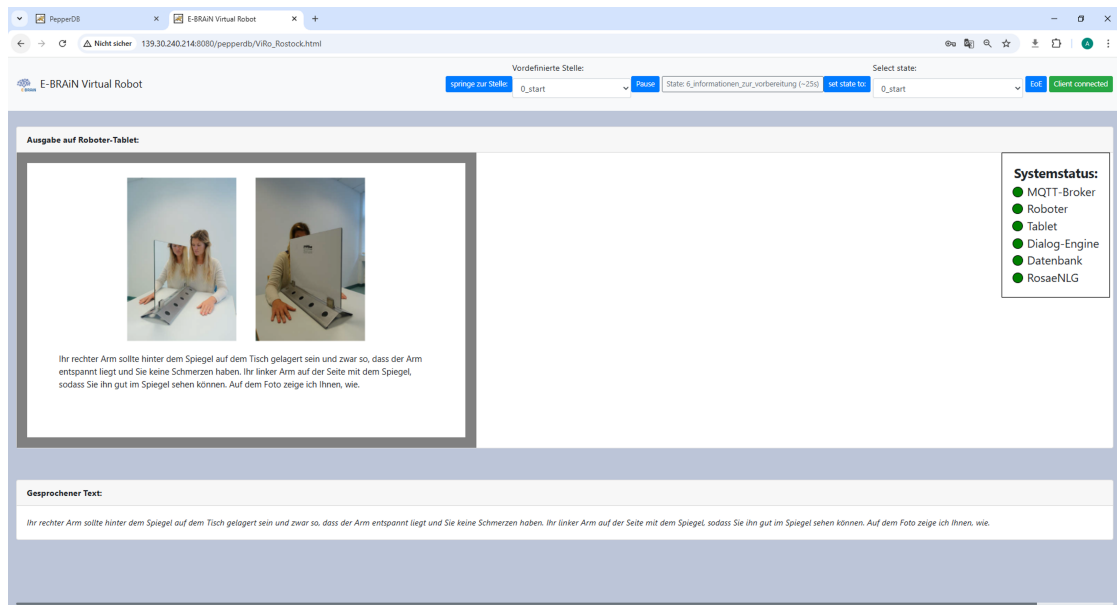


Abbildung 5.11: Beispielhafter Überblick der Therapie im "virtuellen Roboter" für das Monitoring der Sitzung.

Die Abbildung 5.11 zeigt einen beispielhaften Zustand während der AFT-Therapie. In der oberen Leiste befinden sich Buttons zur Therapiesteuerung, darunter die „Pause“-Funktion sowie eine rechts daneben platzierte Leiste, die es ermöglicht, bereits aufgerufene Zustände auszuwählen und erneut aufzurufen. Auf der rechten Seite sind Symbole angeordnet, die den Systemstatus farblich kennzeichnen sollen. Die relevanten Systemkomponenten für die Therapiadministration repräsentieren:

- MQTT-Broker
- Roboter
- Tablet
- Dialog-Engine
- Datenbank
- RosaeNLG

Die Erfassung des Status wurde so umgesetzt, dass jeder Dienst in einem kurzen Sekundenabstand eine MQTT-Nachricht auf einen bestimmten Kanal sendet. Die Idee basiert darauf, dass ein Dienst einen "Heartbeat" sendet [173], um zu signalisieren, dass Sie aktiv und einsatzbereit sind. Beim Aufrufen der ViRo-Webseite sind alle Systemstatus der Softwaredienste oder Endgeräte als inaktiv bzw. als rot markiert. Wird für eine

Systemkomponente eine Nachricht auf dem "Heartbeat" Kanal empfangen, gilt diese Komponente als aktiv und wird grün markiert. Sendet eine Systemkomponente nicht innerhalb einiger Zeit eine Nachricht auf den "Heartbeat" Kanal, bleibt oder wird die Anzeige zunächst als gelb und kurz danach als rot/inaktiv markiert.

5.2.2.5 Sprachsynthese

Die Personalisierung der gesprochenen und angezeigten deutschen Texte erfolgt unter der Berücksichtigung der deutschen Grammatik, um sinnvolle Sätze zu bilden. Während eine Vielzahl von Textvorlagen für unterschiedliche Geschlechter oder Behinderungsgrade erstellt wurde, erweist es sich in der Praxis häufig als effizienter, gezielt einzelne Textstellen bei Bedarf anzupassen. Die Modifikation von Texten, wie etwa die Anpassung des Genus eines Wortes, kann durch bereits bestehende Bibliotheken formalisiert werden. Eine solche Bibliothek ist RosaeNLG, eine Natural Language Generation-Bibliothek [174] für node.js oder die clientseitige Nutzung im Browser. Neben Englisch wird auch Deutsch vollständig unterstützt, wobei weitere Sprachen ebenfalls genutzt werden können, jedoch mit eingeschränkter Unterstützung. Die im E-BRAiN-Projekt verwendete Version ist 1.20.2. Die Sprachgenerierung soll auf Basis der aktuellen Patienteninformationen den Text bei jedem Interaktionszustand automatisch anpassen und korrekt deklinieren.

Abbildung 5.12 zeigt eine beispielhafte Textvorlage mit RosaeNLG.

Innerhalb dieses Texts werden in mehreren Stellen Variablen abgefragt. Diese Variablen stammen aus dem "Dictionary" "context_infos", welches die benötigten Variablen zur Textgenerierung beinhaltet. Die erste Stelle betrifft das Sprachniveau, was mit "if(context_infos.text_generation == "Normal")" abgefragt wird.

```
| Bitte lenken Sie Ihren Blick auf
if(context_infos.text_generation_type == "normal")
| das Tablet.
| Soll ich Ihnen nochmals genauer erklären, wie #[+value(context_infos.therapy_type, {'case': 'NOMINATIVE', 'det': 'DEFINITE'})] aufgebaut ist
| und wie #[getMorF(['er', 'sie', 'es'], context_infos.therapy_type)] wirkt?
| Bitte zeigen Sie auf dem Tablet, ob Sie die ausführlichere Erklärung oder lieber nur eine Frage wollen.
else
| den Bildschirm vor Ihnen.
| Soll ich Ihnen den Aufbau und Effekt #[+value(context_infos.therapy_type, {'case': 'GENITIVE', 'det': 'DEFINITE'})] erklären?
| Bitte klicken Sie auf dem Bildschirm, ob Sie die lange Erklärung oder lieber nur eine Frage wollen.
```

Abbildung 5.12: Ein Beispiel der hinterlegten RosaeNLG Textvorlage.

Im Satz

”Soll ich Ihnen nochmals genauer erklären, wie [+value(context_infos.therapy_type,'case':'NOMINATIVE','det':'DEFINITE')] aufgebaut ist und wie getMorF(['er','sie','es'], context_infos.therapy_type) wirkt”

wird die einzusetzende Therapie dynamisch eingefügt. Dazu wird mit ”context_infos.therapy_type” der Name der Therapie, wie etwa „Spiegeltherapie“, abgerufen. Um die korrekte deutsche Deklination sicherzustellen, muss explizit der grammatikalische Fall angegeben werden, hier der Nominativ (1. Fall) mit ”case: Nominative”. Zusätzlich wird mit ”det: DEFINITE” ein bestimmter Artikel („die“, „das“) zugeordnet. In diesem Beispiel wird „Spiegeltherapie“ im Nominativ mit einem definiten Artikel versehen, sodass daraus korrekt „die Spiegeltherapie“ entsteht. Die Deklination erfolgt automatisch durch die in RosaeNLG hinterlegte Grammatik für die deutsche Sprache. Mit der getMorF(['er', 'sie', 'es'], context_infos.therapy_type) wird der Artikel mit Angabe des Wortes der Therapie durch RosaeNLG bestimmt.

Die Nutzung von RosaeNLG als dedizierter Sprachanpassungsbibliothek bietet eine flexible Möglichkeit, Texte dynamisch und grammatikalisch korrekt zu gestalten. Da RosaeNLG für die deutsche Sprache bereits einen umfassenden Wortschatz besitzt, kann die obere Vorlage mit den Deklinierungsvorgaben auch für neue Therapiebegriffe eingesetzt werden. Dies gilt potenziell für alle Begriffe, die der RosaeNLG-Wortschatz kennt. Folglich müssen die RosaeNLG-Dateien nur bei bestimmten Sonderfällen mit eher selteneren Deklinationen angepasst werden.

Die implementierte Lösung der Textgenerierung mit RosaeNLG befindet sich ebenfalls auf dem zentralen Rechner. RosaeNLG verarbeitet eintreffende Anfragen zur Generierung von Texten per MQTT-Nachrichten. RosaeNLG arbeitet als Service im Hintergrund und reagiert auf eintreffende Nachrichten des eingestellten MQTT-Kanals.

Typischerweise werden alle Zustände innerhalb der Therapien bereits mit einem ”Grundtext” ausgestattet, der nicht an die aktuelle Therapiesituation angepasst ist. In der ”Dialogengine” wird beim Betreten eines Zustandes eine Anfrage an RosaeNLG versendet. Ist dieser Zustand so hinterlegt, dass RosaeNLG dazu etwas generieren soll, wird eine MQTT-Nachricht an die ”DialogEngine” auf dem relevanten MQTT-Kanal übermittelt. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, weil eine Sprachgenerierung mit RosaeNLG erst im Laufe der Entwicklung integriert wurde. Die Interaktionssteuerung wurde daher nachträglich um das RosaeNLG-Tool erweitert.

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

Im Folgenden wird der Ablauf einer Therapie mit dem E-BRAiN System beschrieben. Dabei wird zunächst der klinische Ablauf dargestellt, so wie die Therapeuten und Patienten diesen wahrnehmen.

5.3.1 Vorbereitungen für den Ablauf

Um eine Therapiesitzung durchzuführen, muss der Therapeut zunächst einen Patienten und eine entsprechende Sitzung anlegen. Die Erstellung eines neuen Patientendatensatzes erfolgt über das Webinterface des E-BRAiN Therapiemanagements. Anschließend passt der Therapeut die Übungskonfiguration für den Patienten an und speichert diese. Falls keine individuellen Werte eingetragen werden, verwendet das System automatisch Standardwerte. Nach Abschluss der Patientenkonfiguration können für diesen Patienten Therapiesitzungen geplant werden. Die erstellten Sitzungstermine erscheinen in der Terminübersicht. Durch die Auswahl eines Termins und das Betätigen des Start-Buttons wird die Therapie gestartet. Parallel dazu ist der Therapeut dafür verantwortlich, die benötigten Geräte vorzubereiten. Die ABT, AFT und ST erfordern ähnliche Geräte, während das Neglect Training zusätzlich einen speziellen Monitor mit Touch-Funktion benötigt. Die Schritte zum Vorbereiten der Geräte werden in Tabelle 5.1 dargestellt:

Zur Vorbereitung einer Behandlung ist eine zentrale App auf den Endgeräten zu installieren. Nach dem Start der App kann die Verbindung zum E-BRAiN-Rechner mit nur einem Klick wiederhergestellt werden. Der Start einer Therapiesitzung erfolgt über das Web-Interface, wodurch das jeweilige Skript initialisiert wird und den Zustand "0_start" aktiviert. In diesem Zustand verweilt das Interaktionsprogramm unbegrenzt, bis die Patienten durch eine Aktion den nächsten Zustand betreten und die Sitzung beginnen.

Gerät	Vorraussetzung
Zentraler Rechner	1. Muss eingeschaltet sein 2. Das Therapiemanagement und die Therapiesteuerung muss über das Netzwerk abrufbar sein
Roboter	1. Muss eingeschaltet sein 2. Die E-BRAiN Roboter App muss geöffnet sein. 3. Der MQTT-Client muss sich mit dem E-BRAiN MQTT-Broker erfolgreich verbinden (1-Button-Klick)
Tablet	1. Muss eingeschaltet sein 2. Die E-BRAiN Tablet App muss geöffnet sein. 3. Der MQTT-Client muss sich mit dem E-BRAiN MQTT-Broker erfolgreich verbinden (1-Button-Klick)
Rechner zur Therapie- steuerung	1. Muss eingeschaltet sein 2. Das E-BRAiN Therapiemanagment muss aufgerufen werden 3. Die zuvor angelegte Therapiesitzung muss angewählt werden und gestartet werden
(Nur NVT:) Touch-Monitor	1. Der Monitor muss per USB-Verbindungserweiterung zu dem Tablet verbunden sein 2. Tablet und Monitor müssen eingeschaltet sein 3. Der MQTT-Client muss sich mit dem E-BRAiN MQTT-Broker erfolgreich verbinden (1-Button-Klick)

Tabelle 5.1: Benötigte Schritte zur Therapiesitzungsvorbereitung

5.3.2 Technischer Start einer Therapie

Zu Beginn einer Therapiesitzung wird mit dem Button "Therapie starten" eine Textdatei erstellt, die von einem dauerhaft laufenden Service erkannt wird. Aufseiten des Betriebssystems wird dieser Service von einem gesonderten (System-)Nutzer ausgeführt. Diese Textdatei enthält die Informationen zur Therapie, eine eindeutige Therapiesitzungs-ID und eine Patienten-ID. Der Service wird daraufhin einen Python-Befehl ausführen, um die ausgewählte Therapie zu starten. Zu Beginn jeder Therapiesitzung werden die Informationen rund um die aktuelle Sitzung von der Datenbank abgefragt. Neben der Übungskonfiguration gehören da auch weitere Elemente über den Patienten dazu. An verschiedenen Stellen innerhalb der Therapien werden Texte dynamisch angepasst, um eine persönlichere Ansprache des Patienten zu ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist die ST, bei der der Roboter abhängig von den Schweregraden des Handicaps unterschiedliche Inhalte zu bestimmten Abschnitten wiedergibt. Der Roboter kommentiert dann während der Therapie, dass z.B. nun bestimmte Bewegungen für Finger und Hand folgen, die "[noch sehr schwer / mittelschwer / zum Glück nicht so schwer]" fallen. Und, dass diese Übungen

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

helfen können, die Bewegungsfähigkeit der Hand zu verbessern.

Alle implementierten Therapiearten folgen demselben grundlegenden Sitzungsschema nach der Tabelle 5.2. Die Patienten starten die Sitzung, indem sie den nächsten Zustand durch den "Start"-Button betreten. Wie im Unterkapitel 5.2.2.1 beschrieben, werden die Zustände durch zeit- oder ereignisbasierte Transitionen gewechselt.

Abschnitt	Inhalt	Dauer
1. Begrüßung	"Guten Tag, [Anrede, Name]!"	5 Sekunden
2. Anlass	"Heute treffen wir uns zum x -ten Mal zur/zum [Training, z.B. Spiegeltherapie]"	5 Sekunden
3. Ziel	"Damit wollen wir Ihr Behandlungsziel unterstützen, dass Sie ..."	12 Sekunden
4. Frage nach Informationsbedarf über das Training oder Quizfragen	"Soll ich Ihnen nochmals genauer erklären, wie die Therapie aufgebaut ist und wie sie wirkt?"	30 Sekunden
5. Allgemeine Information zum Training oder Quizfragen	Hintergrund zur jeweiligen Therapie oder 1 – 2 Fragen zum Training	2-3 Minuten
6. Information zur Vorbereitung zum Training	Siehe spezifischer Teil im entsprechenden Therapiemanual	25-45 Sekunden
7. Frage zur Motivation	Dem Patienten werden insgesamt 6 Fragen gestellt, um seine Motivation zu erfassen	1-2 Minuten
8. Frage nach Bereitschaft zum Trainingsbeginn	"Können wir mit der Therapie beginnen?"	15 Sekunden
9. Durchführung des Trainings (nach spezifischem Manual)	Siehe spezifischer Teil im entsprechenden Therapiemanual	45- 75 Minuten (Siehe spezifischer Ablauf)
10. Abschlussdialog	Information zum Training, Motivations- und Nebenwirkungserhebung sowie Information über den nächsten Termin und Verabschiedung	1-3 Minuten

Tabelle 5.2: Grobe Dialogstruktur zum Sitzungsverlauf gemäß dem allgemeinen E-BRAiN Dialogskript



Abbildung 5.13: Startbildschirm für Patienten

5 Das Robotersystem

Nach Abschluss der Therapieübungen und weiteren Motivationsfragen verabschiedet sich der Roboter vom Patienten. Die einzelnen Sitzungsabschnitte sind in Tabelle 5.2 detailliert beschrieben.

In der Spalte "Inhalt" einiger Abschnitte wurden die direkten Textformulierungen eingesetzt oder ihr Inhalt beschrieben. Vom Starten der Therapie (1. Begrüßung) bis zur tatsächlichen Übungsausführung in Abschnitt 9 vergehen ungefähr 8-10 Minuten. Je nach Therapieart beträgt eine Sitzungsdauer (vom 1 bis 10. Abschnitt) 60 bis 90 Minuten.

Der Ablauf ist wie folgt: Nach einer Bestätigung seitens des Patienten die Therapie zu starten (siehe Abbildung 5.13), begrüßt der Roboter den Patienten und führt ihn in die aktuelle Sitzung ein. Anschließend stellt er Fragen, um die Motivation des Patienten zu erfassen, bevor mit der Vorbereitung der Übungen begonnen wird.

Die Motivationsfragen (siehe Abbildung 5.14) waren ein Teil einer anderen E-BRAiN Projektgruppe zur Erforschung der Motivation in diesen Therapien. Vor den Übungen werden sechs Fragen und nach den Übungen nochmals drei gestellt:

- Vor den Übungen:
 1. Wie weit sind Sie noch von Ihrem persönlichen Ziel entfernt?
 2. Wie wichtig ist es Ihnen, Ihr Ziel zu erreichen?
 3. Glauben Sie, dass Sie durch das Training Ihrem Ziel näher kommen?
 4. Glauben Sie, dass Sie dieses Training durchführen können?
 5. Möchten Sie das Training heute durchführen?
 6. Wie hoch ist Ihre Anstrengungsbereitschaft Ihr Ziel zu erreichen?
- Nach den Übungen:
 7. Glauben Sie, dass der Trainingsfortschritt heute Sie Ihrem Ziel näher gebracht hat?
 8. Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Leistung heute?
 9. Wie anstrengend war das Training heute?

Hier ist meine erste Frage

Ihre Antwort:

Sehr weit entfernt

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

Ganz nah dran

Wie weit sind Sie noch von Ihrem persönlichen Ziel entfernt?

Abbildung 5.14: Darstellung der 1. Motivationsfrage

5.3.3 Spezifischer Arm-Fähigkeit-Training -Ablauf

Nach der allgemeinen Therapieeinleitung werden die 8 Übungen der AFT durchgeführt. Dabei bleibt das Prinzip, dass der Roboter mit einfach zu verstehenden Worten, Standbildern und Videos die Übungen erklärt. Hier werden normalerweise vier Runden pro Übung angesetzt. Abbildung 5.15 zeigt eine beispielhafte Darstellung, wie die Therapieumgebung für die AFT (1. Aufgabe "Zielen") aussah.

In der ersten AFT-Sitzung, die ohne das Robotersystem durchgeführt wird, wird bei den Patienten die Anzahl der Wiederholungen einer Übung gemessen, die sie in 60 Sekunden bewältigen können. Diese Zahl stellt das sogenannte „Arbeitspaket“ dar, das den Patienten während der gesamten Therapie als Referenz dient. Ein Beispiel für eine Referenzmenge wäre bei der dritten Übung, dem „Durchstreichen“, das Erreichen von 20 Kreisen. Ziel der Patienten ist es, bei gleichbleibender Anzahl an Wiederholungen, die Übungen schneller auszuführen.



Abbildung 5.15: Beispielhafte Darstellung der Systemvorbereitung für die 1. Aufgabe der AFT "Zielen"

5 Das Robotersystem

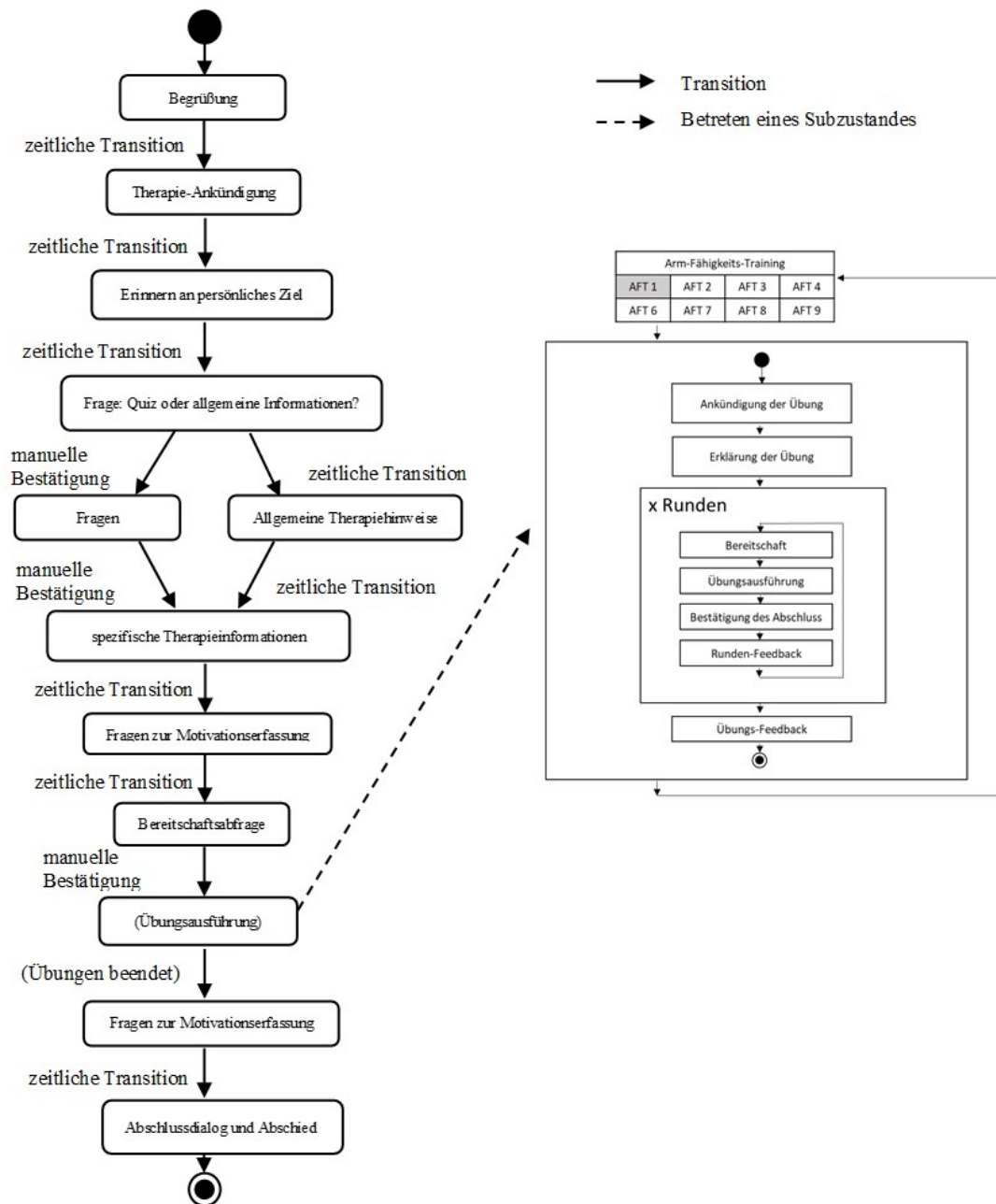


Abbildung 5.16: Genereller Therapie-Ablauf und AFT-Ablauf

Wie in Abbildung 5.16 dargestellt, wird zu Beginn jeder Übung diese zunächst angekündigt. Die Erklärung dauert 1-2 Minuten und es folgt anschließend eine Bereitschaftsabfrage.

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

Nach der Bereitschaftsabfrage folgt ein Countdown mit einem lauten Startton. Anschließend sollen die Patienten das Arbeitspaket bearbeiten. Nach dessen Abschluss bestätigen sie ihren Erfolg auf dem nebenliegenden Tablet.

Bei Übungen, die aus mehreren Teilrunden bestehen, müssen die Patienten jede Teilrunde separat bestätigen. In der ersten Übung, „Zielen“, umfasst eine Teilrunde beispielsweise das Berühren aller zehn oberen Kreise sowie das anschließende Bewegen des Kugelschreibers zu den unteren fünf Kreisen. Hat ein Patient als Arbeitspaket theoretisch zwei Teilrunden, würde er nach Abschluss der ersten Teilrunde einmal das Ende dieser auf dem Tablet bestätigen. Nach Abschluss der zweiten Teilrunde würde er das Ende dieser Teilrunde sowie gleichzeitig das Ende der gesamten Übungsrunde bestätigen. Ein Patient hätte dann insgesamt 2 x 15 Kreise "bearbeitet".

Diese Systematik der Teilrunden basiert auf der Notwendigkeit, größere Arbeitspakete zu implementieren. Mit dieser Bestätigung zwischen einer vollen Ausführung erhält das System einen Weg, die Übungsausführung zu erfassen und dabei auch unterstützendes Feedback zu äußern.

Nach dem Ende jeder Übungsrunde wird ein Diagramm über die erreichten Ergebnisse angezeigt. Dabei wird der Roboter ausgehend von den bis dahin erzielten Ergebnissen einen der vordefinierten Texte aussprechen. Diese Texte sollen den Patienten zu mehr Leistung anspornen.

5.3.4 Spezifischer Arm-Basis-Training Ablauf

Die ABT-Therapie ist in zwei Stufen mit unterschiedlichen Bewegungsabläufen unterteilt. Die Therapie umfasst insgesamt 43 Einzelübungen. Eine Übersicht für alle Übungen ist im Anhang vorhanden. Hintergründe der Therapie wurden im Kapitel 3 beschrieben.

Gemäß der Abbildung 5.17 wird zu Beginn der Übungsname genannt. Grundlegend wurde die Therapie so gestaltet, dass für jede Übung eingestellt werden kann, ob Prohebewegungen mit dem gesunden Arm durchgeführt werden sollen.

Wenn eine Prohebewegung durchgeführt werden soll, wird diese angekündigt und nach der Bereitschaft gefragt. Diese Abfrage wird bei allen Übungen für die Probeseite und die betroffene Seite durchgeführt. Die Interaktion bleibt in der Bereitschaftsabfrage, bis diese bestätigt wird.

Bestimmte Übungen werden in der Sitz- oder Liegeposition durchgeführt. Der Roboter erklärt in mehreren Schritten die Bewegung und zeigt dabei Fotos und ein Video der Übungsausführung. Daraufhin soll die Prohebewegung vom Patienten und gegebenenfalls vom Helfer ausgeführt werden.

Nach diesen Schritten wechselt die Interaktionssteuerung automatisch zum Zustand der Ankündigung der tatsächlichen Übungsausführung. Dann erfolgt erneut eine Bereitschaftsabfrage. Nach dieser folgt eine Erklärung der Bewegung mit Fotos und Videos.

Zur Umsetzung der Robotertherapie und der einzelnen ABT-Übungsschritte wurde eine Vorwärts- und Rückwärtsbewegung der Interaktionssteuerung modelliert.

Die Patienten sollen die Bewegungen bis zu einer bestimmten Endlage des Armes oder der Hand ausführen. In der Abbildung 5.17 wird dies als "Vorwärtsbewegung" bezeichnet. In dieser Endlage soll kurz verharrt werden und der Arm oder die Hand soll anschließend zur Ausgangslage zurückkehren, welches im Diagramm als "Rückwärtsbewegung" bezeichnet wird. Bei dieser angekommen, soll der Patient ebenfalls kurz in dieser Haltung bleiben. Anschließend geht es wieder von vorne mit der "Vorwärtsbewegung" los.

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

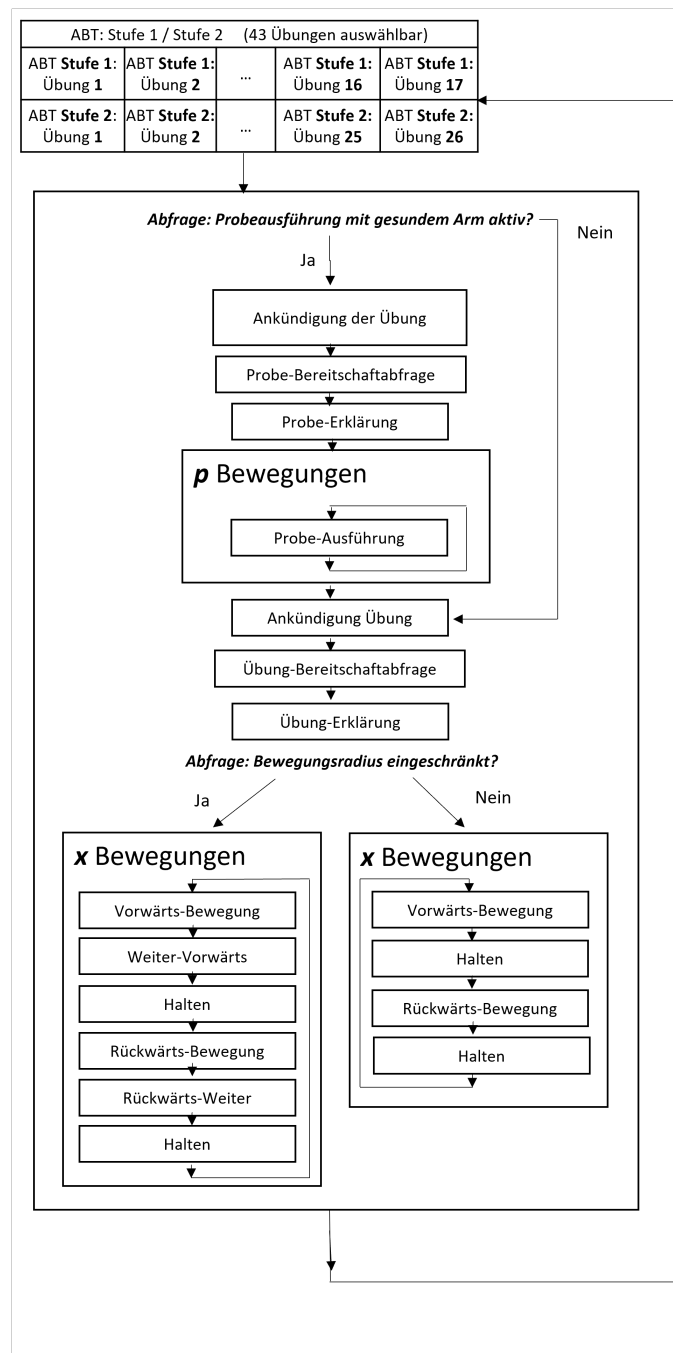


Abbildung 5.17: Spezifisches Ablaufschema einer beispielhaften ABT-Sitzung. Die eingestellten aktivierten Übungen werden nacheinander aufgerufen und das Robotersystem leitet an. Je nach Einstellungen werden p Probebewegungen mit der gesunden Seite und anschließend x Ausführungen mit der betroffenen Seite ausgeführt.

Kann nicht der volle Bewegungsumfang genutzt werden, so kommen noch zwei Schritte dazu. In der "Vorwärtsbewegung" und "Rückwärtsbewegung" wird der Patient vom Roboter angeleitet, die Bewegung so weit wie möglich auszuführen. Anschließend soll der Helfer den eventuell verbliebenen Rest der Bewegung ergänzen und physisch mithelfen. Wurden alle Bewegungen ausgeführt, wird mit der nächsten Übung weitergemacht. Sind alle Übungen abgeschlossen, endet damit der spezifische Teil der ABT-Sitzung und der Abschlussdialog wird eingeleitet.

Die Dauer einer Übung -und letztlich einer ganzen ABT-Sitzung- hängt von mehreren Einstellungsfaktoren ab. Zum einen kann die Interaktionszustandsdauer der tatsächlichen "Vorwärts"- und "Rückwärtsbewegungen" angepasst werden. Die anderen Teilschritte wie das "Weitervorwärts" oder das "Halten und Entspannen" sind aber zeitlich festgelegt. Des Weiteren werden die Übungen ohne vollen Bewegungsumfang durch den zusätzlichen Schritt weiter verlängert.

Die Dauer der Ankündigungstexte und Erklärungsschritte ist für die Probe und tatsächliche Übung gleich. Die Erklärung einer Übung dauert rund eine Minute. Für die Probeübungen werden pro "Vorwärts"- und "Rückwärtsbewegung" eine vorbestimmte kurze Zeit angesetzt. Bei Probeübungen wurden häufig drei eingestellt. Da die Probewebewegung mit der nicht-gelähmten Seite ausgeführt wird, benötigt diese keine Besonderheiten bei der Interaktionssteuerung und die Zeit wird folglich einfach festgelegt.

Die wichtigste Einstellungsvariable bei der ABT-Therapie ist die Zeit, die das System in den "Vorwärts"- und "Rückwärtsbewegungen" einplant. Die anderen Werte sind klinisch während der Entwicklungsphase erprobt worden und sind statisch im Programm implementiert. Bei der ersten Übung "Die Schulter heben und senken" und einer unvollständigen Bewegungsreichweite werden für die Schritte der Ausführung folgende Schritte ausgeführt:

1. Vorwärtsbewegung: "Bewegen Sie Ihre Schulter in Richtung Ohr."
2. Weiter-Vorwärts: "Gut, und noch etwas weiter, wenn es geht, (1 Sekunde Pause) gut, Ihr Helfer darf jetzt den Rest ergänzen."
3. Halten und Entspannen: "Gut, noch einen Moment da bleiben und dabei entspannen."
4. Rückwärtsbewegung: "Bewegen Sie Ihre Schulter in Richtung Hüfte."
5. Weiter-Rückwärts: "Gut, und noch etwas weiter, wenn es geht, (1 Sekunde Pause) gut, Ihr Helfer darf jetzt den Rest ergänzen."
6. Halten und Entspannen: "Gut, noch einen Moment da bleiben und dabei entspannen."

5.3.5 Spezifischer Spiegeltherapie-Ablauf

Die Spiegeltherapie besteht aus insgesamt 18 Übungen, die nacheinander ausgeführt werden. Wie in Abbildung 5.18 dargestellt, wird eine Einleitung in die Übung gegeben, dann eventuell Probeausführungen durchgeführt und anschließend die eingestellte Anzahl von Bewegungsausführungen durchgeführt. Während der eigentlichen Übungsausführung zählt der Roboter laut mit.

Diese Therapie folgt im Vergleich zu den anderen hier vorgestellten Therapien einem deutlich lineareren und wiederholenden Ablauf. Die spezifische Übungsdurchführung folgt stets demselben Schema. Die Hand- und Armbewegungen werden nacheinander vorgestellt und die Patienten sollen die Bewegungen jeweils X -Mal ausführen. Zwischen der Hälfte aller Übungen wird eine Pause angeboten. Abschließend folgt der übliche Abschlussdialog.

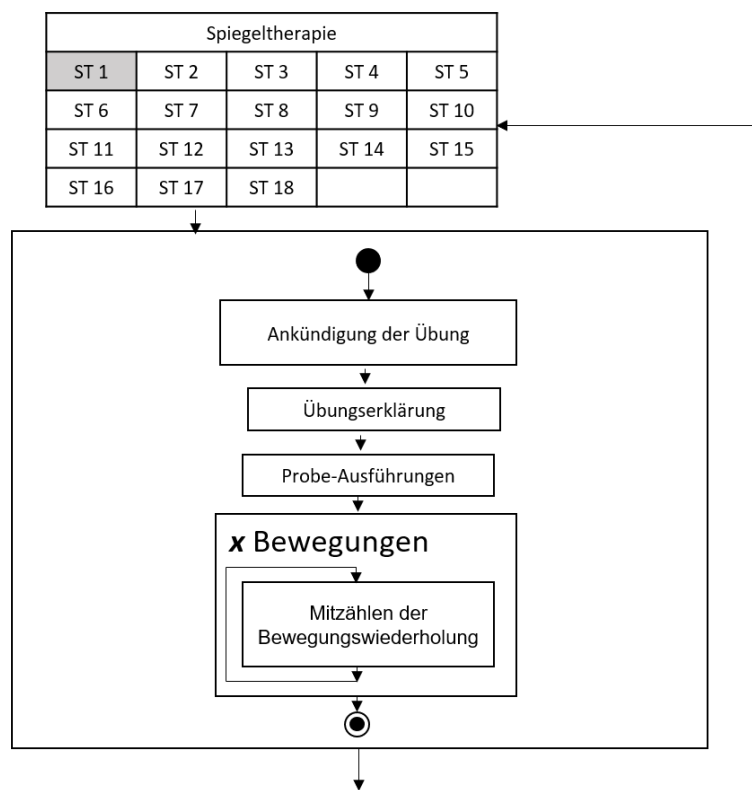


Abbildung 5.18: Konzept des spezifischen Übungsablaufes der Spiegeltherapie

5.3.6 Spezifischer Ablauf des neurovisuellen Neglect Trainings

Das Neglect Training unterscheidet sich von den anderen hier vorgestellten, Arme- und Hände-Therapien. Es bietet ein Training für ein visuelles Handicap an und setzt daher andere Methoden ein. Das in diesem Projekt implementierte Neglect-Training orientiert sich an der "EyeMove"-Software von [107]. Mit dieser Software können die Therapieübungen "Sakkadentraining", "Sakkadentraining mit optokinetischer Stimulation" sowie "visuelles Explorationstraining" [99] durchgeführt werden. Im Rahmen des E-BRAiN-Projekts wurden die Aufgaben an die spezifischen Anforderungen angepasst und in das Robotersystem integriert. Die Abbildung 5.19 zeigt eine beispielhafte Nachstellung einer Therapiesitzung.

Da diese Therapie alle Eingaben der Patienten digital erfasst, kann das System sehr präzise unterstützen. Ein weiterer wichtiger Vorteil ergibt sich hier durch die Integration eines Touch-Monitors. Dies ermöglicht eine präzise Bestätigung eines Reiztreffers. Bisherige Therapien integrieren keine Möglichkeit einer Touch-Erkennung. Andere Forscher berichten, dass Neglectpatienten bei anderen Modalitäten und Übungsformen wie Projektionswände und Laserpointer oder Zeigestäbe häufig seitlich oder in der Höhe daneben auf die Reize deuten [99].

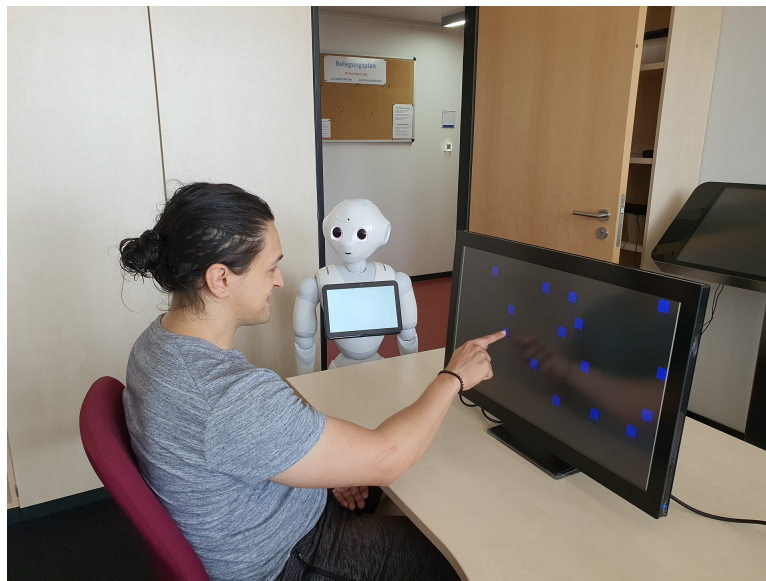


Abbildung 5.19: Nachbildung einer Neglect-Trainingssitzung

5.3.6.1 Vorbereitung

Auch das Setup dieser Therapie unterscheidet sich deutlich von den anderen Therapien. Die Patienten sitzen vor einem 27-Zoll-Touchscreen-Monitor, der etwa 30 cm entfernt auf einem Tisch positioniert ist. In der allgemeinen Einleitung für das Neglect Training werden die vorbereitenden Schritte für die korrekte Positionierung vor dem Bildschirm erklärt. Dabei sollen die Patienten, je nach zu trainierender Seite, einen vorgegebenen Fixierpunkt auf dem Monitor fokussieren.

Dieser Fixierpunkt befindet sich in der horizontalen Mitte des Monitors, auf einer visuellen Linie bei $\frac{1}{3}$ oder $\frac{2}{3}$ der Monitorbreite. Je nachdem, welche Seite des Sichtfelds betroffen und trainiert werden soll, positionieren sich die Patienten so, dass sie mit der betroffenen Seite $\frac{2}{3}$ der Monitorbreite und mit der gesunden Seite $\frac{1}{3}$ der Breite sehen. Während der Übungen sollen die Patienten immer wieder zu diesem Punkt zurückblicken, nachdem sie nach Zielreizen gesucht haben. Dies stellt sicher, dass die Patienten die Zielreize durch Augenbewegungen erfassen. Die restliche Einleitung verläuft ähnlich wie bei den anderen Therapien und umfasst die Fragen zur Motivation und Bereitschaft der Patienten.

5 Das Robotersystem

Nach der Einleitung folgen alle Übungen nacheinander. Abbildung 5.20 zeigt den Ablauf einer Neglect-Trainingssitzung mit den schematischen Abläufen der optokinetischen Stimulation und Blicksakkaden. Das Ablaufschema der Aufgaben für die visuelle Exploration wird in 5.21 abgebildet. Bei beiden Diagrammen wurden aus Übersichtsgründen einzelne Schritte vereinfacht.

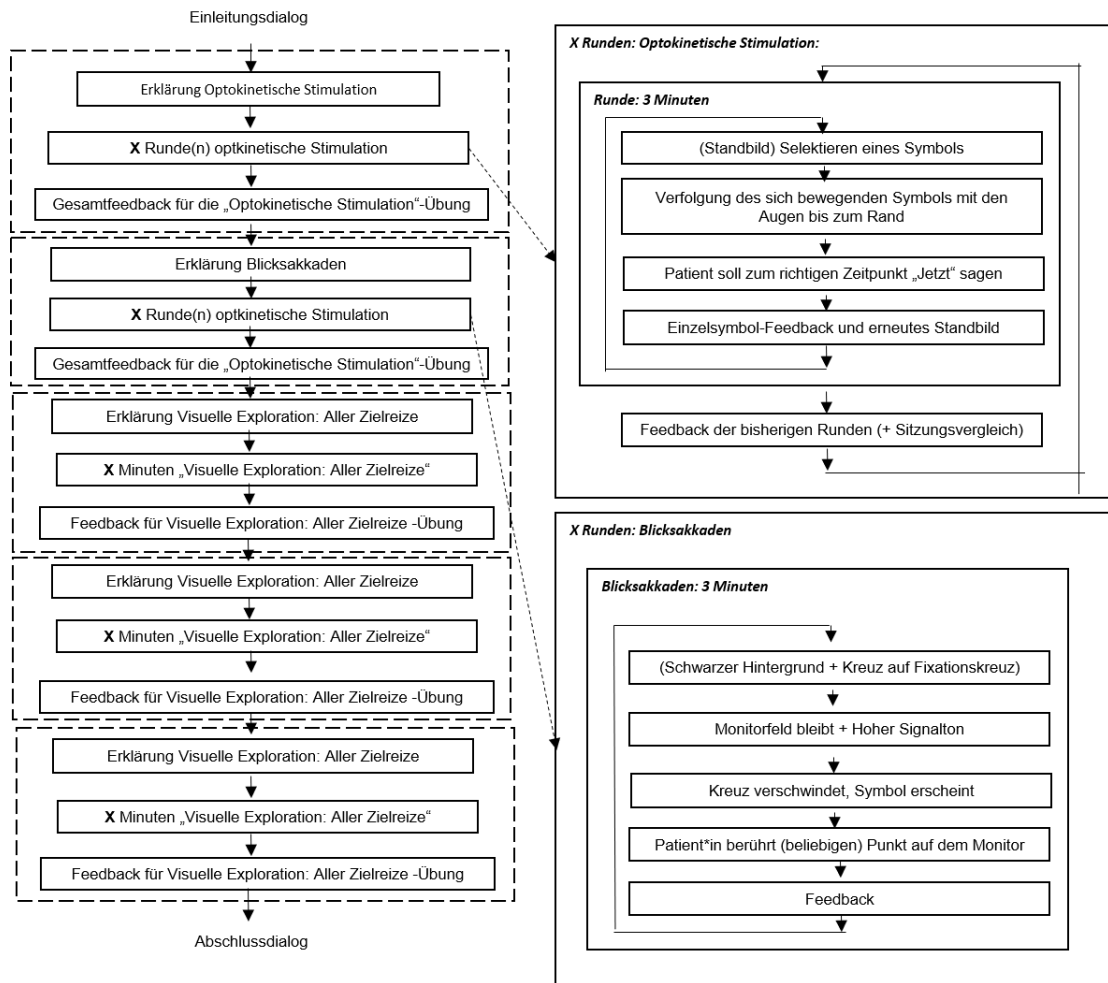


Abbildung 5.20: Konzeptioneller Übungsablauf des Neglect Trainings mit der (1) optokinetischen Stimulation und (2) Blicksakkaden

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

Bei den Übungen können Patienten die Zielreize, die sie suchen wollen, vorher aussuchen. Dabei können sie die Form (Kreis, Quadrat, Stern und Raute) und Farbe (Rot, Grün, Orange, Blau) bestimmen. Dabei schreibt die Therapie vor, dass die Zielreize sich abwechseln müssen. Folglich wird bei der nächsten Ausführung dieser Übung die vorher ausgewählte Kombination nicht auswählbar sein. Die Erklärungen zu diesen Übungen nutzen keine bereits aufgenommenen Videos, sondern nutzen diese vorher ausgewählten Zielreize in den Erklärungen. Im Folgenden werden die einzelnen Aufgaben und ihr technischer Hintergrund erläutert.

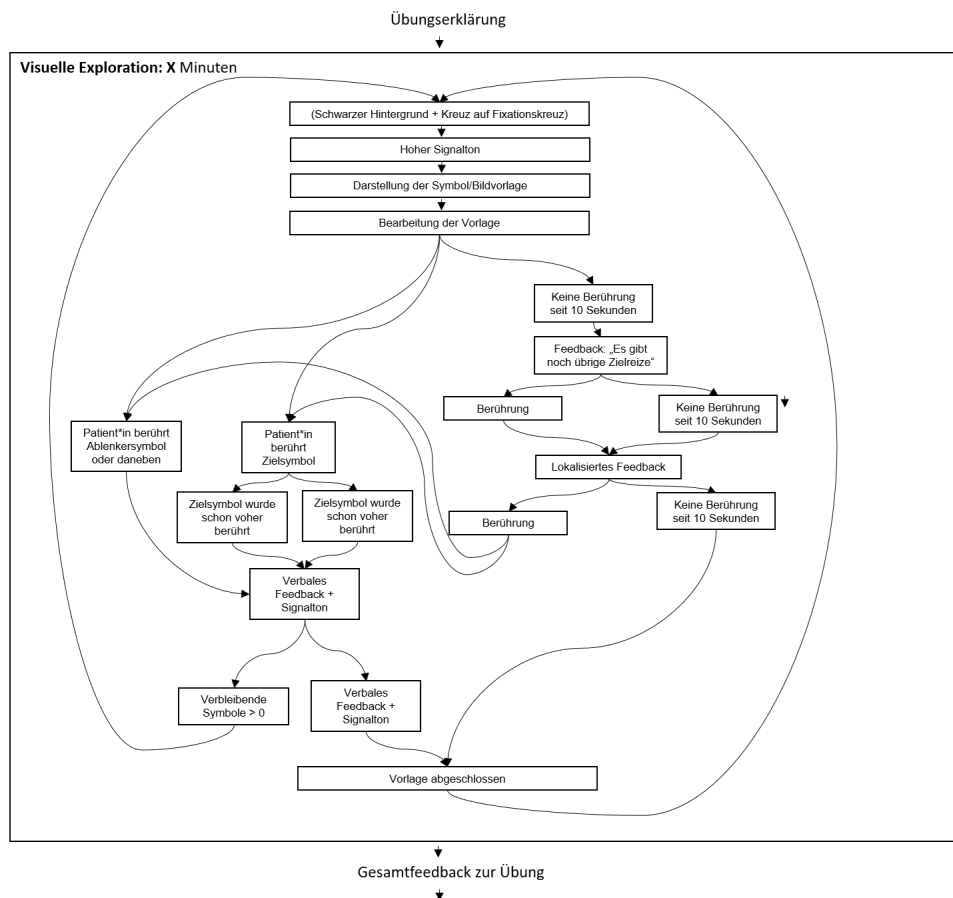


Abbildung 5.21: Konzept des Übungsablaufes für die Aufgaben der visuellen Exploration (3a, 3b, 3c)

5.3.6.2 1. "Optokinetische Stimulation" (OKS)

Nach der Erklärung wird die Vorlage für die optokinetische Stimulation auf dem Monitor angezeigt. Der Roboter führt die Patienten schrittweise mit Anweisungen und Feedback durch die Übung. Die Patienten werden aufgefordert ein Symbol auf der Vorlage berühren, das sich, wie in Abbildung 5.22 dargestellt, möglichst weit am Rand der Monitorseite auf der gesunden Sichtfeldseite befindet.

Sobald ein Symbol berührt wurde, bewegen sich alle Symbole in Richtung der zu trainierenden Seite. Die Patienten sollen dem berührten Punkt mit den Augen folgen und im richtigen Moment „Jetzt“ sagen. Dieser Moment beginnt, wenn der Punkt etwa 3 cm vor dem Rand des Monitors ist, und endet drei Sekunden später, nachdem der Punkt den Rand verlassen hat. Entsprechend wird das eben berührte Symbol dann als "zu früh", "richtig" und "zu spät" klassifiziert. Nach einem erkannten "jetzt" oder dem erfolglosen 3-Sekunden Zeitfenster bleibt die Explorationsvorlage stehen.

Der Roboter gibt daraufhin Feedback, wie das gerade verfolgte Symbol erfasst wurde. Im Hintergrund läuft ein 3-Minuten-Timer, der die Übungsrunde zeitlich begrenzt. Sobald die drei Minuten erreicht sind, wird die aktuelle Runde nach dem Beenden des nächsten Symbols abgeschlossen. Anschließend wird ein Diagramm angezeigt, das die bisherige Leistung visualisiert.

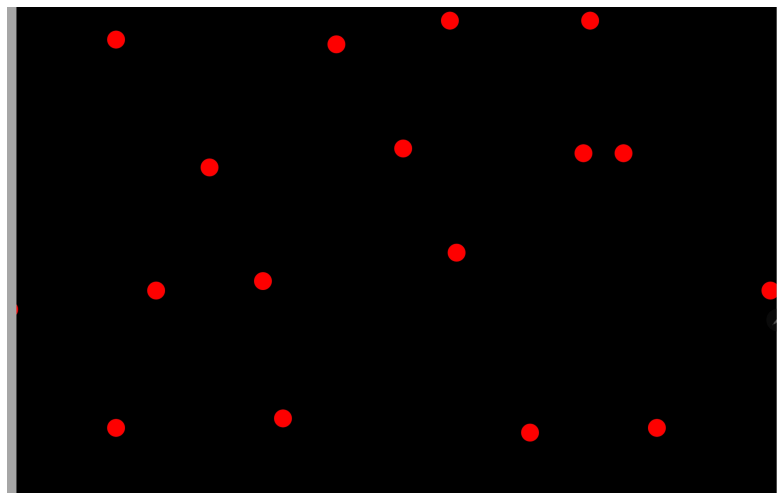
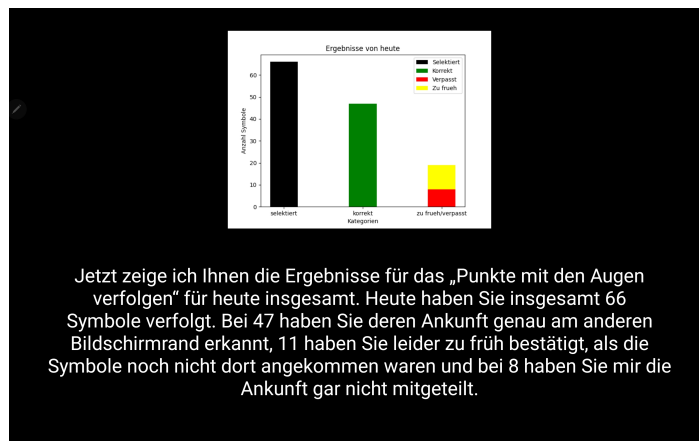


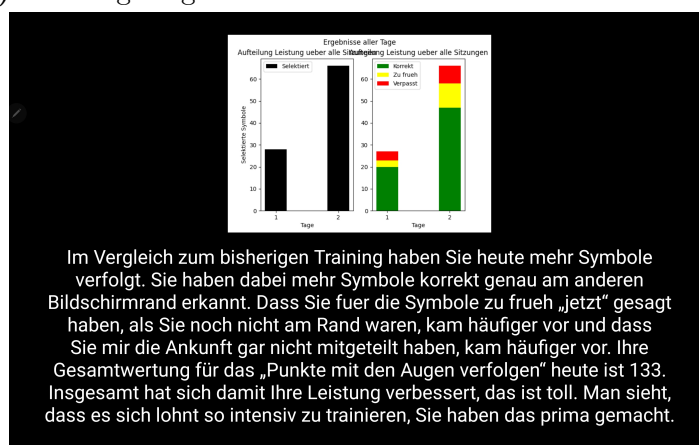
Abbildung 5.22: Bildschirmausschnitt einer OKS-Vorlage

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

In den Feedbackdiagrammen sehen die Patienten, wie gut sie die Runde absolviert haben. Das Diagramm zeigt, wie viele Symbole sie in den bisherigen Runden des Tages verfolgt haben, aufgeschlüsselt nach den Kategorien „zu früh“, „korrekt“ und „zu spät“. Wenn dies mindestens die zweite Sitzung ist, wird zudem ein Vergleich mit den Ergebnissen aus früheren Sitzungen angezeigt. Falls es sich um die letzte Übungsrunde handelt, folgt im Anschluss die nächste Übung. Andernfalls beginnt eine neue Runde der optokinetischen Stimulation.



(a) Leistungsdiagramm über alle OKS-Runden einer Sitzung



(b) Leistungsdiagramm für den Ergebnisvergleich über 2 Tage

Abbildung 5.23: Beispielhafte Ergebnisdiagramme für die Neglect-Training Übung 1: "optokinetische Stimulation"(OKS)

Einstellbare Faktoren für Optkinetische Stimulation (OKS):

- Auswahl, ob Symbole nach rechts oder links driften
- Die Anzahl der Runden (Standard: 5 Runden, jede 3 Minuten)
- Die Größe der Symbole für die erste Runde (Maximal 2 cm, Mindestens 0,5 cm)
- Ein linearer Faktor, der die Größe der Symbole für jede weitere Runde verkleinert
- Die Driftgeschwindigkeit der Symbole (Maximal 26 cm/Sekunde, Mindestens 3 cm/Sekunde)

Die Maximal- und Minimalwerte beziehen sich auf die einstellbaren Parameter der Anwendungen. So können die Symbole auf eine Größe zwischen 0,5 cm (Minimalwert) und 2 cm (Maximalwert) eingestellt werden. Dasselbe gilt analog für die Driftgeschwindigkeit. Diese beiden Variablen können praktisch den "Schwierigkeitsgrad" der Übung verändern.

5.3.6.3 2. Visuelle Exploration "Blicksakkaden"

Nach der einführenden Erklärung suchen sich die Patienten das gewünschte Zielsymbol und dessen Farbe und beginnen die Übung.

Es erfolgt eine bestimmte Anzahl an 3-Minuten Runden mit jeweils einem Feedback pro Runde. Innerhalb einer solche Übungsrunde wird eine Schleife durchlaufen, verglichen mit der Abbildung 5.24: Auf dem Monitor wird ein weißes Fixationskreuz gezeigt, dass auf demselben Fixationspunkt positioniert ist, wie bei der Vorbereitung der Sitzung. Nach einer kurzen Zeitverzögerung folgt ein hoher Signalton und das Kreuz wird rot. Nach einer Sekunde verschwindet dann das rote Fixationskreuz und die Übungsvorlage (mit einem Suchsymbol) erscheint. Auf dieser Vorlage sollen Patienten nun möglichst genau das Symbol berühren. Wurde dies gemacht, beginnt der Ablauf von vorne mit dem weißen Fixationskreuz. Dieses Grundkonzept wiederholt sich bis zum Ende der Runde. Der Roboter gibt auch hier durchgehend Anweisungen und animiert die Patienten für die Übung. Zusätzlich leistet er, wenn benötigt, auch Hilfestellung zur Findung des Symbols. Wurden die 3 Minuten erreicht, endet die Übung mit dem Berühren des dann letzten Symbols.

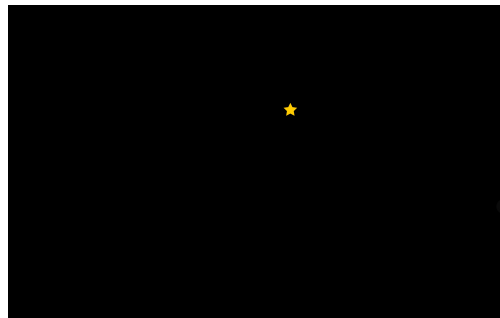
Am Ende der Runde erhalten die Patienten ein Feedback zu den in der aktuellen Sitzung durchgeführten Runden, siehe Abbildung 5.25. Dieses Feedback ist ähnlich aufgebaut wie das zur OKS-Aufgabe, das zuvor beschrieben wurde und zeigt beispielsweise wie viele Symbole insgesamt berührt wurden. Zusätzlich wird differenziert zwischen „genau

5.3 Ablauf der Robotertherapien im E-BRAiN Projekt

berührt“ und „nicht genau berührt“. Eine Besonderheit dieser Unterscheidung ist, dass die Patienten während der Suche nach einem Symbol auf der Vorlage den Bildschirm an beliebiger Stelle berühren dürfen, was als „Treffer“ gewertet wird. Selbst wenn ein Symbol nicht genau getroffen wird, gibt das System dennoch ein rein positives Feedback, beispielsweise „Sehr gut!“. Die Genauigkeit der Berührungen wird den Patienten ausschließlich im abschließenden Leistungsdiagramm angezeigt, was aus medizinischen Gründen so vorgesehen ist. Therapeuten können festlegen, bis zu welcher Runde das Symbol „flackert“, also abwechselnd sichtbar und unsichtbar ist. Dies dient als Hilfe für die Neglect-Patienten [99]. Diese Funktion wurde in der Applikation so gestaltet, dass das Symbol mit einem angenehmen Tempo sichtbar erscheint und verschwindet, indem es die Farbe des schwarzen Hintergrundes annimmt.



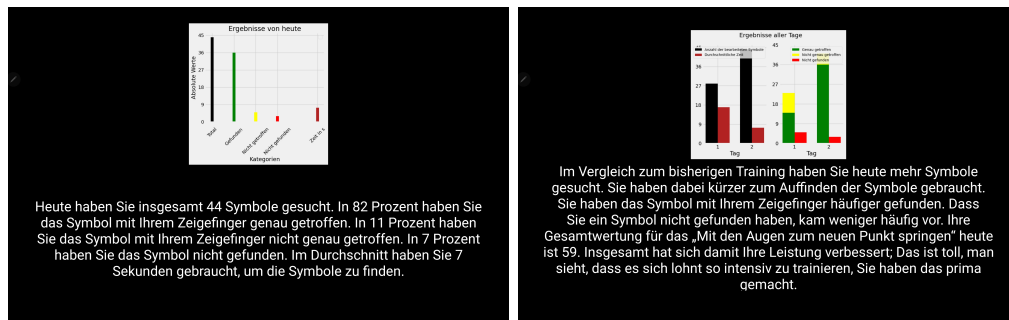
(a) Bildschirm mit dem weißen Fixationskreuz, Nach 3 bis 5 Sekunden ... (b) ... wechselt es zu einem roten Fixationskreuz und verbleibt 1 Sekunde...



(c) ... und wechselt nun zu einer Explorationsvorlage mit einem orangenen Stern als Zielreiz

Abbildung 5.24: Bildmaterial für Neglect-Training Übung 2: "Blicksakkaden"

5 Das Robotersystem



(a) Leistungsdiagramm über alle Run- **(b)** Leistungsdiagramm für den Ergeb-
den einer Sitzung nisvergleich über 2 Tage

Abbildung 5.25: Beispielhafte Ergebnis-Diagramme für die Neglect-Training Übung 2 "Blicksakkaden"

Einstellbare Faktoren Blicksakkaden:

- Die Anzahl der Runden (Standard: 5 Runden)
- Die Größe der Symbole für die erste Runde (max. 2 cm, min. 0,5 cm)
- Ein linearer Faktor, der die Größe der Symbole für jede weitere Runde verkleinert
- Die Auswahl der X.ten Runde, bis wann das Symbol blinkt

Die "Fehlermodus"-Hilfe für die Blicksakkaden: Ein wichtiges Element des Neglect-Trainings ist der "Hilfe"-modus. Finden Patienten das Symbol nicht, so wird ihnen das System helfen und ein Hinweis geben, wo sich dieses befindet. Technisch gesehen startet nach Erscheinen der Übungsvorlage ein interner kurzer Countdown. Nach Ablauf der Zeit erfolgt ein Hinweis-Prompt, welches dem Patienten ausgehend vom Fixationskreuz die ungefähre Symbolposition angibt. Die schematische Darstellung und technische Logik wird in Abbildung 5.26 dargestellt.

Konkret bedeutet dies beispielsweise, dass für die Abbildung 5.24c "Schauen Sie nach rechts Mitte, dort ist das Symbol." gesagt werden würde.

Sind wieder 5 Sekunden verstrichen, ertönt ein weiterer Prompt mit dem Hilfemodus. Falls auch in den darauffolgenden 5 Sekunden keine Berührung erfolgt. Gilt das Symbol als "Nicht gefunden" und das weiße Fixationskreuz wird eingeblendet und eine Vorlage erscheint.

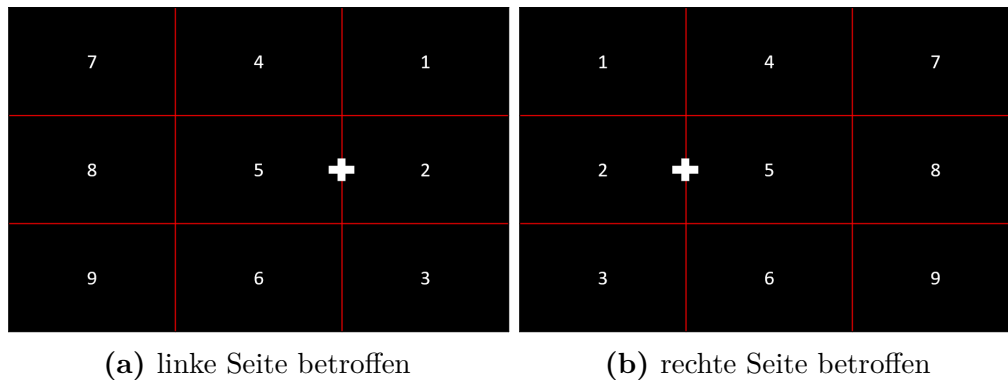


Abbildung 5.26: Schematische Darstellung des Hilfemodus-Feedbacks und kompensatorischer Suchstrategie. Links: Für eine betroffene rechte Seite: Die Reihenfolge der Symbole, auf die während des Hilfemodus mit Prompts aufmerksam gemacht wird. Rechts für eine betroffene linke Sichtfeldseite.

5.3.6.4 3a Visuelle Exploration: "Alle finden"

Zu Beginn dieser Übung wählen die Patienten ihr zu suchendes Zielsymbol. Anschließend folgt die Erklärung für die Übung. Bei dieser Übung wird -wie bei der "Blicksakkaden" Aufgabe- ein weißes Fixationskreuz dargestellt, welches sich kurz danach rot verfärbt und ein Signalton wird abgespielt. Danach erscheint eine "Explorationsvorlage" mit vielen Symbolen, wovon die Patienten alle Zielreize finden und berühren sollen. Die Vorlagen haben fünf Schwierigkeitsgrade, wobei ab Stufe 3 auch "Ablenker-Symbole" integriert sind. Diese Symbole dienen als Ablenkung und lassen einen "Fehler"-Ton erklingen, wenn diese berührt worden sind. Die Generierung der Übungsvorlagen erfolgt dynamisch und richtet sich nach den Werten der Tabelle 5.3.

In Grundzügen wurde die Interaktion in Abschnitt 5.3.6 beschrieben. Innerhalb der konfigurierten Übungsdauer in Minuten läuft die Übung in einer Schleife ab, die folgendem Schema folgt: (1) ein weißes Fixationskreuz, (2) ein hoher Signalton gefolgt von einem roten Kreuz und (3) die Bearbeitung der Explorationsvorlage.

Der Ablauf ist grundsätzlich so gestaltet, dass jede Sitzung mit einer Vorlage der Stufe 1 beginnt, vergleichsweise dargestellt wie in Abbildung 5.27a. Wenn die Patienten ein Zielsymbol zum ersten Mal berühren, ertönt ein hoher Signalton als positive Rückmeldung für den erfolgreichen Treffer. Zusätzlich gibt der Roboter ein positives Feedback wie „Prima“ oder „Gut“ wieder. Getroffene Symbole werden farblich hervorgehoben, indem

Stufe	Gesamtzahl der Stimuli	Davon Anzahl an Zielstimuli	Zusätzliche Angaben
1	9	9	9 gleiche Zielsymbole
2	18	18	18 gleiche Zielsymbole
3	27	19	19 gleiche Zielsymbole, 8 gleiche Ablenker-Symbole anderer Form und anderer Farbe
4	27	9	9 gleiche Zielsymbole, 18 gleiche Ablenker-Symbole anderer Form, aber gleicher Farbe wie das Zielsymbol
5	36	9	9 gleiche Zielsymbole, 27 gleiche Ablenker-Symbole anderer Form, aber gleicher Farbe wie das Zielsymbol

Tabelle 5.3: Darstellung der Explorationsvorlagen nach Stufen der Aufgabe 3a "Alle finden"

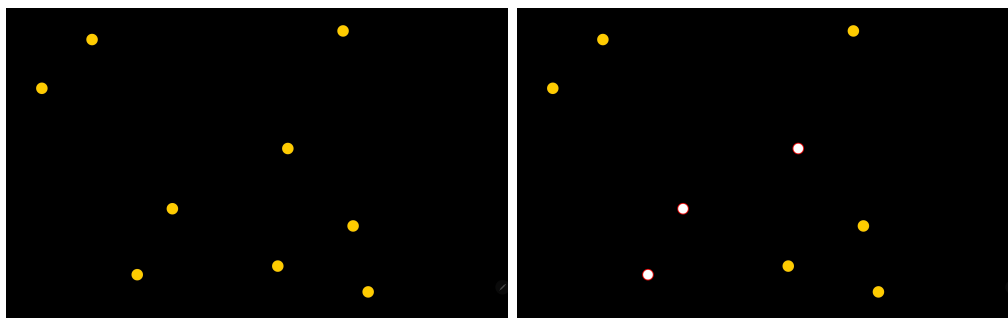
sie rot umrandet und weiß gefüllt dargestellt werden, siehe Abbildung 5.27b. Wird ein bereits getroffenes Zielsymbol erneut berührt, ein Ablenkensymbol ausgewählt oder daneben getippt, ertönt ein Signalton, ähnlich einem „Buzzer“. Der Roboter gibt daraufhin entsprechendes Feedback und fordert die Patienten auf, weiterzusuchen. Wurden alle Symbole gefunden oder ist im Rahmen des Fehlermodus zweimal keine Touch-Eingabe erfolgt, wird eine neue Vorlage eingeblendet. Haben die Patienten mindestens 90 % der Zielsymbole erfolgreich gefunden, wird eine Vorlage der nächsthöheren Stufe generiert. Ist bereits die höchste (fünfte) Stufe erreicht, erscheint eine neue Vorlage dieser Stufe. Bei einer Trefferrate unter 90 % wird eine Vorlage der niedrigeren Stufe verwendet, sofern es sich nicht bereits um die 1. Stufe handelt.

Fehlermodus für die visuelle Exploration 3a "Alle finden" Wenn 10 Sekunden nach dem Erscheinen der Vorlage oder nach der letzten Berührung keine weitere Interaktion erfolgt, wechselt das System in den Fehlermodus für diese Aufgabe. Ähnlich wie beim Fehlermodus der Blicksakkaden gibt der Roboter präzises Feedback darüber, wo sich die verbleibenden Symbole befinden. In dieser Übung gibt es jedoch mehrere Symbole, weshalb der Roboter den Patienten zusätzlich eine „Suchstrategie“ nahelegt. Wie in Abbildung 5.26 dargestellt, werden die noch nicht gefundenen Symbole in einer festgelegten Reihenfolge

5.3 Ablauf der Robottherapien im E-BRAiN Projekt

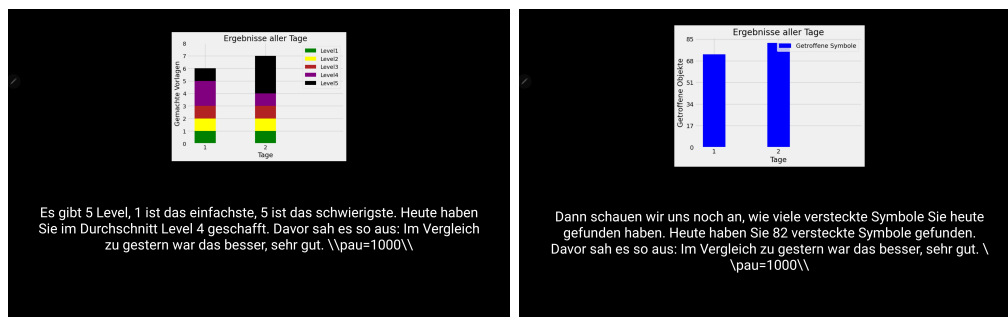
angezeigt. Das Feedback basiert auf einer Aufteilung des Monitors in neun rechteckige Bereiche, wie in der Abbildung 5.26 durch rot umrandete Flächen dargestellt. Die Zahlen in den rot umrandeten Rechtecken geben die Reihenfolge an, in der die Patienten auf die Bereiche hingewiesen werden, in denen sich noch Symbole befinden.

Ein Beispiel wird in Abbildung 5.26a dargestellt: Symbole oben links im Bild würden zuerst genannt werden, während Symbole unten rechts zuletzt angesprochen werden. Der Hinweis erfolgt in Form von Ansagen wie: „Schauen Sie ganz weit nach rechts unten, dort befindet sich ein Symbol.“



(a) Bildschirmausschnitt zum Start der Übung 3a "Alle finden".
(b) Bildschirmausschnitt während der Übung 3a "Alle finden". Einige Symbole wurden bereits gefunden und sind rot umrandet und weiß gefärbt.

Abbildung 5.27: Bildmaterial für die Übung 3a "Visuelle Exploration: Alle finden"



(a) Leistungsdiagramm für vollständig bearbeiteten Explorationsvorlagen über alle Tage
(b) Leistungsdiagramm für die Anzahl an gefundenen Symbolen über alle Tage

Abbildung 5.28: Ergebnisdiagramme für die Übungen 3a, 3b und 3c der "visuellen Exploration"

5.3.6.5 3b Visuelle Exploration: "Das andere finden"

Der Kern der Übung und Ablauf ist ähnlich zur Aufgabe 3a "Alle finden". Hier müssen die Patienten lediglich ein Zielsymbol finden. Hier sollen sich die Patienten ebenfalls für ein Symbol entscheiden und die Erklärung wird mit diesem auch durchgeführt. Die Tabelle 5.4 stellt das Schema der jeweiligen Stufen dar.

Fehlermodus für die visuelle Exploration 3b "Das andere finden" Der Fehlermodus ist hier wie bei der vorherigen Aufgabe 3a. Hier wird ebenfalls nach 10 Sekunden ohne Berührung ein Hilfsprompt ausgelöst oder nach dem 2. Hilfsprompt, eine neue Vorlage eingeleitet.

Stufe	Gesamtzahl der Stimuli	Davon Anzahl an Zielstimuli	Zusätzliche Angaben
1	9	1	1 Zielsymbol, 8 gleiche Ablenker-Symbole anderer Form und anderer Farbe
2	18	1	1 Zielsymbol, 17 gleiche Ablenker-Symbole anderer Form und anderer Farbe
3	27	1	1 Zielsymbol, 26 (2 x 13 jeweils gleiche) Ablenker-Symbole anderer Form und anderer Farbe
4	27	1	1 Zielsymbol, 26 (2 x 13 jeweils gleiche) Ablenker-Symbole anderer Form, aber gleicher Farbe wie das Zielsymbol
5	36	1	1 Zielsymbol, 35 (2 x 12, 1 x 11 jeweils gleiche) Ablenker-Symbole anderer Form, aber gleicher Farbe wie das Zielsymbol

Tabelle 5.4: Darstellung der Explorationsvorlagen nach Stufen der Aufgabe 3b "Das andere finden".

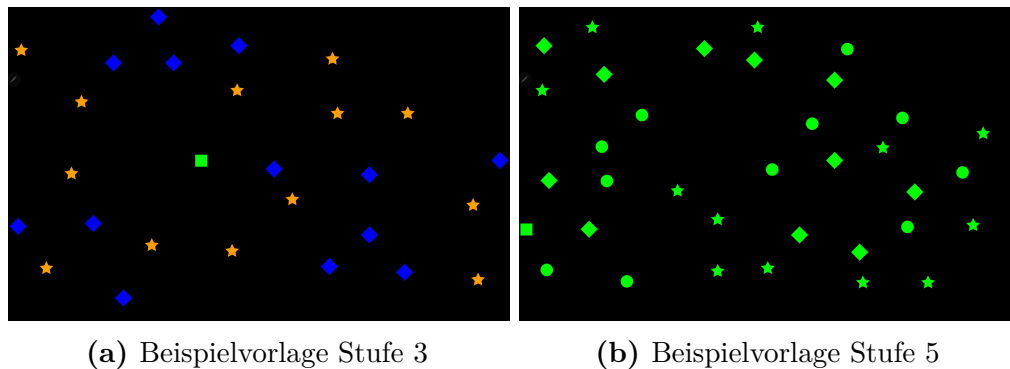


Abbildung 5.29: Explorationsvorlagen für NVT Übung 3b "Das andere finden"

5.3.6.6 3c Visuelle Exploration: "Objekte auf Fotos finden"

Bei dieser Aufgabe suchen Patienten auf einer Fotoserie nach den Zielobjekten. Hier gilt ein ähnliches Ablaufschema wie bei der Aufgabe 3a und 3b. Zu Beginn der Übung werden ihnen die vier vorhandenen Fotoserien "Kühe", "Fender", "Blumen" und "Fenster" angeboten. Die anschließende Übungserklärung erfolgt anhand des von ihnen ausgewählten Zielreizes, also der selektierten Fotoserie. Anders als bei anderen Übungen werden die Explorationsvorlagen hier jedoch nicht dynamisch generiert, sondern vorab erstellt. Jede Vorlage wurde manuell bearbeitet, klinisch geprüft und einer Schwierigkeitsstufe zugeordnet.

Alle Vorlagen basieren auf realen Fotografien. Hier war die technische Vorgabe, alle Zielreize -wie zum Beispiel Blumen- auf dem Monitor berührbar zu machen. Hierbei war es die Vorgabe des klinischen Teams, die korrekte getroffene Oberfläche eines Zielsymbols möglichst genau zu markieren. Dieser Ansatz erforderte die aufwändige, manuelle Erstellung von sogenannten "Maskenvorlagen" für jedes der 233 Fotos.

Der Prozess zur Erstellung dieser Masken umfasst das manuelle Umranden jedes Zielobjekts auf den Fotos. Die umrandeten Flächen wurden auf transparentem Hintergrund gespeichert und als PNG-Dateien exportiert. Die Fotos enthalten eine bestimmte Menge an Zielobjekten und jede Bildvorlage benötigt entsprechend viele Maskendateien.

Wird ein Zielobjekt richtig getroffen, ertönt ein Signalton und das Zielobjekt wird mit der zugehörigen Maske mit einer roten Farbe überdeckt. Die Vorlagen werden so lange

bearbeitet bis entweder alle Zielobjekte gefunden sind oder die Zeit für diese Vorlage abgelaufen ist. Auch hier starten Patienten mit einer Vorlage der 1. Stufe. Wie bei den Aufgaben 3a und 3b steigern Patienten den Schwierigkeitsgrad der Explorationsvorlagen wenn sie zumindest 90 % der Zielreize finden.

Die Erkennung, ob ein Zielobjekt durch die Berührung gefunden wurde, erfolgt durch die Überprüfung der Touch-Koordinaten. Jede Berührung liefert X- und Y-Koordinaten, die mit den Maskendateien der Bildvorlage abgeglichen werden. Dabei wird geprüft, ob an den berührten Koordinaten eine Fläche der Maske vorhanden ist und nicht Hintergrund (transparent) ist. Da sich die Masken nicht überlappen, kann in dieser Weise festgestellt werden, welches Zielobjekt getroffen wurde. Wenn ein Zielobjekt getroffen wird, sendet das System eine Nachricht an den Interaktionsserver. Dieser gibt die Anweisung, die entsprechende Maske anhand ihrer ID auf dem Monitor darzustellen. Dank des transparenten Hintergrunds wird nur das tatsächlich getroffene Zielobjekt sichtbar überdeckt.

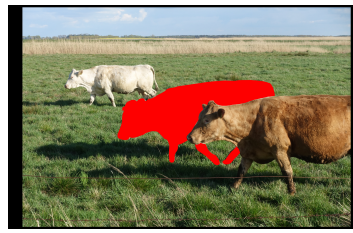
Fehlermodus für Aufgabe 3c "Objekte auf Fotos finden": Auch bei dieser Aufgabe gilt dasselbe Trainingsprinzip wie bei der Aufgabe 3a. Ziel ist es, den Patienten eine Suchstrategie zu vermitteln, die ihnen auch im Alltag hilfreich sein kann. Alle Masken wurden in einer separaten Listendatei einem der neun Quadranten zugeordnet, wie in den Abbildungen 5.26 dargestellt. Die Zuordnung eines Zielobjekts zu einem Quadranten erfolgte anhand des Anteils der Bildfläche, den das Objekt in diesem Quadranten einnimmt. Der Quadrant mit der größten Überlappung wurde für die Zuordnung ausgewählt.

Einstellbare Faktoren für die Übungen Visuelle Exploration (3a) "Alle finden", (3b) "Das andere finden" und (3c) "Objekte auf Fotos finden":

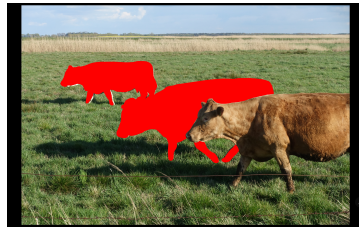
- Die Dauer in Minuten, wie lange die jeweilige Übung ausgeführt wird (Standard: 8 Minuten)
- Die Angabe, wie lange die minimale und maximale Dauer der Latenz zwischen dem weißen Fixationskreuz auf schwarzem Hintergrund und dem Erscheinen der Übungsvorlage in Sekunden (Standard: 5 Sekunden)
- Die Größe der Symbole (max. 2 cm, min. 0,5 cm) [Nur für 3a, 3b]



(a) Zu Beginn



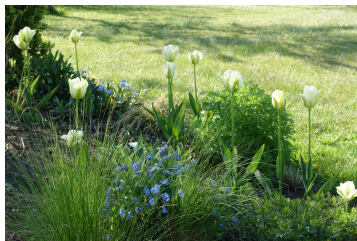
(b) 1 Kuh wurde gefunden



(c) 2 Kühe gefunden



(d) 3 Kühe gefunden



(e) Beispielvorlage der Blumen-Fotoserie, Stufe 5



(f) Beispielvorlage der Fenster-Fotoserie, Stufe 5

Abbildung 5.30: Bildmaterial für die Übung 3c "Visuelle Exploration: Objekte auf Fotos finden". Die oberen vier Bilder zeigen Bildschirmausschnitte einer Bildvorlage der "Kühe"-Fotoserie der 3. Stufe

5.4 Diskussion

In diesem Kapitel wurde das Robotersystem, die umgesetzten Therapien und ihre Entwicklung beschrieben. Zusammen mit der Evaluation im nächsten Kapitel 6 bilden diese beiden Kapitel den wichtigsten Teil meiner Dissertation.

Die wesentliche Methodik, die Software agil und iterativ zu entwickeln, haben wir bestmöglich versucht umzusetzen.

Die Abbildung 5.1 zur chronologischen Entwicklung zeigt nicht nur die wesentlichen Schritte, sondern auch den Aufwand, den wir während der Entwicklung hatten.

Für unser Robotersystem bestand primär (nur) die zentrale Anforderung, die Schlaganfalltherapien durch einen Roboter ausführen lassen zu können. Wie genau dies erfolgen soll, war die wesentliche Entwicklungsarbeit. Während des Projekts veränderten sich nicht nur die Ziele der Softwareentwicklung, sondern auch die Art der Kommunikation und die genutzte Methodik. Im Laufe der Entwicklung begegneten wir vor allem zwei Herausforderungen.

1. Initialer Fokus auf KI-Erkennung und hohe klinische Anforderungen. Zum einen startete das Projekt mit dem Ziel, die Bewegungen der AFT und ABT vollständig digital zu erfassen und die Therapien entsprechend umzusetzen. Die Gestaltungstreffen hatten bis dahin die Vision, wesentlich mehr digitale Erkennung durch Kameraerkennung und Übungsausführungen auf Tablets zu integrieren.

Die von mir und dem Lehrstuhl Softwaretechnik entwickelten Android-Apps (siehe 7.1) wurden bis zur Umplanung im Herbst 2020 auch soweit vorbereitet. Jedoch zeigte sich in Tests der anderen E-BRAiN Softwarearbeiten, dass eine Integration durch umfassende (3D-)Kameratechnik auch den hohen Sicherheits- und Ausfallstandards der klinischen Umgebung gerecht werden müsste. Dies würde wiederum zu höheren technischen und organisatorischen Aufwänden führen. Organisatorischer Aufwand bedeutet hier die zusätzlichen Schritte, die von den durchführenden Therapeuten bedacht werden müssen, wie z.B. Beachten der Kamerapositionen, was wiederum zu einer höheren Fehlerquote und Fehlfunktionen führen kann. Von diesem Zusatzaufwand wurde folglich für diese erste Roboterstudie abgesehen.

Mit dieser Entscheidung für eine analoge Therapiedurchführung änderten sich die Anforderungen deutlich. Teile meiner Arbeiten würden daher erst für spätere Roboterstudien benötigt werden. Rückblickend hätten einige personelle Kapazitäten anders eingesetzt werden können, um die Entwicklung leicht zu beschleunigen. Die bereits entwickelten Apps werden später vorgestellt. Auch ohne diese Umstände, wären diese digitalen Varianten entwickelt worden, jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt.

2. Covid-19 und die Folgen. Wie bereits in der Entwicklungsmethodik beschrieben, stellte die Covid-19 Pandemie und ihre Folgen das Projekt vor besonderen Herausforderungen. Zu Projektbeginn führten wir Vor-Ort Systemdemonstrationen durch, bis persönliche Treffen ab März 2020 untersagt wurden. Eine erneute Aufnahme der Prototyp-Demonstration war erst nach einiger Zeit wieder sinnvoll möglich, dank eines neu entwickelten Online-Tools ("virtuellen Roboter"). Dieses Tool wurde später aufgrund der positiven Erfahrungen beider Seiten in das Robotersystem integriert. Obwohl die

Entwicklung danach wieder besser voranschritt, hätten persönliche Treffen an manchen Stellen helfen können, um dem medizinischen Team besser die aktuelle Prototyp-iteration der Therapien besser zu präsentieren (siehe oberer Punkt 1).

Später sahen wir uns vermehrt mit mangelnder Teilnahmbereitschaft der Patienten konfrontiert, da diese um Ansteckungsrisiken zu vermeiden, nicht zwingend notwendige Treffen wie die Teilnahme an unserer Studie, vermeiden wollte. Aus diesem Grund erhielten wir auch weniger Feedback, als vermutlich ohne Covid-19 möglich gewesen wäre.

In Bezug auf die angesprochenen technischen Aspekte bei vergleichbaren Robotersystemen im Stand der Technik werden hier die umgesetzten Punkte genannt und die Erfahrungen dazu beschrieben.

Folgende Fragen wurden in Abschnitt 2.2 gestellt:

1. **Welche Systemarchitekturen lassen sich erkennen?:** Ähnlich wie in den beleuchteten Werken gestalteten wir die Systemarchitektur zentral und modular. Wie die dargestellten Arbeiten im Kapitel 2 von z.B. Shao et al. [37] und Winkle et al. [47] nutzen wir entsprechende Schnittstellen für Datenbankservices und dedizierte sprachliche Frameworks. Wir können bestätigen, dass eine modulare Architektur für unsere Anwendung praktisch zwingend notwendig war, um mit den sich verändernden Software- (und damit auch potentiell Hardware-)Anforderungen flexibel und erweiterbar zu bleiben.
2. **Wie viel der Programmlogik befindet sich im Roboter?:** Wie bereits im Stand der Technik beschrieben, existieren einige Roboterstudien, die die Programmlogik zumindest überwiegend auf dem Roboter ausführen. Diese Gestaltungsoption war hier nicht empfehlenswert. Aufgrund der Anforderung, dass der Roboter auch von außerhalb steuerbar sein muss, hat sich schnell gezeigt, dass es wesentlich praktikabler war, dass die Endgeräte (Roboter, Tablet) eher als schlanke Clients mit möglichst wenig Programmlogik (Thin Clients) agieren sollen. Dies hat den Vorteil, dass Softwareupdates nur an wenigen Stellen implementiert werden müssen.
3. **(3) Was sind häufig genutzte Frameworks und Programmiersprachen?:** Da für das Robotersystem früh eine modulare Architektur mit den Endgeräten als Thin-Clients angestrebt wurde, waren wir frei in unserer Wahl. Der Großteil der "Backend"-Anwendung wurde aufgrund der Vorerfahrung der Entwickler in Python geschrieben und nutzte etablierte Standardbibliotheken wie "numpy". Lediglich bei

der Implementierung auf den Android-Tablets und dem "Pepper"-Roboter waren wir auf die Programmiersprache Android/Java beschränkt. Innerhalb des Roboters waren wir an die Nutzung des vom Hersteller vorgeschriebenen Android-Frameworks gebunden. Erwähnenswert ist die Nutzung des weitverbreiteten Kommunikationsprotokolls "MQTT" (wofür alternativ auch ROS hätte verwendet werden können), aufgrund der Vorerfahrungen des IT-Teams mit dieser Technik.

4. **Inwieweit wurde künstliche Intelligenz eingesetzt?:** Das hier vorgestellte Robotersystem nutzt in dieser Iteration eindeutige Regeln für seine Aktionen. Lediglich Zufallsvariationen wurden erwünscht. Im Rahmen dieser Dissertation wurde dennoch ein Framework zum "interactive machine learning" für ein adaptives Feedbacksystem im späteren Abschnitt 7.2 vorgestellt und vorbereitet. Weitere Zusätze wie etwa KI-"Chatbots" sind grundsätzlich eine wertvolle künftige Erweiterung.

Erfahrungen anderer Forscher

Mataric [175] sagt aus, dass ein soziales Robotersystem für Schlaganfallrehabilitation eine hohe Intensität an Training und ein ansprechendes und nutzerfreundliches System bieten sollte. Feingold-Polak et al. [20] greifen diese Punkte auf und empfehlen zusätzlich:

- (1) Aufgabenvariation: Demnach sollten sich Systeme an eine Vielzahl unterschiedlicher Patienten mit unterschiedlichen Graden an Einschränkung anpassen können und verschiedene "Schwierigkeitsgrade" anbieten können.
- (2) Kommunikation: Die gegebenen Instruktionen sollten einfach mit steigender Komplexität und langsam und deutlich erklärt werden. Gleichzeitig sollte aber die Reaktionszeit des Roboters so schnell wie Mensch-Mensch-Interaktionen [176] sein, da in deren Studien eine Roboterreaktionszeit von länger als 4-5 Sekunden als langsam erschien und daher Frustration auslöste.
- (3) Müdigkeitsmanagement: In ihren Studien zeigten Patienten regelmäßig Zeichen von Erschöpfung und sollten daher die Möglichkeit erhalten, sich auszuruhen oder die Sitzung zu beenden.
- (4) Feedback und Belohnung: Feedback ist notwendig für das motorische Lernen und sollte in Art und Frequenz so gegeben werden, dass es das Training positiv beeinflusst.
- (5) Personalisierung des Systems und der Interaktion: Patienten in diesen Studien betonten den möglichen Vorteil, dass das System und die Interaktion sich zu der

jeweiligen Aufgabe und den Bedürfnissen der Patienten automatisch anpasst.

Für die oben genannten Punkte von Mataric et al. und Feingold-Polak et al. werden hier die umgesetzten Punkte im E-BRAiN System beschrieben. Beginnend mit dem (1) erstgenannten Punkt von Feingold-Polak et al. wurde im E-BRAiN System eine umfassende soweit möglich Konfigurationsmöglichkeit implementiert. Die Therapien der AFT, ABT und ST bestehen aus einzelnen, einfachen Bewegungen der Hände und Arme. Grundsätzlich führen die Patienten diese Therapieübungen nur so weit aus, wie sie können. Daher ist dieser Punkt hier als umgesetzt zu betrachten.

(2) Die Sprachausgabe des Roboters erfolgt laut und deutlich, was auch innerhalb der Usability-Interviews in Kapitel 6 bestätigt wurde. Auch eine angemessen schnelle Reaktionszeit wurde verifiziert, wobei einzelne Abschnitte für einzelne Patienten als etwas zu langsam empfunden wurden.

(3) Die Möglichkeit, sich ausruhen zu können, lag für die Patienten jederzeit vor. Zusätzlich wurden zwischen den Übungen Pausen im Therapiesskript eingebettet.

(4) Das Feedback ist ein besonderes Augenmerk der grundlegenden Therapien. Hierbei wurde mit den Feedbackkonzepten der "Knowledge of Performance" (KP) und "Knowledge of Result" (KR) [177] gearbeitet. Konkret erhalten die Patienten je nach Art der Therapie das passende Feedback, das sich nach dem Typ der Übungsleistung unterscheidet. In den Therapien der AFT und NVT erhalten Patienten KR-Feedback und in der ST und ABT KP-Feedback. Grundsätzlich ist die AFT und NVT ergebnisorientiert und Patienten sollen ein Ziel in kürzerer Zeit oder in einer bestimmten Zeit ein zählbares Ergebnis erreichen. Umgekehrt reicht es bei der ABT und ST aus, dass Patienten die Bewegungen ausführen, ohne dass ein messbares Zielergebnis vorliegt.

(5) Der letztgenannte Punkt der Personalisierung des Systems und der Interaktion ist zum Teil vorhanden, da die Konfiguration vor allem mit den eingegebenen Patientendaten arbeitet. Fortlaufende, automatische Anpassungen des Systems über mehrere Sitzungen oder innerhalb der Sitzung sind zu bestimmten Teilen vorhanden. Diese Funktionalität können in einer zukünftigen Version des Systems ausgebaut werden. Grundsätzlich wurde dieser Punkt aber im Forschungsprojekt E-BRAiN nicht benötigt.

5.5 Lessons Learned

Im weiteren Verlauf werden hier die wichtigsten Erfahrungen des Autors mit dem Robotersystem und seiner Entwicklungsarbeit mit dem medizinischen Team dargestellt.

Diese Hinweise sollen gleichermaßen Praktikern und anderen Forschenden helfen. Primär sollen hier Denkanstöße für zukünftige Robotersystementwicklungen gegeben werden.

Die Entwicklungsprototypen sollten so früh wie möglich in einer realen Einsatzumgebung erprobt werden. Dass in der agilen Softwareentwicklung möglichst anforderungsnahe Benutzerszenarien erprobt werden sollen, ist keine Neuigkeit. Ich möchte hier stattdessen aus der Erfahrung der interdisziplinären Zusammenarbeit die Behauptung bekräftigen, dass die gemeinsame Gestaltung am Echtzeit-System deutlich am produktivsten war. Konkret half es im Rahmen unserer Entwicklung (1) dem medizinischen Team die von mir erstellte Benutzererfahrung (UX) des Robotersystems besser zu verstehen und die Anforderungen zu präzisieren. Dabei wurden nicht nur meine technische Umsetzung analysiert, sondern auch die von den Therapeuten selbst vorgeschlagenen Inhalte untersucht und revidiert. Gleichzeitig (2) verstand ich aus der Beschreibung des Feedbacks und Reaktionen des klinischen Teams mit dem realen System den Verbesserungsbedarf besser. In der Abbildung 5.1 wird ebenfalls eine beginnende Arbeitslastspitze ("Peak") der Entwicklungsarbeit ab dem Monat Mai 2021 deutlich. Ab diesem Zeitpunkt befanden sich alle Geräte an den Studienorten. Softwareänderungen konnten nun deutlich schneller an die tatsächliche Bedürfnisse der Therapeuten angepasst werden. Rückblickend vergleiche ich die formative Entwicklungsphase davor teilweise mit einer kreativen Exploration, welche Funktionen und Abläufe am hilfreichsten für die Therapeuten wären.

Möglichst präzise Ansteuerung und Kontrolle des Systems zu allen Schritten der Therapie. Als das wichtigste gewünschte Feature zur Steuerung der Therapie hat sich die "Ansteuerung" des Systems zu jedem möglichen Zeitpunkt erwiesen. Es kam aus verschiedenen Gründen dazu, dass bei einer Sitzung z.B. etwas wiederholt werden muss. Dazu zählten auch Systemausfälle oder Pausen während einer Therapiesitzung. Aus der gesammelten Erfahrung behaupte ich, dass die Steuerung der Therapie möglichst präzise für nicht-technisches Personal möglich sein sollte. Dies hat den inhärenten Vorteil, dass das Personal im Falle von Problemen auch am schnellsten reagieren

können.

Das Team hinter dem Robotersystem leistet weiterhin einen wichtigen Beitrag, ob Patienten die Therapie weiterverfolgen. Die Patienten kommen mit Erwartungen an die Studie heran, um mit innovativer Technologie eine Chance auf Heilung zu haben. Der Studienroboter besitzt aber oft nicht die technische Leistungsfähigkeit, um als echter, sozialer Therapeut zu gelten und die oft -subjektiv- vernommene Monotonie der Interaktion dämpft die Attraktivität, mit dem Robotersystem weiter zu interagieren. Die menschliche Interaktion rund um das E-BRAiN Projekt leistete einen nicht geringen Beitrag, um die Studienteilnehmer zur vollständigen Durchführung der Roboterstudie zu motivieren, speziell vor und nach den Therapiesitzungen.

Eine schnelle Verfügbarkeit eines technischer Supports ist wichtig. Wie bei den Arbeiten von Levy-Tzedek et al. [20] zeigte sich auch bei E-BRAiN, dass technische Hilfe häufig benötigt wurde.

Die Unterstützung, die ich als praktisch alleiniger technische Support leistete, war vielseitig. Dabei handelte es sich selten um kritische Fehler, die den ordnungsgemäßen Betrieb des Systems verhinderten, auch wenn solche gelegentlich auftraten. Häufiger waren es jedoch kleinere Unregelmäßigkeiten oder unvorhergesehene Probleme, die das medizinische Team verunsicherten. Beispielsweise konnte das System ungewöhnlich lange für die Initialisierung der Therapie benötigen oder eine vorangegangene Therapiesitzung war nicht korrekt abgeschlossen, was den Start einer neuen Sitzung verhinderte.

Dies führte unter Umständen zu Verwirrungen und es war stets hilfreich, dass das klinische Team einen technischen Support telefonisch schnell erreichen konnte. Auch in den Fällen, dass ein technischer Eingriff nicht notwendig war, so konnte durch die Zusicherung und Bestätigung, dass kein Fehler vorliegt, eine Störung des organisatorischen Ablaufs mit anwesenden Patienten oft verhindert werden.

Möglichkeit der Fehlerbehebung seitens des klinischen Teams. In Ergänzung zum vorangegangenen Punkt war die Möglichkeit der einfachen Fehlerbehebung und Diagnose seitens des klinischen Teams von großer Hilfe. Durchführende Therapeuten konnten im Hauptmenü beispielsweise einzelne Services des Linux-Systems neu starten. Die Fehlerdiagnose wurde im E-BRAiN System mit einer einfachen Statusanzeige realisiert. Diese zeigt an, ob einer der Hauptkomponenten aktiv oder inaktiv ist, wie in Kapitel 5 beschrieben. In Fällen, in welchen der technische Support benötigt wurde, hat es die Fehlersuche eingrenzen können.

Im nächsten Kapitel "Evaluation" wird das implementierte System geprüft und ausgewertet.

6 Evaluation des Systems

In diesem Kapitel wird die Evaluation des Robotersystems dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Technologieakzeptanz und der Usability des Systems ¹. Die Ergebnisse interpretiere und diskutiere ich im Kontext der Forschungsfragen. Anschließend präsentiere und analysiere ich die Entwicklung der Patientenergebnisse anhand der leistungsorientierten AFT und das Neglecttraining sowie die Systeminteraktion. Abschließend werden zusätzliche Erfahrungen der Therapeuten mit dem Robotersystem beschrieben.

Nach einer Einführung in die theoretischen Grundlagen der beiden Methoden stelle ich die eingesetzte Forschungsmethodik und den Ablauf der Evaluationsstudie dar.

6.1 Evaluation Technologieakzeptanz und Usability

6.1.1 Theoretische Grundlagen

Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen theoretischen Hintergründe zur Technologieakzeptanz und Usability-Analyse erläutert, die für die vorliegende Evaluation von Bedeutung sind.

¹Die Arbeiten basieren auf den Publikationen: **(1)** Umlauft, A., Forbrig, P. (2024). Evaluation of a Social Robot System for Performance-Oriented Stroke Therapy. In: Harrison, M., et al. Engineering Interactive Computer Systems. EICS 2023 International Workshops and Doctoral Consortium. EICS 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14517. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59235-5_3, **(2)** Thomas Platz, Alexandru-Nicolae Umlauft, Ann Louise Pedersen and Peter Forbrig. Technology Acceptance and Usability of a Therapy System with a Humanoid Robot Serving as Therapeutic Assistant for Post-Stroke Arm and Neurovisual Rehabilitation—An Evaluation Based on Stroke Survivors' Experience Biomimetics 2025, 10(5), 289; <https://doi.org/10.3390/biomimetics10050289>

6.1.1.1 Technologieakzeptanz

Hier werden die wichtigen Begriffe Akzeptanz und Technologieakzeptanz aus dem Blickwinkel der Informatikforschung beschrieben. Anschließend werden die grundlegenden Modelle und Theorien zur Akzeptanz dargestellt, die schließlich auf das für diese Arbeit selektierte Modell hinführen.

Begriffe und Definition der Akzeptanz

Die heutigen Anforderungen des Marktes und der Gesellschaft ermöglichen und fordern zunehmend schnellere Innovationszyklen. Um die Innovationen erfolgreich zu machen, sollten die Entwickler eine hohe Akzeptanz bei den Nutzern anstreben. Denn je höher die Akzeptanz und je besser die Bedürfnisse des Nutzers erfüllt werden, umso effizienter können technologische Innovationen genutzt und Widerstände in der Adoption überwunden werden. Idealerweise sollten Akzeptanzstudien einer technologischen Innovation bereits frühzeitig in der Entwicklungsphase integriert werden. Eine akzeptanzorientierte Technikgestaltung kann den erfolgreichen Markteintritt von Innovationen verbessern und auch die Usability verfeinern [178].

Der Begriff "Akzeptanz" wird je nach Kontext vielfältig und sowohl auf materielle als auch immaterielle Sachverhalte angewandt [179]. Beispielsweise werden auch in Wissenschaftsdisziplinen wie der Meinungs-, Politik-, Umwelt- und Risikoforschung ebenfalls Akzeptanzstudien durchgeführt [180].

Eine Definition der Akzeptanz im Kontext moderner Medien lautet: „Akzeptanz (acceptance) steht im Widerspruch zum Begriff Ablehnung und bezeichnet die positive Annahmeentscheidung einer Innovation durch die Anwender“ [181]. Diese Definition lässt sich auf alle Arten von Innovationen anwenden und ist ebenso auf den Begriff der Technologieakzeptanz übertragbar. Dabei ist anzumerken, dass eine hohe Technologieakzeptanz nicht zwangsläufig bedeutet, dass die betreffende Person die Technologie tatsächlich verwendet. Vielmehr zeigt sie eine grundsätzliche Offenheit und die Bereitschaft, eine Nutzung in Erwägung zu ziehen.

Die Akzeptanz ist ein implizites Konstrukt, das sich nicht direkt quantifizieren lässt. Stattdessen werden zugrunde liegende (verhaltensbezogene) Konstrukte untersucht, um Einblicke zu gewinnen. Hierbei kommen Akzeptanzmodelle zum Einsatz, die darauf abzielen, die Entstehung und Ausprägung von Akzeptanz zu erklären.

Die TAM-, UTAUT und ALMERE- Technologieakzeptanzmodelle

In diesem Unterabschnitt werden zunächst die Grundlagen von Technologieakzeptanzmodelle und deren wichtigste Weiterentwicklungen beschrieben. Anschließend wird das im Rahmen der Evaluation verwendete ALMERE-Modell vorgestellt. Hiermit werden die Voraussetzungen gebildet, um die Ergebnisse in Abschnitt 6.6 zu behandeln. Die Erforschung der Technologieakzeptanz wird oft unter Verwendung des Ansatzes der "Technology Acceptance Modeling" (TAM) [182] durchgeführt. Aus der kontinuierlichen Akzeptanzforschung entwickelte [182] und publizierte Davis 1989 [183] das Technology Acceptance Model (TAM). Dieses Modell basiert auf der "Theory of Reasoned Action" [184]. Die Abbildung 6.2a zeigt die zentrale Grundstruktur des Modells.

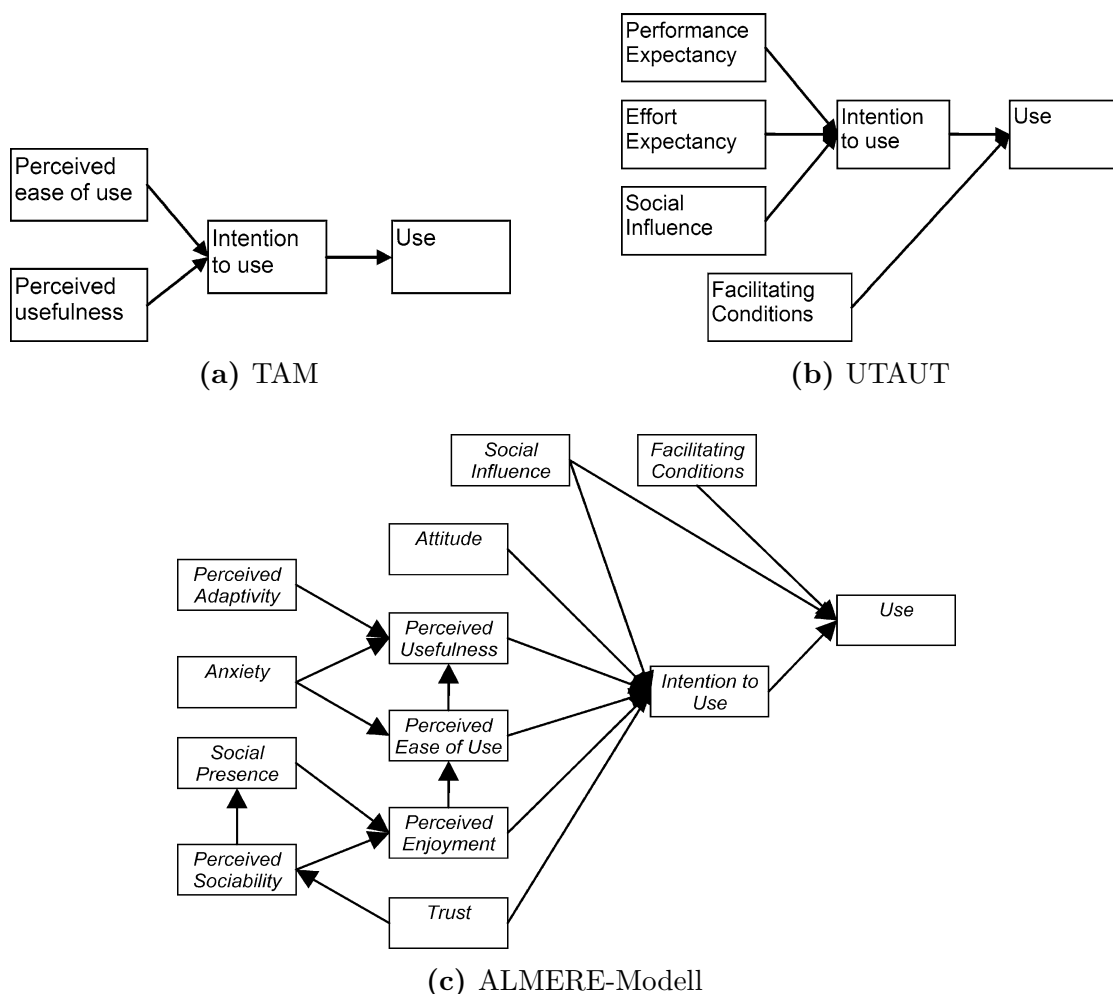


Abbildung 6.1: Gegenüberstellung der Modellkonstrukte der TAM, UTAUT und "Almere" Technologieakzeptanz-Modelle [185].

Die TAM setzt folgende Konstrukte in Verbindung:

- **Externe Variablen:** dies sind Einflussfaktoren, die das Verhalten indirekt beeinflussen, dazu zählen z.B. (Job-)Training, Erfahrungen anderer Nutzer, soziale Einflüsse
- **Wahrgenommene Nützlichkeit:** referenziert den Empfindungsgrad, inwieweit das System die Arbeitsleistung verbessern kann
- **Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit:** bezieht sich auf die Wahrnehmung, wie Einfach die Nutzung der Anwendung ist
- **Einstellung zur Nutzung:** die positive oder negative Haltung gegenüber der Technologie
- **Nutzungsabsicht:** die Absicht oder Bereitschaft, die Technologie tatsächlich zu nutzen
- **Tatsächliche Nutzung:** die echte (messbare) Verwendung der Anwendung

Wie im Modell dargestellt haben Konstrukte, die mit Pfeilen auf andere deuten, einen Einfluss auf jene. Die externen Variablen beeinflussen die wahrgenommene Nützlichkeit und wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit. Die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit hat einen Einfluss auf die wahrgenommene Nützlichkeit und beide wirken auf die Einstellung zur Nutzung ein. Wiederum beeinflussen die Einstellung zur Nutzung und die wahrgenommene Nützlichkeit die Nutzungsabsicht. Schließlich führt die Nutzungsabsicht zur tatsächlichen Nutzung der Anwendung. Die ursprüngliche TAM bietet eine Grundlage, um die Akzeptanz unterschiedlichster Technologien zu beschreiben. Das Modell ist im Vergleich zu den späteren Werken zur Akzeptanzforschung recht allgemein gehalten. Besonders im Bezug auf die externen Variablen konnten nur ein Teil der Einflussfaktoren erfasst werden.

Davis präsentierte mehrere Erweiterungen der TAM mit TAM2 und TAM3 sowie die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). Das letztgenannte Modell wird im Weiteren in den Grundzügen vorgestellt.

Der TAM-Fragebogen versucht die Meinung der Individuen zu bestimmten Konstrukten wie die „Wahrgenommene Nützlichkeit“ (perceived usefulness) und „Wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit“ (perceived ease of use) einer Technologie zu erfassen. Mit solchen Konstrukten kann der Hauptprädiktor der tatsächlichen Nutzung des Systems bestimmt werden [185].

Unified Theory of Acceptance

2003 wurde das Modell „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (UTAUT)

von Venkatesh et al. [186] unter Beteiligung von Davis publiziert. Es ist im Vergleich zu anderen Konzepten der damaligen Zeit keine simple Ergänzung der TAM. Stattdessen sollte eine Vereinheitlichung mehrerer Modelle in einem gelingen. Das Modell wird in Abbildung 6.2b präsentiert.

Die beiden wichtigsten Konstrukte aus der TAM (und TAM 2) sind auch Bestandteil der UTAUT. Das wichtigste Konstrukt "Nutzungsabsicht" ist die zentrale Einflussgröße zur tatsächlichen Nutzung. Ergänzend sind hier folgende Konstrukte eingefügt worden:

- **Erwartete Leistung:** Dies entspricht der "wahrgenommenen Nützlichkeit" (PU) im TAM-Modell und ist das Empfinden, das eine Anwendungsnutzung die Leistung verbessert [186]:
- **Erwarteter Aufwand:** Dies ist das Äquivalent zur "wahrgenommenen Nutzerfreundlichkeit" in der TAM und beschreibt die Wahrnehmung, wie einfach das System zu nutzen ist [186].
- **Sozialer Einfluss:** Dieser Begriff beschreibt die Wahrnehmung, dass andere Personen der Meinung sind, man solle die Technologie nutzen.
- **Erleichternde Bedingungen:** Dies entspricht teilweise den "externen Variablen" aus dem TAM [186]. Hier werden Schulungseinheiten, Dokumentationen oder technische Infrastruktur gemeint, die die Technologienutzung erleichtern.
- **Nutzungsabsicht und Tatsächliche Nutzung:** Dies sind die jeweiligen Äquivalente zum TAM: die Intention zur Nutzung und die tatsächliche Nutzung der Anwendung [186].

Der soziale Einfluss, erwartete Leistung und erwarteter Aufwand beeinflussen die Nutzungsabsicht. Das Konstrukt ist -parallel zur TAM- die maßgebliche Größe zur Bestimmung der tatsächlichen Nutzung. Zusätzlich haben die erleichternden Faktoren einen direkten Einfluss auf die tatsächliche Nutzung. Ergänzend werden die "Moderator-Variablen" Geschlecht, Alter, (Technologie-)Erfahrung und Freiwilligkeit eingeführt.

Ergänzend werden an dieser Stelle die historische Weiterentwicklung der TAM- und UTAUT-Modelle beschrieben. 2008 wurde das TAM 3 präsentiert [187]. Das Modell erweiterte das TAM 2 wesentlich und baute auf den Erkenntnissen aus dem UTAUT-Modell. Im Vergleich zur TAM 1 kommen insgesamt 11 weitere Konstrukte hinzu, die die beiden Hauptkonstrukte "wahrgenommene Nützlichkeit" und "wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit" beeinflussen. Dazu gehören z.B. "wahrgenommenes Vergnügen", "Computerängstlichkeit",

”Wahrnehmung der externen Kontrolle” und ”Berufliche Relevanz”. Die Einzelheiten der Erweiterungen der UTAUT und TAM Modelle werden im weiteren Rahmen dieser Dissertation nicht tiefergehend behandelt.

Andere Autoren arbeiteten an Anpassungen der Akzeptanzmodellen zu bestimmten Domänen. Eine dieser Domänen waren die Akzeptanzforschung zu Robotern und konkreter zu sozialen Robotern. Ein entsprechendes Modell ist das Almere-Modell.

Das Almere-Modell zur Technologieakzeptanzmodellierung von sozialen Robotern.

Die TAM- und UTAUT-Modelle berücksichtigen bei der Technologieakzeptanz weder die sozialen Aspekte der Interaktion mit verkörpertten Agenten wie Robotern oder Bildschirmfiguren, noch wurden sie spezifisch für ältere Nutzer entwickelt [185]. 2010 stellten Heerink et al.[185] das Almere-Modell vor. Es wurde speziell entwickelt, um die Akzeptanz von sozialen Agenten bei älteren Nutzern zu testen. Mit ”älteren” Nutzern beziehen sich Heerink et al. auf Menschen in Altenheimen sowie auf selbstständig lebende Senioren.

Da das Almere-Modell sich für diesen Fall als das am Besten geeignete Technologie-Akzeptanzmodell darstellte, wurde dieses für die Usability-Analyse verwendet.

Heerink et al. haben ihr Modell erprobt und ihre Ergebnisse in vergangenen Werken bestätigt. Dabei erklären sie, dass vor allem die Attitüde gegenüber Technologie ein wichtiger Faktor für die Intention zur Nutzung ist.

Im weiteren Verlauf wird das Almere-Modell im Vergleich zu den anderen Modellen detaillierter beschrieben. Abbildung 6.2 veranschaulicht die unterschiedlichen Ansätze des ursprünglichen TAM, des UTAUT und des Almere-Modells.

Die Abbildung 6.2c zeigt die hypothetischen Konstrukturelationen des Almere-Modells.

1. Die Nutzung (Use) wird durch die Nutzungsabsicht (Intention to Use) bestimmt und beeinflusst durch den sozialen Einfluss und förderliche Bedingungen (facilitationg conditions).
2. Die Nutzungsabsicht (intention to use) wird bestimmt durch wahrgenommene Nützlichkeit (Perceived Usefulness), Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit (Perceived Ease of Use), Attitüde (Attitude), wahrgenommene Freude (Perceived Enjoyment), sozialer Einfluss (Social Influence) und Vertrauen (Trust).
3. Wahrgenommene Nützlichkeit wird bestimmt durch wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit (Perceived Ease of Use), wahrgenommene Anpassungsfähigkeit (Perceived Adaptability) und Angst (Anxiety).

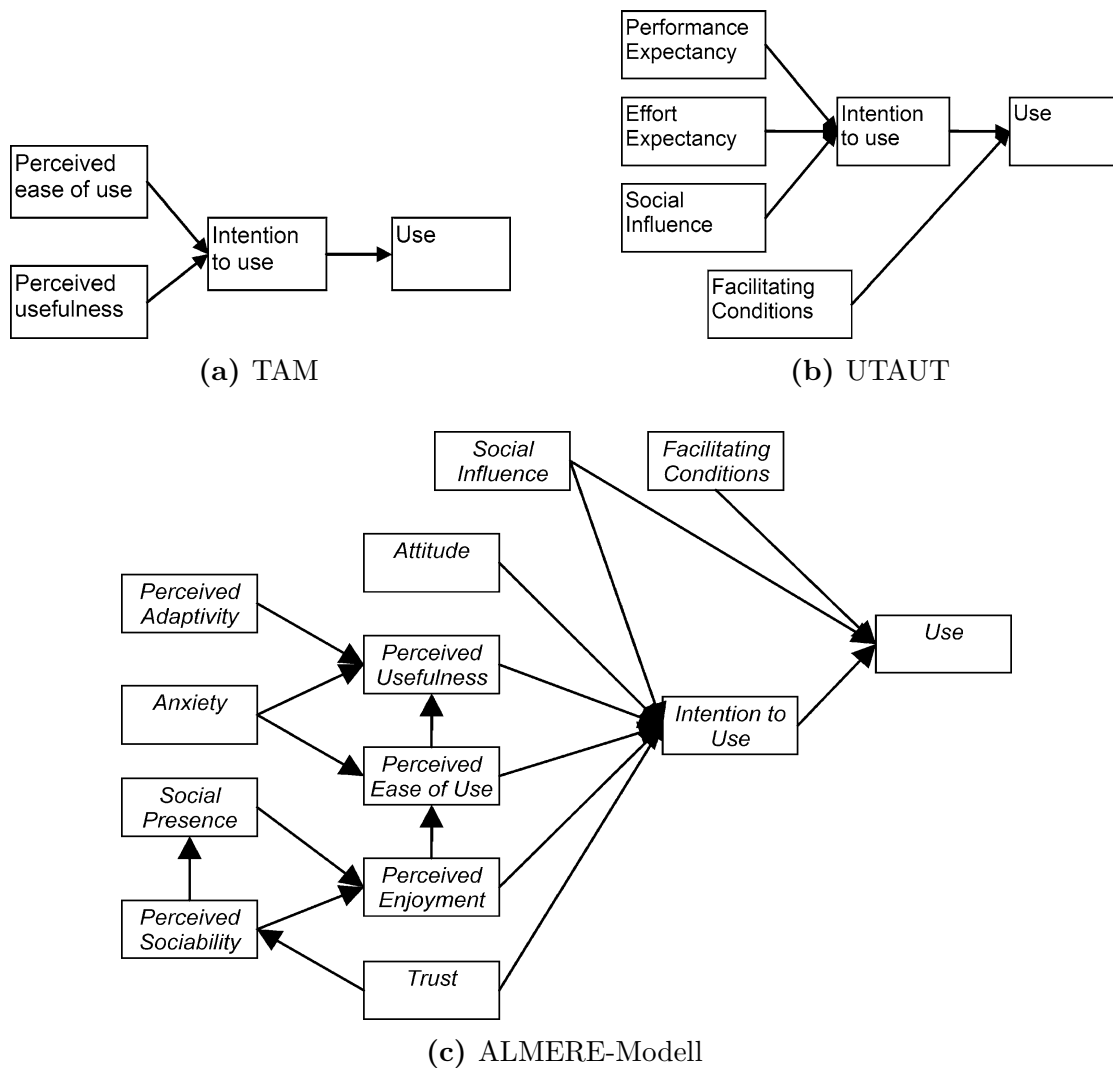


Abbildung 6.2: Gegenüberstellung der Modellkonstrukte der TAM, UTAUT und "Almere" Modelle [185]. Jedes Modell hat eine unterschiedliche Zusammensetzung, wie sie die Technologie-Akzeptanz beschreiben und bestimmen.

4. Die wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit wird bestimmt durch die Konstrukte Angst und wahrgenommene Freude.
5. Wahrgenommene Freude wird bestimmt durch wahrgenommene Geselligkeit (Perceived Sociability) und soziale Präsenz (Social Presence).
6. Wahrgenommene Geselligkeit wird durch Vertrauen bestimmt.
7. Die soziale Präsenz wird durch die wahrgenommene Geselligkeit bestimmt

6 Evaluation des Systems

Das UTAUT-Modell wurde in vielen Studien getestet und validiert. Heerink et al. nahmen es daher als Basis für ihre Betrachtungen und ihre Experimente. In ihrer Studie beobachteten sie in mehreren Versuchen, wie das von ihnen vorgeschlagene Almere-Modell in Anwendungen für soziale Roboter die Akzeptanz erklärte. Das Almere-Modell enthält die in Tabelle 6.1 dargestellten Konstrukte:

Konstrukt	Definition	Aussage
Anxiety	Evoking anxious or emotional reactions when it comes to using the system	1, If I should use the robot, I would be afraid to make mistakes with it 2, If I should use the robot, I would be afraid to break something 3, I find the robot scary 4, I find the robot intimidating
Attitude towards technology	Positive or negative feelings about the appliance of the technology	5, I think it's a good idea to use the robot 6, The robot would make life more interesting 7, It's good to make use of the robot
Facilitating conditions	Factors in the environment that facilitate use of the system	8, I have everything I need to use the robot 9, I know enough of the robot to make good use of it
Intention to Use	The intention to use the system over a longer period in time	10, I think I'll use the robot during the next few days 11, I'm certain to use the robot during the next few days 12, I plan to use the robot during the next few days
Perceived adaptiveness	The perceived ability of the system to adapt to the needs of the user	13, I think the robot can be adaptive to what I need 14, I think the robot will only do what I need at that particular moment 15, I think the robot will help me when I consider it to be necessary
Perceived Enjoyment	Feelings of joy/pleasure associated with the use of the system	16, I enjoy the robot talking to me 17, I enjoy doing things with the robot 18, I find the robot enjoyable 19, I find the robot fascinating 20, I find the robot boring
Perceived Ease of Use	The perceived ability of the system to perform sociable behavior	21, I think I will know quickly how to use the robot 22, I find the robot easy to use 23, I think I can use the robot without any help 24, I think I can use the robot when there is someone around to help me 25, I think I can use the robot when I have a good manual
Perceived Sociability	The perceived ability of the system to perform sociable behavior	26, I consider the robot a pleasant conversational partner 27, I find the robot pleasant to interact with 28, I feel the robot understands me 29, I think the robot is nice
Perceived Usefulness	The degree to which a person believes that the system would be assistive	30, I think the robot is useful to me 31, It would be convenient for me to have the robot 32, I think the robot can help me with many things

6.1 Evaluation Technologieakzeptanz und Usability

Social Influence	The persons perception that people who are important to him think he should or should not use the system	33, I think the staff would like me using the robot 34, I think it would give a good impression if I should use the robot
Social Presence	The experience of sensing a social entity when interacting with the system	35, When interacting with the robot I felt like I'm talking to a real person 36, It sometimes felt as if the robot was really looking at me 37, I can imagine the robot to be a living creature 38, I often think the robot is not a real person 39, Sometimes the robot seems to have real feelings
Trust	The belief that the system performs with personal integrity and reliability	40, I would trust the robot if it gave me advice 41, I would follow the advice the robot gives me
Use	The actual use of the system over a longer period in time	-

Tabelle 6.1: Konstrukte des Almere-Modells (der übersetzte Fragebogen befindet sich im Anhang A.9)

Die Konstrukte "Performance Expectancy", "Effort Expectancy" -welche in "Perceived Usefulness" und "Perceived Ease of Use" umbenannt wurden-, "Social Influence", "Facilitating Conditions", "Intention to Use" und "Actual Use" wurden vom UTAUT-Modell [186] übernommen und adaptiert.

Perceived Usefulness. Die "wahrgenommene Nützlichkeit" (in UTAUT Modell "Performance Expectancy") das Maß, zu welchem ein Nutzer glaubt, dass die Nutzung des Systems ihm helfen wird, einen Zugewinn seiner Arbeit zu erhalten. Wie vorhin beschrieben, ist dies nicht direkt auf eine Therapiesituation übertragbar und wurde hier von Heerink et al. entsprechend adaptiert.

Im UTAUT-Modell sind fünf Konstrukte enthalten, die zusammen den "wahrgenommenen Nutzen" [188] abbilden: "perceived usefulness", "extrinsic motivation", "job-fit", "relative advantage" und "outcome expectations". Die "Performance Expectancy" ist der stärkste Prädiktor (bzw. Vorhersagefaktor) der Intention innerhalb jedes individuellen Modells [186].

Perceived Ease of Use. Die "wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit" [188] wird als der Grad der Mühe zur Nutzung des Systems definiert [186]. Venkatesh et al. unterscheiden hier drei Konstrukte: "perceived ease of use", "complexity", "ease of use". Venkatesh et al. merken auch an, dass diese Ähnlichkeiten aufweisen [182] [189] [190] [191]. Weiterhin wird erwähnt, dass "Effort"-orientierte Konstrukte zu Beginn der Nutzung eines Systems stärker beeinflussen, aber mit längerer Nutzung weniger bedeutend werden [182] [192] [193].

Social Influence. Venkatesh et al. [186] beschreiben im UTAUT-Modell den "sozialen Einfluss" [194] als das Maß, inwieweit ein Nutzer wahrnimmt, dass andere erwarten, dass er das neue System nutzen soll. Dabei stellten sie hier die Hypothese auf, dass die Faktoren Geschlecht, Alter, Freiwilligkeit (der Nutzung) und Erfahrung von Bedeutung sind. In ihrer Arbeit hielten sie als Ergebnis fest, dass der soziale Einfluss tatsächlich stärker auf Frauen, insbesondere auf ältere Frauen, wirkt.

Facilitating Conditions. Die "unterstützenden Bedingungen" [194] werden von Venkatesh et al. definiert als der Grad, inwieweit ein Individuum glaubt, dass eine strukturelle und technische Infrastruktur existiert, um das System zu unterstützen. Diese Definition schließt drei verschiedene Konstrukte mit ein: "perceived behavioral control", "facilitating conditions" und "compatibility". Jede dieser Konstrukte modelliert Aspekte der technologischen und/oder organisationalen Umgebung, die geschaffen wurden, um Barrieren zur Nutzung zu entfernen [186].

Perceived Enjoyment. Heerink et al. haben in mehreren Studien herausgefunden, dass die „wahrgenommene Freude“ [188] einen positiven Einfluss auf die Nutzungsintention eines Anwenders haben kann [195] [196] [197] [198]. Sie betonen zudem, dass soziale Agenten in der Altenpflege zwar nicht primär als Unterhaltungssysteme konzipiert sind. Dennoch stellt Cheney [196] fest, dass das „Freude“-Konstrukt ein wesentlicher Bestandteil von Akzeptanzmodellen für Robotersysteme sein kann. Auch in nutzenorientierten Systemen bleibt die wahrgenommene Freude ein signifikanter Faktor für die Akzeptanz, wie Sun und Zhang beschreiben [197]. Die entsprechenden Fragestellungen wurden von Heerink et al. direkt aus den Arbeiten von Davis et al. [195] adaptiert.

Attitude. Im ursprünglichen UTAUT-Modell wird das Konstrukt der „Einstellung“ bzw. der „positiven oder negativen Gefühle gegenüber der Anwendung der Technologie“ nicht berücksichtigt [188]. Venkatesh et al. begründen den Ausschluss dieses Konstrukts damit, dass es nur dann einen signifikanten Beitrag leistet, wenn das Modell ansonsten

keine Konstrukte für Leistungserwartungen und Aufwandserwartungen enthält. Da das UTAUT-Modell häufig für produktivitätsorientierte Systeme wie Büroanwendungen oder industrielle Anlagen entwickelt wurde, wurde die „Einstellung“ nicht als zentrale Variable integriert. Heerink et al. hingegen konnten in drei von vier Experimenten nachweisen, dass die Einstellung zur Technologie einen der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention sozialer Robotersysteme darstellt [185].

Anxiety. Im UTAUT-Modell ist das Konstrukt der „Ängstlichkeit“ ebenfalls nicht enthalten. Es handelt es sich um die emotionale Reaktion oder die Furcht, die durch die Nutzung eines Systems hervorgerufen werden kann [188]. Venkatesh et al. begründeten den Ausschluss dieses Konstrukts damit, dass dessen Effekt bereits durch die Leistungserwartung abgedeckt wird und somit keinen eigenständigen signifikanten Beitrag liefert. Innerhalb dieses Konstrukts sind die Aussagen negativ gewertet [199]. Das bedeutet, dass eine Antwort wie „Ich stimme (überhaupt) nicht zu“ auf die Aussage „Ich finde den Roboter gruselig“ als eine positive Haltung gegenüber der Akzeptanz des Systems zu bewerten ist. Anders ausgedrückt: Eine Ablehnung solcher negativ formulierten Aussagen wird als Zustimmung für die Akzeptanz des Roboters gesehen.

Social Presence. Heerink et al. differenzieren in ihrer Arbeit das Konstrukt der „sozialen Präsenz“ [188] in die beiden Dimensionen „sozial“ und „Präsenz“. Da Menschen oft intuitiv mit Technologie interagieren, als ob diese eine soziale Entität wäre, wird hier ein sozialer Faktor integriert. Heerink et al. definieren „Präsenz“ zusätzlich als das subjektive Gefühl, sich in der Nähe einer sozialen Entität zu befinden. Auf Basis einer ihrer früheren Arbeiten zu Akzeptanzmodellen [200] wurde erwartet, dass das Gefühl der Präsenz steigt, wenn ein System so wahrgenommen wird, dass es mehr soziale Fähigkeiten hat und die wahrgenommene Freude stärker ist, wenn das Gefühl der Präsenz stärker empfunden wird. Folglich vermuten Heerink et al. eine Verbindung zwischen sozialen Fähigkeiten und dem Gefühl der Präsenz. Heerink et al. entnehmen die Fragen aus der Arbeit von Bailenson et al. [201].

Perceived Sociability. Dieses Konstrukt der "wahrgenommenene Fähigkeit des Systems [...] soziales Verhalten zu zeigen" [188] haben Heerink et al. in einer früheren Arbeit untersucht und wurde durch andere Forscher bestätigt [200, 202]. Dort wird behauptet, dass Roboter soziale Fähigkeiten benötigen, um als assistive Geräte zu funktionieren. Umgekehrt werden auch die soziale Akzeptanz von physischen Robotern und digitalen Agenten benötigt. In einer späteren Arbeit [203] bestätigten sie den Einfluss dieses Konstrukts auf die soziale Präsenz und die wahrgenommene Freude. Die Fragen stammen aus ihren früheren Arbeiten [200, 203].

Trust. Das Konstrukt des "Vertrauens" wird in der Literatur der Mensch-Roboter-Interaktion [204, 205, 206, 186] als fundamentale Einflussgröße in der Mensch-Roboter-Interaktion gesehen. Nach diesen Werken hat Vertrauen einen direkten Einfluss auf die Intention der Nutzung. Das Konstrukt des Vertrauens ist verbunden mit der sozialen Fähigkeit oder Verhalten der Technologie. Soziale Roboter mit besseren sozialen Handlungsfunktionen können schneller Vertrauen erzeugen [185].

Perceived Adaptivity. Die wahrgenommene "Anpassungsfähigkeit" des Gerätes [188] zielt auf den Umstand ab, dass sich die Leiden bzw. Krankheiten der älteren/pflegebedürftigen Menschen sich über die Zeit verändern [185]. So wird die Mobilität nach einer Hüftoperation eventuell wieder hergestellt oder das Gehör mit der Zeit schlechter. Die Unterstützung, die geleistet werden muss, sollte in der Lage sein, sich ebenfalls zu verändern. Laut den Werken von Camarinha-Matos et al. [207] und Pew et al. [208] ist die Adaptivität ein wichtiger Punkt für alternde Nutzer. Heerink et al. beschreiben, dass die Nutzer das System als nützlicher betrachten und es eher akzeptieren, wenn diese wahrnehmen, dass das System sich auf ihre Bedürfnisse anpasst [185].

6.1.1.2 Usability

Definition und Abgrenzung

Die "International Standard Organization (ISO) 924111" definiert Usability als "the extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use" [209]. Anders gesagt ist die Usability das Maß, wie einfach es für Nutzer ist, eine Aufgabe präzise und effizient mithilfe eines Systems zu erledigen [210].

Das Testen der Usability unterscheidet sich grundlegend von der Messung der Technologieakzeptanz. Die Technologieakzeptanz zielt darauf ab, die Nutzungsintention und das

spätere Verhalten der Nutzer eines Informationssystems vorherzusagen und verwendet dabei abstrakte Konstrukte, um das Verhalten der Nutzer zu erklären. Die Ergebnisse solcher Modelle sind jedoch eher nicht darauf ausgerichtet, konkrete Verbesserungsvorschläge für das Systemdesign abzuleiten. Um die Benutzerfreundlichkeit eines Systems zu optimieren, sind spezifischere Methoden wie Usability-Tests erforderlich.

Nach Nielsen [211] stellt das Testen mit realen Nutzern die effektivste Methode dar, um Usability zu bewerten. Solche Tests helfen, die Herausforderungen zu identifizieren, denen Nutzern während der Interaktion mit einem System begegnen, und Lösungen zu entwickeln, die aus der Perspektive der Endnutzer nützlich sind. Dabei konnte in der Vergangenheit gezeigt werden, dass der Einfluss von Endnutzern während der Entwicklungsphase viele Vorteile mit sich brachte.

Das primäre Ziel von Usability-Tests liegt darin, problematische Punkte zu finden und spezifische Empfehlungen zu geben, um die Nützlichkeit eines Systems in seinem Design zu verbessern [212]. Dabei wird versucht, präzise und umsetzbare Rückmeldungen zu sammeln, um das System aus Nutzersicht zu optimieren. Dabei geht es nicht darum, jedes Usability-Problem zu erkennen, sondern vielmehr Pfade zur Weiterentwicklung des Systems aufzuzeigen. Hierbei ist es entscheidend, das Ziel der Tests klar zu definieren, da dies maßgeblich bestimmt, welche Aspekte des Systems untersucht werden und wie die Tests durchzuführen sind.

In der Usability-Forschung wird häufig die Methode des "lauten Denkens" verwendet [211] und eignet sich in den meisten Usability-Tests. Bei diesem Verfahren werden repräsentative Benutzer eingeladen, repräsentative Aufgaben mit einem zu bewertenden System durchzuführen, und sie zu Wort kommen lassen, was die Benutzer während den Aufgaben denken. Die Testpersonen sollen möglichst nicht nur sagen, was sie gerade tun, sondern bestenfalls auch die Gründe ihrer Handlungen beschreiben. Hierbei können möglicherweise die kognitiven Prozesse rekonstruiert werden. Der Vorteil dieser Methode liegt in einer schnellen Identifikation, wie das Interface und die Inhalte von den Endnutzern wahrgenommen werden.

Andere häufige Methoden wären [212]:

1. **Heuristische Metriken:** Mittels festzulegenden Metriken auf Grundlage von Usability-Prinzipien analysieren Experten die Anwendung und bewerten inwieweit diese Prinzipien eingehalten worden sind.
2. **Empirische Methoden mit Hypothesen-Untersuchung:** Mit dieser Methode können spezifische Hypothesen zur Usability durch gezielte Experimente mit repräsentativen Nutzern geprüft werden.
3. **Pluralistischer Walkthrough:** Eine Gruppe aus Experten, Designern, Entwicklern und potentiell auch Endnutzern bewertet gemeinsam Szenarien um Usability-Probleme aus verschiedenen Perspektiven zu identifizieren.
4. **Kognitiver Walkthrough:** Experten prüfen, ob Nutzer typische Aufgaben in einem System erfolgreich durchführen können. Sie bewerten schrittweise mögliche Probleme in der Verständlichkeit, Sichtbarkeit und Bedienbarkeit.

Nielsen [211] empfiehlt, vor dem Beginn der Tests die Testziele und einen Plan festzulegen. Um das Interface als Erfolg zu betrachten, verweist Nielsen [211] auf die Nutzung von quantitativen Kriterien. Aber es könnten auch weniger konkret gefasste Kriterien sein, wie "keine neuen Usability-Probleme mit einem Schweregrad höher als 3".

6.1.2 Forschungsmethode

Zur Erforschung des Gesamteindrucks des Robotersystems wurde eine Technikakzeptanzumfrage und Usability-Interviews durchgeführt, veröffentlicht in [213] und [214]. In diesem Kapitel wird der Ansatz zur Erhebung und Analyse der Daten vorgestellt. Wie in Forschungsfrage 2 in Abschnitt 1.3 beschrieben, sollen mit der Erkundung der Akzeptanz und Usability der Einsatz eines sozialen Roboters in einer Schlaganfalltherapie geprüft werden. Der folgende Abschnitt vermittelt die wesentlichen Schritte mit der Auswahl der Methode, Durchführung der Datenerhebung und Auswertung.

Experimentelles Design

Zur Erkundung der Akzeptanz und Usability des Robotersystems werden Fragebogen zusammen mit den Patienten ausgefüllt und ein Usability-Interview durchgeführt.

Auswahl des Akzeptanzmodells: In Abschnitt 6.1.1.1 wurden die Grundmodelle der TAM- und UTAUT-Modelle und das Almere-Technologieakzeptanzmodell vorgestellt. Alle Modelle wurden in anderen Werken vielfach angewandt, wobei die TAM und

UTAUT-Modelle aufgrund ihres Alters und universal ausgerichteter Akzeptanzerfassung größere Bekanntheit besitzen. Dennoch sind spezialisierte Modelle wie das Almere-Modell besser geeignet, da diese passendere Konstrukte und Fragen für das Roboterszenario einsetzen.

Usability-Interview mit Endnutzern: Das Ziel der Usability-Studie war eine Untersuchung, welche Features und Designentscheidungen für die Patienten hilfreich sind oder sein können. Mit diesen Erkenntnissen kann zum einen die bestehende Nutzererfahrung bewertet werden und zum anderen können neue Impulse für Softwarefeatures für ein zukünftiges Robotersystem gewonnen werden.

6.1.2.1 Durchführung der Datenerhebung

Im weiteren Verlauf ist der Datenerhebungsvorgang abgebildet. Dabei wird auf den Aufbau des Fragebogens und die Durchführung eingegangen. Mit den teilnehmenden Patienten wurde eine Sitzung zur Evaluation des Robotersystems vereinbart. Innerhalb einer Sitzung wurde die (1) Beantwortung des Fragebogens und (2) das Usability-Interview mit einem Patienten durchgeführt.

Konstrukt	Frage	Seite	Quelle
Akzeptanz	1-41	Seite 2-3	Heerink et al. [185]
Ergänzende (quantitative) Fragen zum System	42-44	Seite 4	Selbsterstellt
Offene Fragen	45-48	Seite 4-5	Selbsterstellt
Persönliches Feedback (Freitext)	49	Seite 5	Selbsterstellt

Tabelle 6.2: Aufbau des Fragebogens

Aufbau des Fragebogens

Das Ziel der Usability-Studie war eine Untersuchung welche Features und Designentscheidungen nützlich sind oder wären, um daraus Verbesserungsmöglichkeiten für ein zukünftiges Robotersystem zu sammeln.

Fragen zur Akzeptanz: Das in Abschnitt 6.1 vorgestellte Technologieakzeptanzmodell "Almere" wurde eingesetzt. Die Fragen wurden zusammen mit dem medizinischem Team in das Deutsche übersetzt. Die weiteren Fragen sind zusätzliche Fragen neben dem Almere-Technologieakzeptanz-Fragebogen und wurden von mir erstellt.

Allgemeine Fragen zum System: Hier werden drei Fragen gestellt, die den Gesamteindruck des Patienten bezüglich des Robotersystems erweitern. Das Ziel bestand darin, für zukünftige Projektförderungen messbare Daten zu erfassen, wie die Patienten das System explizit wahrnehmen und bewerten. Obwohl diese Fragen zu einem gewissen Grad bereits in den Akzeptanz-Items erfasst werden, dienen diese hier als weitere Indikatoren für das Engagement der Patienten und ob eine solche Robotertherapie auch in Zukunft eingesetzt werden sollte.

Die Teilnehmer wurden gebeten zu den folgende Aussagen anzugeben, ob sie diesen (eher) zustimmen oder diese (eher) ablehnen (5-Punkte Likert Skala):

1. Ich denke, es ist eine gute Idee, einen Roboter in der Schlaganfalltherapie einzusetzen
2. Ich denke, es macht Sinn, diese Therapie mit dem Roboter als Ergänzung zu meiner Therapie einzusetzen.
3. Eine Therapiesitzung mit dem Roboter macht Spaß.

Offene Fragen: Ähnlich wie bei den allgemeinen Fragen, sollten hier Freitextantworten möglich sein, um beliebige Punkte zu erfassen und die vorigen quantitativen Ergebnisse besser erklären zu können. Hier werden Fragen gestellt, welche Punkte für die Befragten am positivsten und negativsten waren, welche technischen Punkte ergänzt werden können und wie der Roboter als Therapeut wirkte. Diese offenen Fragen sollen zum Nachdenken anregen, um die bestehenden Systemfunktionen zu bewerten und möglicherweise neue gewünschte Features aufzudecken.

Die genutzten Fragen waren:

1. Was hat Ihnen bei diesem System (und Ihrer Therapie) am besten gefallen?
2. Was hat Ihnen an diesem System (und Ihrer Therapie) am wenigsten gefallen?
3. Wenn Sie eine Sache an diesem System ändern oder hinzufügen könnten, was wäre das?
4. Bitte denken Sie nun über Ihre Erfahrung mit dem E-BRAiN System insgesamt nach: Wie fanden Sie die Therapie mit dem Roboter? Was denken Sie über den Roboter als Therapeuten?

Persönliches Feedback (Freitext): Hier wurde durch eine weitere offene Frage ("Gibt es etwas, was Sie uns noch über das System sagen wollen?") den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben, zusätzliche Anmerkungen, Kritik oder Hinweise zu äußern, die in den vorigen Fragen nicht erfasst wurden. Methodisch war hier das Ziel, explorative, zusätzliche Informationen zu gewinnen, um das Verständnis der vorangegangenen Ergebnisse zu vertiefen.

Der vollständige Fragebogen ist im Anhang A.9 zu finden.

Usability-Interviews

Grundsätzlich sollen die Usability-Interviews mit der Methode des "lauten Denkens" durchgeführt werden. Die Grundlagen einer Usability-Evaluation wurden im vorigen Abschnitt 6.1.1.2 erläutert. Ich erstellte einen strukturierten Ablaufplan, der auch Fragen für den Fall enthält, dass ein Patient sich nicht ausreichend zum System äußert. Dies soll helfen, eine konsistente Vergleichbarkeit zu erhalten und die Datenerfassung zu optimieren. Der Usability-Test -beschrieben in Tabelle 6.3- wurde stets nach dem Ausfüllen des Fragebogens ausgeführt. Der Test wurde nach den Empfehlungen u.a. von Nielsen [211] durchgeführt. Die Ansätze von Nielsen sind im Bereich der Usability-Forschung weit verbreitet. Sie bieten strukturierte und praktische Leitlinien zur Durchführung von Usability-Evaluierungen. Dazu zählen Punkte wie die Schaffung einer möglichst angenehmen Testatmosphäre und das Nutzen der "lautes Denken"-Technik. Zu Beginn des Interview-Teils erhalten Patienten eine kurze Anweisung für die Usability-Evaluation. Den Patienten wird nochmals ausdrücklich gesagt, dass das Robotersystem getestet wird, und nicht sie selbst. Dies soll den mentalen Druck des Interviews reduzieren. Wenn es organisatorisch möglich war, konnten Interviews im selben Therapieraum mithilfe eines aktiven Robotersystems durchgeführt werden. Dies war in neun von elf Interviews der Fall. In diesen Fällen wurde den Patienten angedeutet, dass Sie keine Übungen ausführen und sich auf das laute Denken konzentrieren sollen. Bei zwei Interviews (P3 und P4) war unglücklicherweise der Raum der Robotertherapie belegt. Wir führten dann stattdessen ein klassisches strukturiertes Interview mit denselben Grundfragen des Usability-Guides unmittelbar. Insofern konnten wir aus der retrospektiven Betrachtung [215] die Evaluation durchführen.

Selektion von repräsentativen Aufgaben für die Studie: Für die zu bestimmenden repräsentative Aufgaben wurde der Ablauf vom Therapiestart bis zum Ende der ersten Übung ausgewählt. Der Grund dafür ist, dass die Therapien zu Beginn und Ende recht ähnlich sind und die Aufgabenerläuterung der Übungen recht ähnlich sind. Insofern konnte mit dieser Länge ein ausreichender Eindruck über die Impulse der Patienten gewonnen werden. In diesem Abschnitt würden Patienten die allgemeine Einleitung zur Therapie, mit dem Tablet mehrere Eingaben auf dem Tablet ausführen und den jeweiligen Erklärungstext der Übung mit der anschließend Ausführung durchlaufen.

6 Evaluation des Systems

Durchführung: Anschließend wird sich nach dem Usability-Plan orientiert. Zunächst wird eine weitere kurze Einleitung zu den nachfolgenden Schritten gegeben. Anschließend startet das Robotersystem und der Patient wird gebeten, seine Gedanken zu teilen. Für den Fall, dass ein Patient bestimmte Punkte nicht anspricht, wird der Interviewer ihn auf diese Punkte ansprechen.

Aus ethischen Gründen wurde auf Audioaufnahmen der Interviews verzichtet. Nach einem Schlaganfall sind Patienten häufig von kognitiven Einschränkungen und Sprachstörungen betroffen.

Abschnitt	Frage	Hintergrund
Beginn- bis 1. Erklärungs- schritt	Was denken Sie, wenn Sie das fertige System vor sich haben?	Ermittlung erste Eindrücke.
	Wie wirkt der Einführungstext des Roboters auf Sie?	Ermittlung erste Eindrücke.
	Wenn der Roboter Ihnen eine Frage stellt, wie können Sie diese auf dem Tablet beantworten?	Impuls für Gedanken rund um Layout und Design.
	Wie finden Sie die Fragen zur Motivation?	Die Fragen waren ein optionaler Teil des psychologischen Teams. Hier soll die Frage Aufschluss geben, wie die tägliche Beantwortung der Fragen auf die Patienten wirkt und ob diese in dieser Form beibehalten werden sollen.
Zum Start der Übungserklä- rung	Was denken Sie über die einzelnen Erklärungsschritte der Übung?	Die Erklärungsschritte sind je nach Therapie unterschiedlich. Hier war es das Ziel, mehr über das Empfinden der Erklärungsdauer und Nachvollziehbarkeit zu erfahren.
	Wie finden Sie die Präsentation der Übungserklärung?	Hier sollen die Gedanken zu der parallel durchgeführten Übungserklärung beschrieben werden.
	Schauen Sie eher auf den Roboter oder das Tablet?	Die Medieninhalte werden auf Tablet und Roboter gleichzeitig dargestellt. Hier soll erfragt werden, worauf sich die Patienten mehr konzentrieren.
Während der Übung	Wie verhält sich das System während der Übungsausführung	Hier sollen z.B. die Interaktion, Reaktionstempo, Funktionalität des System beschrieben werden.
Nach Ende der Übung	Wie empfanden Sie es, mit dem E-BRAiN System diese Aufgabe zu machen?	Die Übungsausführungen sind die zentrale und wichtigste therapeutische Maßnahme der Therapie. Zum einen wird hier nach dem Gesamteindruck der Übungsausführung gefragt. Je nach Therapie erscheint hier zusätzlich ein Leistungsdiagramm der Übung, auf welches sich hier bezogen werden soll.

6.1 Evaluation Technologieakzeptanz und Usability

Am Ende	Auf einer Skala von 1-5: Wie zufrieden sind Sie mit dem E-BRAiN System für die Therapie?	Gesamteindruck des Systems (mit aktivem Roboter).
	Wie beschreiben Sie Ihre Erfahrungen mit dem System?	Eindruck des Patienten, wie sie die Therapie beschreiben würden.
	Wie fanden Sie die genutzte Sprache des Roboters?	Für das System wurden umfangreiche Sprachinhalte bereitgestellt und ein Framework für den Satzbau verwendet. Hier sollen die generellen Eindrücke des System beschrieben werden.
	Was sind Ihre Gedanken zum Design und Layout des Tablets und des Roboters?	Generelle Abfrage zum gewählten Farbdesign und Layout.
	Was gefällt Ihnen am meisten?	Hier sollen die am besten empfundenen Verhaltensweisen des Systems benannt werden.
	Was gefällt Ihnen am wenigsten?	Hier sollen die am schlechtesten empfundenen Verhaltensweisen des Systems benannt werden.
	Gibt es etwas, was Sie überrascht hat?	Erfassung sonstiger Eindrücke.
	Gibt es etwas, was bei Ihnen Frustration ausgelöst hat?	Erfassung sonstiger Eindrücke.

Tabelle 6.3: Aufbau des Usability-Testbogens

6.1.2.2 Auswertungsmethoden

In diesem Abschnitt werden die zur Auswertung angewandten Methoden beschrieben. Folgende Schritte bzw. Analysen wurden durchgeführt.

- Quantitative Fragen des Akzeptanzmodells und ergänzende Fragen
 1. Durchführung der deskriptiven Statistik
 2. Regressionsanalyse der Akzeptanzmodifikatoren
- Offene Fragen
 3. Zitate der Patienten
 4. Zusammenfassung pro Frage
- Usability Interviews
 5. Zusammenfassende Inhaltsanalyse

Für die Berechnungen der deskriptiven Statistik und der grafischer Aufbereitung wurde das Programm Microsoft Excel eingesetzt.

Fragebogen: Akzeptanz und offene Fragen Der Fragebogen beinhaltet quantitative und qualitative Fragen. Die Werte des Fragebogens werden in einem Datensatz zusammengefasst, wodurch zunächst deskriptive Statistiken erstellt werden, um einen ersten Überblick über die Daten für die wesentlichen Fragestellungen zu haben.

Multivariate Regressionsanalyse der Akzeptanzmodifikatoren: Um potentielle Nebenfaktoren zu identifizieren, die die Antworten beeinflussen, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Der Einfluss der demografischen bzw. klinischen Variablen Alter, Geschlecht, Zeit nach dem Schlaganfall, Krankheit und die medizinischen Assessmentwerte (NIHSS, Fugl-Meyer-Arm/NET und Barthel-Index) wurde analysiert, um ihre Auswirkungen auf die Technologieakzeptanz zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Varianzanalysen (ANOVAs) im Rahmen allgemeiner linearer Modelle (GLMs) verwendet. Dabei wurden der durchschnittliche (1) Gesamtwert der Technologieakzeptanz und (2) ergänzende Akzeptanzfragen als abhängige Variablen verwendet, während die genannten klinischen Variablen als unabhängige Werte dienen [214].

Exkurs: Mögliche weitere Analysen bei einer theoretisch größeren Stichprobe Angesichts der fortgeschrittenen Projektlaufzeit und der erwarteten Teilnahme von nur ca. 10 Personen wurden ausschließlich einfache Analysemethoden, wie beispielsweise eine lineare Regression, eingesetzt.

Ergänzend wird hier beschrieben, welche zusätzlichen Analysen zum Prüfen des Modells hätten durchgeführt werden können, wenn die Studie mit einer deutlich größeren Anzahl von Teilnehmern stattgefunden hätte. In einem solchen Fall könnten fortgeschrittene multivariate Analysemethoden, auch als "Next-Generation-Methoden" bezeichnet, zum Einsatz kommen. Innerhalb dieser fortgeschrittenen Methoden wird eine Unterscheidung in Strukturen prüfende oder entdeckende Verfahren vorgesehen [216]. Strukturen entdeckende Analysen bezwecken die Zusammenhänge zwischen Variablen oder Objekten zu untersuchen.

Da hier das Almere-Modell angewandt wurde, musste dies nicht durchgeführt werden. Stattdessen gilt zu untersuchen, wie gut das Modell für eine Untersuchung geeignet wäre. Für dies würde eine Strukturen prüfende "Konfirmatorische Faktorenanalyse" (KFA) [216] verwendet werden.

Für eine solche Beurteilung des Messmodells mittels einer KFA würden jeweils auf der (1) Indikatorebene, (2) Konstruktebene und (3) Modellebene Prüfungsschritte zur Reliabilität durchgeführt werden.

Für die (1) Indikatorebene würden die Faktorladungen der einzelnen Fragen-Items

berechnet werden. Diese geben an, wie stark der Einfluss bzw. Korrelation auf das Konstrukt ist. Hier würden bekannte Prüfmaße wie Cronbach's Alpha herangezogen werden. Cronbach's Alpha ist ein statistisches Maß der internen Konsistenz zur Messung, inwieweit Items gemeinsam korrelieren und damit zuverlässig ein Konstrukt repräsentieren [217]. Auf der (2) Konstruktebene erfolgt eine Prüfung auf interne Konsistenz der Konstrukte. Es soll untersucht werden, ob die jeweiligen Fragen-Items dasselbe Konstrukt messen, sodass eine Wiederholung zum selben Resultat kommen würde [218]. Hierbei würden Reliabilitätskoeffizienten wie Cronbach's Alpha oder Spearman-Brown-Koeffizient (für Konstrukte mit zwei Items [217]) berechnet werden.

Für die (3) Modellebene soll erklärt werden, wie gut die mithilfe der Parameterschätzungen berechenbare modelltheoretische Varianz-Kovarianz-Matrix die empirische Varianz-Kovarianz-Matrix nachbilden kann [216]. Anders ausgedrückt wird dies durch den Vergleich der Kovarianz der Variablen in der Stichprobe mit der rechnerischen Kovarianz dieser Variablen unter Berücksichtigung der standardisierten Anzahl der eingesetzten Indikatoren ermittelt. Je besser die Anpassung an die empirische Matrix ist, umso größer ist der "Model Fit" des Messmodells.

Weitere Experimente könnten dann prüfen, ob und wie sich einzelne Konstrukte innerhalb des Modells abhängig von anderen Faktoren verändern. Hierfür würde eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) [218] für die Untersuchung mehrerer abhängiger Variablen eingesetzt werden.

Usability-Interview

Für die Auswertung der Usability-Interviews wurde eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt. Die Antworten und damit verbundenen Notizen wurden nach dem Interviewleitfaden geordnet und kategorisiert. Konkrete Aussagen wurden soweit möglich den spezifischen Fragen zugeordnet, wie zum Beispiel "die Schriftgröße und Farbe" empfunden wurde. Für den Gesamteindruck über alle Patienten werden die wesentlichen Aussagen und Beobachtungen zusammengefasst.

Deskriptive Analyse der quantitativen Fragen

Für die quantitativen Ergebnisse ist es sinnvoll zunächst eine deskriptive Statistik aufzubereiten, um einen Überblick über die Daten zu gewinnen und die erfassten Merkmale darzustellen [219]. Für alle Fragen werden die Mittelwerte (Durchschnitt), Standardabweichung (Stichproben-Basis), 95 % Konfidenzintervalle und die absoluten Häufigkeiten der Werte berechnet. Die Werte sind streng genommen ordinalskalierte Werte bezüglich

der Zustimmung/Ablehnung einer Aussage. Diese Werte können aber Werte aus einer mindestens 5-Punkte-Skala für die Erhebung einer (praktisch) kontinuierlichen Variable als quasi-metrisch analysiert werden [220]. Ob eine Likert-Skala als eine kontinuierliche Messung betrachtet werden kann, wird in vielen Werken diskutiert [221, 222, 223]. Es setzt die Annahme gleicher (kontinuierlicher) Abstände zwischen den Skalenpunkten voraus und dies wird in Akzeptanzmodellen, wie sie hier vorgestellt werden, angenommen. Dies ermöglicht den Einsatz fortgeschrittener statistischer Methoden und verbessert die Theoriemodellierung.

6.1.2.3 Datenbasis

Für die Ergebnisse der Technologieakzeptanz nach dem Almere-Modell und der Usability Studie konnten elf Patienten befragt werden.

- Der Altersdurchschnitt beträgt 62,3 Jahre mit der jüngsten Person 49 und der ältesten 77 Jahre. Die Standardabweichung beträgt 8.9 Jahre.
- Unter den elf Patienten befinden sich 2 Frauen (18,1 %) und 9 Männer (81,9%).
- Das Neglect-Training ist die häufigste Therapie mit sechs Patienten (54,5 %), danach das Arm-Basis-Training mit vier Patienten (36,4 %) und einmal wurde die Spiegeltherapie ausgeführt (9,1 %).
- Alle Teilnehmer hatten einen ischämischen Schlaganfall erlitten, wobei bei zehn von ihnen die rechte Seite und bei einem die linke Seite betroffen war. Im Durchschnitt lag der Zeitpunkt der Teilnahme 4,9 Wochen nach dem Schlaganfall.

Es konnten keine Patienten mit dem Armfähigkeits-Training für diese Roboterstudie im Zeitrahmen der Evaluation am Studienort gefunden werden, folglich gibt es auch keine Evaluationsergebnisse von Patienten mit dieser Therapie.

6.1.3 Ergebnisse der Technologieakzeptanz und Usability Interview Erhebungen

6.1.3.1 Deskriptive Statistiken

Die Itemwerte des Almere Models wurden mit den Mittelwerten und Standardabweichungen, aus den Likert-Skalen abgeleitet, dargestellt. Nach Heerink et al. selbst wird die Beschreibung durch den Mittelwert und Standardabweichung empfohlen [200].

Für die meisten Items bedeuten höhere Werte eine höhere Zustimmung. Lediglich die Items ANX1-ANX4 und PENJ5 wurden negativ formuliert, was bedeutet, dass ein geringerer Wert für eine höhere Akzeptanz besser ist. In der Tabelle 6.5 werden die Ergebnisse pro Konstrukt dargestellt.

Ergänzend werden die relativen Häufigkeit der Antworten über alle Therapien im Anhang A.12 gezeigt .

Konstrukt	$\bar{x}$	$\bar{\sigma}$	Alle Patienten		
			95% Konfidenzintervall	Untergrenze	Obergrenze
Ängstlichkeit	4,54	0,82	0,26	4,28	4,80
Attitüde	4,45	0,27	0,69	4,19	4,72
Erleichternde Faktoren	3,91	0,97	0,36	3,55	4,27
Nutzungsabsicht	4,58	0,90	0,16	4,42	4,73
Wahrgenommene Adaptivität	3,91	1,23	0,54	3,36	4,45
Wahrgenommene Freude	4,04	1,11	0,19	3,85	4,23
Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit	3,47	1,04	0,81	2,66	4,29
Wahrgenommene Geselligkeit	3,86	1,21	0,30	3,56	4,17
Wahrgenommene Nützlichkeit	3,88	1,19	0,87	3,00	4,75
Sozialer Einfluss	4,00	1,09	0,71	3,29	4,71
Soziale Präsenz	3,45	1,42	0,69	2,76	4,15
Vertrauen	4,09	1,04	0,27	3,82	4,36
Gesamt	4,02	0,37	0,26	3,80	4,23

Tabelle 6.4: Deskriptive Statistik pro Konstrukt

Im weiteren Verlauf wird auf die Tabellen für die einzelnen Items 6.5 und auf Konstruktebene 6.4 Bezug genommen. Im Anhang werden die relativen Häufigkeiten für die Einzelitems A.12 dargestellt.

”Ängstlichkeit” Die Items dieses Konstrukts sind negativ formuliert und dementsprechend sind niedrige Werte erstrebenswert. Alle Werte sind eher niedrig zwischen 1 und 2

bemessen. Bis auf ANX2 weisen alle Werte eine Standardabweichung unter 1 auf, was also auf konsistente Ergebnisse schließen lässt.

”Attitüde gegenüber Technologie” Alle Mittelwerte liegen zwischen 4 und 5 und sind damit bereits als positiv erkennbar. Bei Item ATT2 ist eine Standardabweichung von 1,17 gegeben, womit die Aussagen hier stärker variieren.

”Erleichternde Bedingungen” Auf der Konstruktebene wird hier mit 3,91 ein Wert mit noch leicht positiver Zustimmung erkannt. Die beiden Items werden mit einer moderaten Varianz (1,14 und 1,35) beantwortet. Beide Items zeigen einen eher positiven Mittelwert und somit, dass die Mehrheit der Patienten sich in einer guten Position sieht, den Roboter zu nutzen. Doch die größere Streuung bei FC2 könnte darauf hindeuten, dass dies nicht bei allen Patienten der Fall war. Ergänzend wird hier erwähnt, dass Patienten das System nie alleine nutzen sollten und auch keine Einweisung für die tatsächliche Handhabung erhielten.

”Nutzungsabsicht” Mit allen Mittelwerten zwischen 4 und 5 und einer Standardabweichung unter 1 zeigt sich eine sehr positive und einheitliche Haltung der Patienten gegenüber der Roboternutzung.

”Wahrgenommene Anpassungsfähigkeit” Die Items zeigen insgesamt eine eher positive Wahrnehmung, jedoch mit größeren Varianzen und leicht geringeren Mittelwerten bei den Items PAD1 und PAD3. Dies deutet darauf hin, dass einige Teilnehmer von der Anpassungsfähigkeit des Roboters weniger überzeugt sind.

”Wahrgenommene Freude” Die Patienten bewerteten das System eher positiv, wobei es zwischen den Items größere Unterschiede in der Streuung gibt. PENJ3 wird mit dem höchsten Mittelwert und geringster Streuung in diesem Konstrukt am Besten empfunden. Die Frage zu PENJ4 wird neutralsten wahrgenommen. Insofern gaben einige Patienten an, dass sie den Roboter weniger ”faszinierend” empfanden. Bei den ähnlichen Fragen PENJ3 und dem invertierten Item PENJ5 sind leicht bessere Mittelwerte mit geringeren Streuungen erkennbar. Insgesamt zeigen die Werte, dass die Patienten an der Interaktion mit dem Roboter Freude zu haben, auch wenn es bei einzelnen Merkmalen Unterschiede gibt.

Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit Das gesamte Konstrukt ist mit 3,47 als Mittelwert über alle Items nur leicht positiv bewertet. Das Item PEOU4 hat innerhalb dieses Konstrukts die positivsten Antworten. Dieser positive Wert deckt sich vermutlich mit Hintergrund, dass stets ein Therapeut gemeinsam die Therapie mit ihnen durchführt.

Während PEOU1, PEO2 und PEOU5 noch eher als leicht zustimmender wahrgenommen werden, wird PEOU3 „Ich denke, ich kann den Roboter ohne Hilfe benutzen“ mit einem Mittelwert von 2,00 angegeben. Dies zeigt, dass eine nicht unerhebliche Zahl an Patienten Zweifel daran hat, den Roboter alleine bedienen zu können. Hierzu sollte ergänzt werden, dass das Projekt nicht darauf abzielte, das Robotersystem für eine eigenständige Bedienung durch Patienten zu entwickeln. Für eine möglichst breite Akzeptanz könnte hier viel Verbesserungspotential vorhanden sein.

Wahrgenommene Nützlichkeit Das Konstrukt wird mit 3,88 als eher positiv wahrgenommen. Bei Item PU2 wurde ein nahezu neutraler Mittelwert mit 3,09 abgegeben. Obwohl bei PU1 und PU3 für eine Bestätigung eines Mehrwerts Zustimmung gefunden wird, ist der Besitz des Roboters weniger erwünscht.

Sozialer Einfluss Die Items innerhalb dieses Konstrukts werden auch eher positiv wahrgenommen. In Folge des stärker ausgeprägten Item SI1 wird darauf hingedeutet, dass das Personal als treibende Kraft für die Nutzung des Systems wahrgenommen wird. In Verbindung zeigt das Item SI2, dass das Ansehen oder Status als etwas weniger relevant erachtet wird.

Soziale Präsenz Auf der Konstruktebene wird die soziale Präsenz bei einem Mittelwert von 3,45 als leicht zustimmend bewertet. Bei den einzelnen Items zeigt sich bei SP1, SP2 und SP4 eine überwiegende Zustimmung, dass der Roboter bis zu einem gewissen Grad eine menschliche Interaktion simulieren kann. Die Items SP3 und SP5 erhalten niedrigere Zustimmungen. Dies könnte bedeuten, dass die Patienten den Roboter als eher nicht emotional oder lebendig wahrnehmen.

Vertrauen Hier gibt es überwiegend positive Zustimmung für beide Konstrukte. Die Abweichungen von 0,94 und 1,14 und Unter- und Obergrenzen deuten auf moderate Meinungsunterschiede. Die Patienten würden also den Ratschlägen des Roboters folgen und zu einem gewissen Maß vertrauen, aber nicht uneingeschränkt.

6 Evaluation des Systems

Item	Aussage	$\bar{x}$	σ	Alle Patienten 95% Konfidenz- intervall	Unter- grenze	Ober- grenze
Ängstlichkeit						
ANX1	Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst, mit diesem Fehler zu machen.	1,45	0,82	0,48	0,97	1,94
ANX2	Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst etwas zu beschädigen.	1,82	1,17	0,69	1,13	2,51
ANX3	Ich finde den Roboter gruselig.	1,36	0,67	0,40	0,97	1,76
ANX4	Ich finde den Roboter einschüchternd.	1,18	0,60	0,36	0,83	1,54
Attitüde						
ATT1	Ich denke, es ist eine gute Idee, den Roboter zu nutzen.	4,45	0,69	0,41	4,05	4,86
ATT2	Der Roboter würde das Leben interessanter machen.	4,18	1,17	0,69	3,49	4,87
ATT3	Es ist gut, den Roboter zu nutzen.	4,73	0,47	0,28	4,45	5
Erleichternde Faktoren						
FC1	Ich habe alles, um den Roboter zu nutzen.	4,09	1,14	0,67	3,42	4,76
FC2	Ich weiß genug über den Roboter, um ihn benutzen zu können.	3,73	1,35	0,80	2,93	4,52
Nutzungsabsicht						
ITU1	Ich denke, ich werde den Roboter in den nächsten Tagen verwenden.	4,45	0,93	0,55	3,90	5,01
ITU2	Ich werde den Roboter sicher in den nächsten Tagen verwenden.	4,73	0,47	0,28	4,45	5,00
ITU3	Ich plane, den Roboter in den nächsten Tagen zu verwenden.	4,55	0,93	0,55	3,99	5,10
Wahrgenommene Adaptivität						
PAD1	Ich denke, der Roboter kann sich an das anpassen, was ich brauche.	3,73	1,27	0,75	2,98	4,48
PAD2	Ich denke, der Roboter wird nur das tun, was ich für diesen bestimmten Moment brauche.	4,45	0,82	0,48	3,97	4,94
PAD3	Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	3,55	1,51	0,89	2,65	4,44
Wahrgenommene Freude						
PENJ1	Ich genieße es, wenn der Roboter zu mir spricht.	3,91	1,30	0,77	3,14	4,68
PENJ2	Ich mache gerne Dinge mit dem Roboter.	4,18	0,87	0,52	3,67	4,70
PENJ3	Ich finde den Roboter angenehm.	4,27	0,65	0,38	3,89	4,65
PENJ4	Ich finde den Roboter faszinierend.	3,73	1,62	0,96	2,77	4,68
PENJ5	Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	1,91	1,22	0,72	1,19	2,63
Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit						
PEOU1	Ich denke, ich werde schnell wissen, wie man den Roboter benutzt.	3,55	1,04	0,61	2,93	4,16
PEOU2	Ich finde, der Roboter ist einfach zu benutzen.	3,45	1,04	0,61	2,84	4,07
PEOU3	Ich denke, ich kann den Roboter ohne Hilfe benutzen.	2,00	1,41	0,84	1,16	2,84

6.1 Evaluation Technologieakzeptanz und Usability

PEOU4	Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn jemand da ist, um mir zu helfen.	4,55	0,69	0,41	4,14	4,95
PEOU5	Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn ich eine gute Gebrauchsanweisung habe.	3,82	1,33	0,78	3,03	4,60
Wahrgenommene Geselligkeit						
PS1	Ich halte den Roboter für einen angenehmen Gesprächspartner.	4,00	1,34	0,79	3,21	4,79
PS2	Ich finde es angenehm, mit dem Roboter zu interagieren.	4,18	0,75	0,44	3,74	4,63
PS3	Ich habe das Gefühl, der Roboter versteht mich.	3,45	1,51	0,89	2,56	4,35
PS4	Ich denke, der Roboter ist nett.	3,82	1,25	0,74	3,08	4,56
Wahrgenommene Nützlichkeit						
PU1	Ich denke, der Roboter ist nützlich für mich.	4,64	0,92	0,55	4,09	5,18
PU2	Es wäre praktisch für mich, den Roboter zu haben.	3,09	1,64	0,97	2,12	4,06
PU3	Ich denke, der Roboter kann mir bei vielen Dingen helfen.	3,91	1,38	0,81	3,10	4,72
Sozialer Einfluss						
SI1	Ich glaube, das Personal möchte, dass ich den Roboter benutze.	4,36	0,81	0,48	3,89	4,84
SI2	Ich denke, es würde einen guten Eindruck machen, wenn ich den Roboter verwende.	3,64	1,36	0,80	2,83	4,44
Soziale Präsenz						
SP1	Als ich mit dem Roboter interagierte, fühlte ich mich so, als ob ich mit einer realen Person sprechen würde.	4,00	1,41	0,84	3,16	4,84
SP2	Manchmal fühlte es sich an, als ob der Roboter mich wirklich ansieht.	4,00	1,41	0,84	3,16	4,84
SP3	Ich kann mir vorstellen, dass der Roboter ein Lebewesen ist.	2,64	1,80	1,07	1,57	3,70
SP4	Ich denke oft, dass der Roboter keine echte Person ist.	4,09	1,04	0,62	3,47	4,71
SP5	Manchmal scheint der Roboter echte Gefühle zu haben.	2,55	1,37	0,81	1,74	3,35
Vertrauen						
Trust1	Ich würde dem Roboter vertrauen, wenn er mir Ratschläge geben würde.	4,09	0,94	0,56	3,53	4,65
Trust2	Ich würde dem Rat folgen, den der Roboter mir gibt.	4,09	1,14	0,67	3,42	4,76

Tabelle 6.5: Deskriptive Statistik Almere Technologieakzeptanz: Durchschnittliche Werte über alle Patienten

Item	Aussage	Alle Therapien				
		$\bar{x}$	σ	95% KI	Untergrenze	Obergrenze
Ergänzende Fragen						
General1	Ich denke, es ist eine gute Idee, einen Roboter in der Schlaganfalltherapie einzusetzen.	4,45	0,82	0,48	3,97	4,94
General2	Ich denke, es macht Sinn, diese Therapie als Ergänzung zu meiner Therapie einzusetzen.	4,56	0,69	0,41	4,14	4,95
General3	Eine Therapiesitzung mit dem Roboter macht Spaß.	4,09	1,22	0,72	3,37	4,81

Tabelle 6.6: Deskriptive Statistik der ergänzenden Fragen über alle Patienten

Die Antworten der ergänzenden Fragen werden in Tabelle 6.6 präsentiert.

Hier wurden bei allen Items hohe Zustimmungswerte über 4 gemessen. General1 und General2 weisen auf eine grundsätzlich positive Akzeptanz und Offenheit hin, dass eine roboterunterstützte Therapie sinnvoll sein kann. Das Item General3 zeigt einen leicht geringeren Mittelwert mit einer leicht erhöhten Varianz. All diese Werte deuten an, dass die meisten Teilnehmer die Therapie mit Spaß verbinden können.

6.1.3.2 Ergebnis für die Multivariate Regressionsanalyse der Akzeptanzmodifikatoren

Folgende Werte wurden ermittelt:

1. Technologieakzeptanz $F_{1,10} < 0.95$; $p > 0.4$
2. Ergänzende Akzeptanzfragen $F_{1,10} < 0.60$; $p > 0.5$

In der Publikation zeigen Platz et al. [214], dass die klinischen Variablen keinen signifikanten Einfluss ($p < 0.05$) auf die abhängigen Variablen haben. Somit haben also Faktoren wie das Alter und Handicap-Schweregrad keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse gehabt. Dies könnte jedoch auch durch die kleine Datenmenge bedingt sein.

6.1.3.3 Offene Fragen

Die niedergeschriebenen Antworten der Patienten werden im Anhang A.4 abgebildet. Hier werden zu den Fragen sinngemäß Zusammenfassungen wiedergegeben.

Was hat Ihnen bei diesem System (und ihrer Therapie) am besten gefallen?

Fast jeder Patient gab eine positive Antwort. Zehn von elf Patienten nannten Therapieeigenschaften, die ihnen gefallen haben. Drei Patienten benennen auch direkt die positive Eigenschaft, dass der Roboter Aufgaben verbal klar und deutlich erklärt. Vier Patienten zählten die "Dynamik" und "Tempo" der Interaktion als positiv.

Was hat Ihnen bei diesem System (und ihrer Therapie) am wenigsten gefallen?

Sieben Patienten gaben an, dass es nichts zu ändern gibt. Die anderen vier Patienten empfanden den Roboter bzw. die Interaktion als langsam oder langweilig. Für diese Patienten redete der Roboter zu lange bzw. die Erklärungen sind zu lang.

Wenn Sie eine Sache an diesem System ändern oder hinzufügen könnten, was wäre das?

1. Vier Patienten gaben an, dass es nichts zu ändern gibt.
2. Zwei Patienten gaben hier an, eine schnellere Interaktion zu wünschen. Konkret sollen die Pausenzeiten und die Abschnitte zwischen den Übungen kürzer sein.
3. Drei weitere Patienten gaben an, dass der Roboter zu viel redet. Diese nannten als Änderungsvorschläge die Erklärungen "überspringbar" zu gestalten oder den Text zu verkürzen.
4. Ein Patient wünscht sich ein adaptiveres System, dass erkennen sollte, wenn sich die Leistung des Patienten verbessert hat, um dann die Intensität der Aufgaben zu steigern.
5. Ein anderer Patient schlug ein technisches Feature vor, dass der Roboter auch Sprachbefehle erkennen kann. Dadurch könne man beim ABT ohne das Loslassen der Arme und Hände des Patienten schneller und flüssiger die Therapie durchführen. Es wurde hier ein Vergleich zum Sprachassistenten "Alexa" von Amazon [224] erwähnt.
6. Ein anderer Patient nannte mehrere Punkte. Zum einen soll bei der NVT genauer geäußert werden, wo die Objekte sind, wenn man das Symbol nicht erfolgreich getroffen hat. Zudem wurde vorgeschlagen, dass wenn das Symbol aufgrund von technischen Ungenauigkeiten nicht getroffen wird, ein Prompt hilfreich wäre, dass das Symbol "nur knapp" verfehlt wurde. Dies ereignete sich bei den Fotoserien "Kühe" und "Fenster". Zusätzlich ist es für Patienten frustrierend zu hören, dass man sich verschlechtert hat. Dies löste bei diesem Patienten die Sorge aus, erst später aus dem Krankenhaus entlassen zu werden. Für diesen Aspekt wurde kein Verbesserungsvorschlag geäußert.

Bitte denken Sie nun über Ihre Erfahrungen mit dem E-BRAiN System insgesamt nach: Wie fanden Sie die Therapie mit dem Roboter? Was denken Sie über den Roboter als Therapeuten? Hier äußerten sich zehn von elf Patienten positiv über die Therapie und den Roboter als Therapeuten. Eine Person enthielt sich von einer Aussage, da die Therapie noch nicht abgeschlossen sei. Eine Anregung kam von einem Patienten, dass immer ein Therapeut nötig sein werde. Von einer anderen Person wurde das Bedenken geäußert, dass er nicht möchte, dass der Roboter die Therapie mit einem Menschen ersetze.

Gibt es etwas, was Sie uns noch über das System sagen wollten? Acht der elf Patienten hatten bei dieser Frage nichts zu ergänzen oder haben hier nochmals das System als eine positive Sache bestätigt. Die drei anderen Personen merkten an, dass man die Stimme des Roboters austauschen könnte bzw. die Stimmlage ändern könnte. Hierbei wurden von den Personen jeweils unterschiedliche Aspekte genannt. Zum einen dass die Stimme aufgrund der Stimmlage monoton wirkt und daher ermüdet. Ein anderer Punkt war, dass die Stimme "piepsig" klingt.

6.1.3.4 Usability Interviews

Im Folgenden wird eine objektive Beschreibung der Aussagen von den Patienten innerhalb der Interviews versucht. Die Antworten der Patienten werden, soweit zuordnungsfähig, zum Anhang einzeln aufgelistet A.5, Teile der Ergebnisse wurden in [213] veröffentlicht. Die Einhaltung des "lauten Denkens" wurde meist nicht befolgt. Daher musste der Interviewer meistens auf die Grundfragen des Usability-Testguides A.10 zurückgreifen. Bei vielen Usability-Interviews entwickelten sich diese aufgrund dieser Umstände praktisch zu semi-strukturierten Interviews [225].

Von den interviewten 11 Patienten schienen diese die Therapie zu mögen und zufrieden zu sein. Bei nahezu allen Fragen schienen die Patienten keine Beanstandungen mit dem System zu haben [213]. Auf Fragen wie "Was denken Sie von dieser Eigenschaft/Sache?" wurde meist mit etwas ähnlichem wie "Gut" oder "Würde nichts daran ändern wollen" geantwortet.

1. Starten der Therapie: Die ersten Fragen zielten auf die ersten Eindrücke des Systems ab. Bei der Frage "**Was denken Sie, wenn Sie das fertige System vor sich haben?**" schienen die Vorstellungen recht unterschiedlich zu sein, was die Patienten sich von der Therapie vorstellten. Aus den Aussagen kann eine gewisse Skepsis gegenüber

dem Roboter erkannt werden. Nach dem Starten der Therapie würden Patienten hier den Einleitungstext für einen Demonstrationspatienten durchgehen.

Auf die Frage **”Wie wirkt der Einführungstext des Roboters auf Sie?”** stimmen alle Patienten zu, dass dieser zumindest annehmbar ist. Es erwähnen vier Patienten, dass der Text oder die Pausen zu lang sind.

Die nächste Frage **”Wenn der Roboter Ihnen eine Frage stellt, wie können Sie diese auf dem Tablet beantworten?”** äußerten alle Patienten auf eine Rückfrage kurz, dass die dargestellten Fragen gut beantwortet werden können. Auf einzelne Rückfragen wurde die Bedienbarkeit des Interfaces als ”ausreichend” bestätigt. Hierbei wurde von einem Patienten erwähnt, dass der Text auf dem Roboter schwieriger zu erkennen ist.

Die Frage ”Wie finden Sie die Fragen zur Motivation?” ermittelte, dass zehn von den elf Patienten zumindest eine neutrale Meinung äußerten, diese Motivationsfragen zu inkludieren. Es kann hier erkannt werden, dass diese Fragen zur Therapie ”dazugehören”. Konkret äußerten sich z.B. Patient (P10) ”Muss ja sein.” Eine andere interessante Aussage kam von (P11) ”Die sind nachvollziehbar. Vielleicht zur Selbstreflektion gut. Nicht unwichtig.”

2. Start der Übungserklärung: Neun der elf Patienten äußerten sich auf die Frage **”Was denken Sie über die einzelnen Erklärungsschritte der Übung?”**, dass die Erklärungen gut sind. Drei Patienten erwähnten, dass das Tempo der Erklärungen zu langsam sei oder die Erklärungen kürzer sein könnten. Gegensätzlich dazu erwähnte ein anderer Patient auf eine Rückfrage zu Änderungswünschen, dass ein grenzenloses Überspringen der Interaktion eher schädlich sei.

Zur Frage **”Wie finden Sie die Präsentation der Übungserklärung?”** fielen die Antworten je nach Therapieform (NVT und Nicht-NVT) unterschiedlich aus. Grundsätzlich sitzen und konzentrieren sich die Patienten der NVT auf den Monitor, der vor ihnen auf dem Tisch steht. Aus den Antworten können eine gute Präsentation der Erklärungen und Formen erkannt werden. Als ein speziellerer Fund erwähnte ein Patient P11, dass die Rechtecke und Rauten ”problematisch” seien, aber dafür die Farben ”taktisch” wählbar sind. Zusätzlich merkt dieser an ”es ist nur ein Trugschluss, denn die Konzentration ist wichtiger.” Insofern kann die Thematik der genutzten Farben etwas näher untersucht werden, da je nach gewählter Farbe ein stärkerer oder schwächerer Kontrast zum schwarzen Bildschirm ermöglicht werden kann.

Die Patienten der ABT und ST äußerten sich auch eher positiv zu den Übungserklärung. P5 merkt an, dass für die Darstellung der Arm- und Handbewegungen auch alternative Übungsbilder und Videos (mit Männern) angeboten werden sollten.

Bei der Frage **”Schauen Sie eher auf den Roboter oder das Tablet?”** gaben alle Patienten an, immer eher auf den Monitor oder das Tablet zu schauen, sofern eine Antwort abgegeben wurde. Insofern könnte hier argumentiert werden, dass die Inhaltsdarstellung auf dem Monitor eine höhere Priorisierung haben sollte.

3. Während der Übung: Hier wurde den Patienten die Frage **”Wie verhält sich das System während der Übungsausführung?”** gestellt. Die Antworten sind unterschiedlich und es wurden verschiedene Aspekte geäußert. Fünf Patienten äußerten sich mit kurzen Aussagen, dass **”Gut”** (P10) sei oder P4 **”verhält sich wie erwartet, sehr zufriedenstellend. Nichts zu bemängeln.”** Drei Patienten erwähnten das Tempo der Übung worauf zwei dieses für angemessen halten und die dritte Person das Tempo bemängeln. Andere angesprochene Aspekte waren als (P3) **”komisch”** empfundene Töne, (P11) die wahrgenommene, eingeschränkte Interaktion mit dem Roboter, die nur außerhalb der Übung einen Dialog ermöglicht.

4. Nach Übungsende: Zur Frage 4.1 **”Wie empfanden Sie es, mit dem E-BRAiN System diese Aufgabe durchzuführen?”** gab es 7 positive Äußerungen, wobei bei zwei anderen Patienten eine Aussage nicht möglich war, da diese die Befragung ohne aktives Robotersystem in einem anderen Therapieraum durchführten. Bei den verbleibenden zwei Patienten wurde keine Aussage darüber getroffen oder die Antwort blieb neutral.

5. Am Ende: Frage 5.1 **”Auf einer Skala von 1-5: Wie zufrieden sind Sie mit dem E-BRAiN System für die Therapie?”** ergab ein positives Gesamtbild des Systems. Patienten antworteten stets mit einem Wert zwischen **”4”** oder **”5”**, lediglich ein Patient antwortete mit **”3 Plus”**.

Für die nächste Frage 5.2 **”Wie beschreiben Sie Ihre Erfahrungen mit dem System?”** antworteten Patienten in einer ähnlichen positiven Reaktion und beschreiben ihre Erfahrungen mit Aussagen wie (P2) **”Angenehme Erfahrung. Hätte nie gedacht, wieder die Hand zu bewegen.”**

Auf die Frage 5.3 **”Wie fanden Sie die genutzte Sprache des Roboters?”** beschrieben sechs Patienten die Sprachinhalte mit kurzen Aussagen als (P1) **”Verständlich”**. Die Sprachinhalte des Roboters werden von zwei Patienten mit z.B. (P5) als **”[...] dauert zu lange”** empfunden.

Zu 5.3 **”Was sind Ihre Gedanken zum Design und Layout des Tablets und des Roboters?”** äußerten sich die Patienten recht kurz und es gibt keine negativen Anmerkungen zum Layout oder Design des Tablets und Roboters. Es wurden aber

auch keine Ideen oder Wünsche zur Verbesserung gefunden. Patienten äußerten sich beispielsweise mit Aussagen wie (P5) "Standard", (P9) "Nicht der Reißer, aber ok." und (P11) "Das Bild ist klar, der Kontrast ist gut. Es blendet nicht, es ist so wie es sein soll."

Zur Frage 5.5 **"Was gefällt Ihnen am meisten?"** entgegneten Patienten in zehn von elf Fällen Dinge über die Therapie. Die Antworten sind recht unterschiedlich wie (P9) "Die Helfer" oder auch (P11) "der spielerische Aspekt". Bei der gegensätzlichen Frage 5.6 **"Was gefällt Ihnen am wenigsten?"** antworteten fünf Patienten, dass es keine negativen Punkte gibt, mit Aussagen wie (P6) "Da fällt mir nichts ein". Weitere Patienten führten nicht-therapiebezogene Aspekte ein wie (P4) "Die Stühle sind hart". Ein anderer Punkt kam in der Aussage (P11) "Das Vermeintliche zum Menschen machen". Der Patient erläutert, dass die "Vermenschlichung" des Roboters "merkwürdig" sei und es steigert nicht die intrinsische Motivation. Zusätzlich erläutert er, dass nur bei der 1. Sitzung deutlich werden muss, dass das System einen Nutzen hat.

Bei der Frage 5.7 **"Gibt es etwas, was Sie überrascht hat?"** gaben vier Patienten an nicht überrascht worden zu sein oder dass der Roboter sich so verhielt wie sie sich vorgestellt haben. Zwei Patienten stellten sich den Roboter oder seine Fähigkeiten anders (P10) bzw. intelligenter (P4) vor. Ein Patient (P9) äußerte, dass er den Absturz des Roboters überraschend fand. Zwei Patienten gaben an, dass sie die gute Zusammenarbeit mit der Robotertherapie überrascht hat.

Auf die letzte Frage 5.8 **"Gibt es etwas, was bei Ihnen Frustration ausgelöst hat?"** hat kein Patient etwas genannt, dass ihn mit der Robotertherapie frustriert hat, z.B. (P1) "Frustration? Keine."

Zusammenfassend wurden folgende Änderungswünsche erkannt: 5 Patienten merkten an, dass das System "zu langsam" ist. Diese Kritik bezog sich auf verschiedene Bereiche des Systems.

Zum einen (1) wurden damit die generell langen Textaussagen des Roboters gemeint. Auch die Übungserklärungen wurden in diesem Zusammenhang häufig genannt. Die Erklärungen zu den einzelnen Übungen haben mehrere Erklärungsschritte, die nur bei bestimmten Therapien zumindest teilweise übersprungen werden können. Ein anderer Punkt war (2) die Geschwindigkeit der Interaktion beim Neglect-Training. Diese Übungen haben feste zeitliche Abfolgen, wann die Übungsvorlagen auf dem Bildschirm erscheinen und wann z.B. der Roboter auffordert, sich wieder für wenige Sekunden auf den leeren

Bildschirm mit dem Fixationskreuz zu konzentrieren.

Dies ist der wichtigste Änderungspunkt, der in einer späteren Roboterversion verbessert werden müsste. In einer Robotertherapie sollte es so wenig wie möglich Stillstand geben, der nicht sein soll. Eine spätere Roboterversion würde zum Ziel haben, die Therapie möglichst genau an die Geschwindigkeit der Patienten anzupassen, ohne den klinischen Zweck zu vernachlässigen.

Ebenfalls wurde die Idee geäußert, dass das Robotersystem Sprachbefehle akzeptieren könnte. Dies bietet vielseitige Funktionen und wurde im Zusammenhang mit der ABT-Therapie genannt. Die Übungen der ABT erfordern häufig, dass der ausführende Helfer mit beiden Händen die Arme oder Hände des Patienten festhalten muss, während der Roboter ihnen Anweisungen gibt. Um die nächste Übung zu starten, muss die Bereitschaft aktiv auf dem Tablet durch Berührung bestätigt werden. Das bedeutet, dass der Therapeut sich vom Patienten lösen und bei jeder Übung die Fortsetzung bestätigen muss. Diese kurzen Momente addieren sich über die Menge an Übungen auf und können einige Minuten ausmachen.

Diese Sprachfunktion wurde kurz danach auch entwickelt und implementiert (und nutzt dieselben Sprachsoftware-Bibliotheken wie das Neglect-Training Übung 1). Die ersten Rückmeldungen seitens der Therapeuten bestätigten auch den Nutzen, dass die Interaktion nun flüssiger ablaufen können.

In einem anderen Änderungswunsch äußerte ein männlicher Patient, dass er sich nicht gut mit den dargestellten Bildern und Videos zu den Übungserklärungen identifizieren könne. Er erklärte, dass er sich als robust gebauter Mann nicht gut mit den dünnen Frauenarmen- und -händen vergleichen kann. Daher könnte eine vielfältigere Repräsentation von Geschlechtern von Bedeutung sein, um die Übungen für alle Patienten zugänglicher und nachvollziehbarer zu gestalten.

6.1.4 Diskussion

Aktuelle Schlaganfalltherapien benötigen einen Therapeuten, der den Patienten zur Seite stehen, jedoch besteht ein weltweiter Mangel an medizinischem Personal [226]. Um dieses Problem zu dämpfen, könnten Roboter eingesetzt werden, die die Patienten durch die Therapie führen. In der Vergangenheit wurden beispielsweise spielerische oder sportliche Übungen mit sozialen Robotern als Trainer bzw. Instrukteur erprobt, aber noch keine medizinisch erprobte Schlaganfalltherapie.

In dieser Studie sollte das Robotersystem für eine leistungsorientierte Schlaganfalltherapie evaluiert werden. Die Patienten absolvierten im Zeitraum von 2 Wochen insgesamt 9 Sitzungen eine Schlaganfalltherapie mit einem sozialen Roboter. Hier werden die Antworten und Ergebnisse der Technologie-Akzeptanz, Usability-Interview und qualitative Meinungen der E-BRAiN Therapeuten beschrieben.

6.1.4.1 Antworten Evaluationsfragebogen

Technologieakzeptanz

Die Ergebnisse der Technologieakzeptanztests zeigen ein gutes Gesamtbild für das Robotersystem. Die Menge von elf Patienten stellen aber keine statistisch relevante Menge dar. Die Ergebnisse sollten daher eher als Startpunkt bzw. Pre-Test [227] einer größer angelegten Evaluationsstudie angesehen werden. Dennoch konnte eine Reihe von Beobachtungen gefunden werden, die Aufschlüsse über die Akzeptanz und Systemeigenschaften geben.

In anderen Akzeptanzstudien mit dem Almere-Modell wurden vergleichbare, ebenfalls eher positive Werte gemessen. Nertinger et al. [223] prüften die Akzeptanz des assistiven Roboters mit angeschlossenem Roboterarm GARMI [228]. Der Roboter agierte mit unterschiedlichen Autonomiegraden, um bei Nutzern einfache medizinisch-körperliche Untersuchungen durchzuführen. Es wurden zwei Szenarien geprüft: in einem wird der Roboter durch einen Menschen gesteuert und im anderen handelte der Roboter autonom. In den Ergebnissen wurden nur bestimmte Werte auf Konstruktebene dargestellt: ANX 2.68 ± 1.17 , ATT 3.88 ± 0.81 , PEOU 3.89 ± 0.77 , PU 3.48 ± 1.01 und Trust 3.27 ± 0.81 . Die erfassten Werte in der Tabelle 6.4 zeigen, dass die Werte des E-BRAiN Roboters mit dem Roboterarm GARMI vergleichbar sind. Grundsätzlich sind dort die wesentlichen Unterschiede in der größeren Ängstlichkeit und geringerem Vertrauen zu sehen. Die Roboteranwendung im E-BRAiN Projekt interagiert über zwei Wochen mit den Patienten und diese bauen vermutlich mehr Vertrauen zum Roboter auf. Zusätzlich erlaubt das E-BRAIN System klarere Vorstellungen der Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung. Der größere Unterschied bei der Ängstlichkeit könnte dadurch entstehen, dass der Roboter im Werk von Bishop et al. im Vergleich deutlich größer ist und direkten physischen Kontakt mit dem Patienten hat. Ergänzend wird im Beitrag erwähnt, dass die Frage "I find the robot scary" mit einem geringeren Wert 1.77 ± 1.10 bewertet wird, was bedeutet, dass die anderen Fragen zur hohen Ängstlichkeit beitragen. In ihrer Studie gaben die

Teilnehmer an, dass sie "erkennbare" Medizin vom Roboter annehmen, aber neutral bis leicht negativ auf die Einnahme von unerkennbarer Medizin reagieren. Sie schlussfolgern schließlich, dass Nutzer bei "gesundheitskritischen Aufgaben" einen Menschen im Prozess einbeziehen möchten.

Das Konstrukt der "sozialen Präsenz" weist die niedrigsten Werte des gesamten Modells auf. Dies deckt sich auch mit den Werten anderer Forscher. Im Experiment von Torta et al. [229] testen acht Patienten ein Smart-Home Robotersystem (sechs Patienten mit zwei Sitzungen, zwei Patienten mit acht Sitzungen). Die Roboterplattform NAO wurde verwendet. In unterschiedlichen Szenarien wie Informationsabfrage über das Außen- und Raumklima oder ein Videoanruf einer anderen Person zur Absprache für die Abendgestaltung würde der Roboter die Nutzer unterstützen. In bestimmten Teilen des Experiments sind auch menschliche Administratoren involviert, um z.B. die Experimentzuverlässigkeit des Roboters sicherzustellen. Die Teilnehmer gaben zu mehreren Sitzungen ihrer Studie Antworten für ausgewählte Konstrukte des Almere-Modells. Die Forscher befragten die Teilnehmer nach der ersten, zweiten und teilweise der sechsten Sitzung. Sie stellen die durchschnittlichen Ergebnisse nach der zweiten Sitzungen und aus dem Durchschnitt der ersten beiden Sitzungen vor: ANX 4.89 ± 0.07 , PAD 3.9 ± 0.33 , PS 4.34 ± 0.15 , SP 3.23 ± 0.21 (1. Sitzung 2.88 ± 0.21), PEOU 4.70 ± 0.13 (1. Sitzung 4.13 ± 0.29) und TRUST 4.04 ± 0.39 .

Aus den Ergebnissen der ersten beiden Sitzungen beobachten auch sie, dass die soziale Präsenz und wahrgenommene Geselligkeit die niedrigsten Werte des gesamten Modells erhielten. Sie vermuten aus ihren Beobachtungen, dass die geringe Größe des NAO Roboters (55cm) ein negativer Faktor dafür sei. In unserer Studie könnte dieser Faktor jedoch weniger belastend sein, da der Roboter Pepper mit 1,20m deutlich größer ist.

Der von uns genutzte Roboter Pepper ist aber mit 1,20m Größe weniger von diesem Faktor betroffen.

Piasek und Wieczorowska-Tobis [230] evaluieren ein Robotersystem zur Asistentenz für allein lebende ältere Personen mit einer leichten kognitiven Beeinträchtigung (MCI) [231]. Es wurde die Roboterplattform Tiago [232] von Pal Robotics genutzt, die speziell für solche Beeinträchtigungen entwickelt wurde. Über einen Zeitraum von 10 Wochen wurde das System in 18 Haushalten erprobt. Der Roboter bietet einen Touchscreen und kann mit dem Nutzer auch verbal kommunizieren. Es enthält auch umfangreiches Informationsmaterial für z.B. gesundes Leben, Sportübungen, Spiele. Es präsentiert auch Informationen über

die Wohnung, ob beispielsweise Türen geschlossen sind oder die Temperatur. Für die Akzeptanzkonstrukte wurde gemessen: ANX 2.53 ± 0.86 , ATT 4.4 ± 0.61 , ITU 4.33 ± 0.78 , PENJ 4.52 ± 0.47 , PEOU 4.6 ± 0.46 , PS 4.33 ± 0 , PU 4 ± 0.63 , SI 5 ± 0 , SP 3.88 ± 0.46 , Trust 4.5 ± 0.44 . Sie präsentieren die Antworten von fünf Teilnehmern. Auch hier sind die Werte ähnlich zu den Ergebnissen aus dem E-BRAiN Projekt. Bei vielen Konstrukten können vergleichbare Werte beobachtet werden. Der relevanteste Unterschied kann bei der PEOU beobachtet werden, der sich Mittelwert um 1.13 divergiert. Die beobachteten Antworten sind mit 5 Teilnehmern nochmals geringer als bei der E-BRAiN Studie und schwer vergleichbar. Das Ausfüllen des Fragebogens nach der Studiendauer von 10 Wochen und der direkten, täglichen Nutzung des Roboters sind vermutlich begünstigende Faktoren, um Nutzern ausreichend Zeit zu geben, sich mit der Bedienung des Roboters bekannt zu machen.

Die mehrfache Deckung von Forschungsergebnissen, die positive Eindrücke über Robotersysteme zeigen, ist also mehrfach auffindbar und gibt ein Vergleichsbild, dass Patienten dieser Technologie empfänglich und positiv gegenüberstehen. In diesem Zuge ist das E-BRAiN Robotersystem auch vergleichsweise ähnlich gut technologisch akzeptiert wie ein andere Werke.

Methodisch wäre eine generelle Überprüfung des Almere-Akzeptanzmodells mittels einer konfirmatorischen Akzeptanzanalyse möglich. Für diese würde wie im Exkurs in Kapitel 6.1.2.2 beschrieben eine Überprüfung auf den unterschiedlichen Ebenen folgen. Grundsätzlich bestehen eine Reihe von überprüfbaren Hypothesen die mit demographischen und sozialen Faktoren die Betrachtungen auf die Akzeptanz [223] möglich wären.

Es wurden im Rahmen einer Regressionsanalyse verschiedene Variablen wie das Alter, Geschlecht, medizinische Werte und Krankheitsbild geprüft, ob diese einen Einfluss auf die Werte der Nutzungsabsicht haben. Es konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Es könnte an der zu kleinen Anzahl an Teilnehmern liegen, dass keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden kann.

Alternativ wurde beobachtet, dass mit einem steigenden Alter, die Nutzungsabsicht sinkt [233]. In einer anderen Studie hatte steigendes Alter einen negativen Einfluss auf das wahrgenommene Vergnügen und sozialer Einfluss [234]. Umgekehrt steigt mit dem Alter die Zustimmung für helfende Roboter im allgemeinen im Falle einer körperlichen oder geistigen Behinderung [235]. In einer systematischen Literaturrecherche wurde gezeigt, dass Frauen mehr Vertrauen in Roboter haben [223, 236], gleichzeitig konnte

kein Unterschied zwischen den Geschlechtern für beispielsweise die Akzeptanz oder Ängstlichkeit gegenüber sozialen Robotern erkannt werden [236].

Ergänzende Fragen

Die ergänzenden drei Fragen schließen sich dem positivem Gesamtbild des Akzeptanzfragebogens an.

Die Frage, ob eine Robotersitzung Spaß macht, wurde überwiegend bejaht. Diese Frage sollte das Konstrukt der "wahrgenommenen Freude" ergänzen. Das Konstrukt ist nicht nur für eine höhere Akzeptanz hilfreich. Grundsätzlich ist die Frage offen, ob eine Therapie "Spaß" machen sollte. Goetz et al. 2003 [237] zeigte in einem Werk mit einem ernsten und spaßigem Roboter, dass mit einem ernsten Roboter eine körperliche Übung länger ausgeführt wird. Für eine "spaßige" Aufgabe zur Herstellung eines "Jellybeans"-Rezeptes konnte mit "spaßigen" Roboter längere Ausführungszeiten beobachtet werden. Allerdings war diese Studie auf ein einzelnes Experiment sehr begrenzt im Gegensatz zur mehrwöchigen Therapie in dieser Roboterstudie hier. Zusätzlich war der Altersdurchschnitt 25 Jahre und somit erheblich jünger als die E-BRAiN-Teilnehmer.

Ursprünglich [234] sagte Heerink et. al. [233] in einer Roboterstudie voraus, dass die Nutzungsabsicht und Angst vor Robotern mit dem Alter korreliert. In späteren Studien [234] konnte dies nicht nachgewiesen werden. Stattdessen würden insbesondere ältere Erwachsene weniger wahrscheinlich eine soziale Roboterinteraktion als angenehm empfinden. Bishop et al. [234] merken an, dass es für Innovatoren daher wichtig ist, Elemente einzubauen, um den Spaß und das Vergnügen für insbesondere diese Gruppe zu steigern. Um eine engagierende Gamifizierung der Therapie AFT und Neglect-Training zu realisieren, wurden auch entsprechende Funktionen und Designs konzipiert und implementiert. Wie auch bei anderen Werken wurden spielerische Elemente wie beispielsweise aufgabenbasierte Struktur [20], Signaltöne [238], Punktesysteme [239] und (steigende) Schwierigkeitsstufen [240] integriert.

Diese positive Aufnahme des Systems deckt sich auch mit den Werken von [20]. In diesem Werk erprobten Feingold-Polak et al. einen sozialen Roboter für Schlaganfallrehabilitation mit gamifizierten Aufgaben und dies deckt sich zu einem großen Teil mit dem E-BRAiN Projekt. In ihrer Usability-Untersuchung nutzen sie einen "User Satisfaction Evaluation Questionnaire" von [43, 241]. Die Ergebnisse werden in Abbildung 6.3 dargestellt. Das Ziel dieses Fragebogens ist die Messung von Virtual-Reality-Systemen für Rehabilitationsanwendungen. Der Fragebogen fragt beispielsweise danach, ob die Systemnutzung

gefallen hat oder ob der Nutzer das System wieder nutzen würde. Die Skalenwerte belaufen sich hier von 1 für "Überhaupt nicht" ("not at all") und 5 für "sehr viel" ("very much").

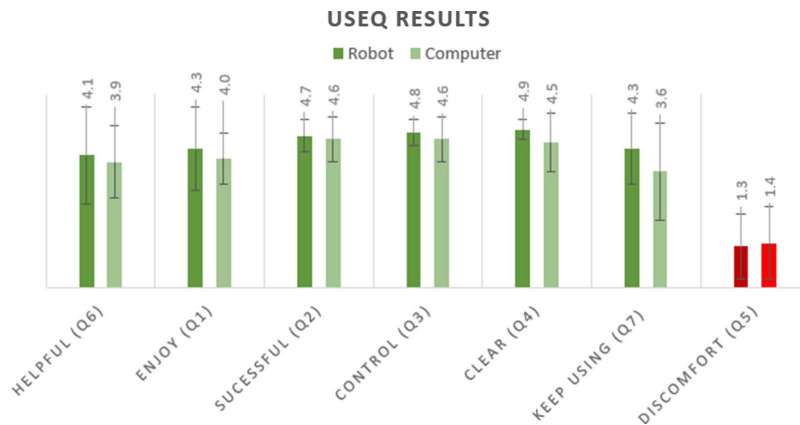


Abbildung 6.3: Die Ergebnisse des "User Satisfaction Evaluation Questionnaire" von der sozialen Roboterstudie von Feingold-Polak et al. [20]

Der verwendete Fragebogen von Feingold-Polak et al. ist anders als der hier verwendete Technologieakzeptanzfragebogen, dennoch gibt es hinsichtlich der gefragten Akzeptanzmodell-Konstrukte Überschneidungen. Konkret wurden die Fragen bei Feingold-Polak et al. hinsichtlich der Konstrukte "Helpful", "Enjoy", "Successful", "Control", "Clear", "Keep using" meistens mit einem guten Wert zwischen 4 und 5 beantwortet. Die scheint ein häufiges Muster bei teilnehmenden Nutzern an Roboterstudien zu sein.

Offene Fragen

Bei den fünf offenen Fragen äußern sich die Patienten überwiegend positiv, lobten die innovative Anwendung, die spielerischen Elemente und die Übungserklärungen. Es ist zudem als sehr positiv anzumerken, dass sieben von elf Patienten keine Anmerkungen zur Frage "Was hat ihnen an diesem System (und ihrer Therapie) am wenigsten gefallen?" hatten. An dieser Stelle wird angemerkt, dass das System bis zum tatsächlichen Therapieeinsatz ausschließlich von einem Expertenteam entwickelt wurde. Während dieser Entwicklung wurden insbesondere die Eigenschaften der langen Erklärungstexte und der zwar vorhandenen, aber eher minimal gehaltenen Mensch-Roboter-Interaktion festgehalten. Die Absenz von vielen negativen Eindrücken wurde vom Expertenteam als subjektiv positive Überraschung wahrgenommen. Auch bei der letzten Frage, wurden überwiegend

erkennbare Impulse der Patienten erkannt, dass der Roboter bzw. die Therapie gut wahrgenommen wird.

Für die Änderungswünsche aufseiten des Systems konnten einige Patienten potentielle Funktionen vorschlagen. Diese Ideen werden in der Usability-Evaluation näher behandelt.

6.1.4.2 Usability Interviews

Die Usability-Interviews geben ein positives Bild des Robotersystems wieder und spiegeln die Antworten der ergänzenden, offenen Fragen. Dieses positive Ergebnis der Usability-Interviews und die Antworten der offenen Fragen finden sich auch in den wie z.B. bereits kurz vorher erwähnten Werk von Feingold-Polak et al. [20] wieder. Dieses zeigt, dass diese überwiegende Abwesenheit von schlechten Punkten oder vielen Änderungswünschen nicht ungewöhnlich ist.

Grundsätzlich, können bei den Antworten aus den Usability-Interviews vor allem bestätigende Antworten zu den bisher implementierten System gefunden werden. Allerdings konnten nur begrenzt konkrete Änderungsideen identifiziert werden.

In der folgenden Liste werden die wichtigsten Änderungsvorschläge aus den Usability-Interviews festgehalten:

1. Eine "Überspringbarkeit" von (längeren) Textsequenzen
2. Die Sprachinhalte kürzen
3. Klarere Darstellung, wann die eigentliche Übung losgeht
4. Die Explorationsvorlage und Monitor-Touch Berührung präzisieren (NVT Aufgabe 3c)

Ein häufig angesprochener Punkt ist das Interaktionstempo des Systems. Hier ist zweifellos ein Verbesserungspotential zu erkennen. Wobei hier Punkt 1 und 2 eng verbunden sind. Würden die Inhalte kürzer sein, gäbe es weniger Textabschnitte, die übersprungen werden müssten. Auch in anderen Studien wird das Tempo der Roboterinteraktion als hervorgehobene Eigenschaft genannt [229].

Nielsen [211] beschreibt, dass die Zuverlässigkeit von Usability-Tests oft ein Problem ist, da es große Unterschiede zwischen den Testnutzern gibt. Er schreibt, dass es nicht ungewöhnlich ist, dass der beste Nutzer zehnmal so schnell ist wie der langsamste Nutzer.

Mit dem Fall, dass die befragten Patienten kaum negative Punkte nannten, könnte hier argumentiert werden, dass diese beiden zufällig gut mit dem System umgehen konnten und keine Probleme erkannten.

Ein weiterer Grund für das positive Bild könnte sein, dass ältere Menschen grundlegend geringere Erwartungen an neue technische Geräte haben, als jüngere. Sonderegger et al. [242] beobachteten, dass in Experimenten zum Arbeiten mit tastaturbasierten Mobiltelefonen und Touch-basierten Smartphones, die ältere Testgruppe ein positiveres Usability-Ergebnis für die neue Technologie des Touch-basierten Smartphone vergaben, obwohl sie mit diesem langsamer arbeiteten. Sonderegger et al. merkten an, dass zum Zeitpunkt ihrer beobachteten Studie Smartphones gerade erst kommerziell verfügbar gemacht wurden. Ältere Menschen könnten noch einen größeren Grad an Angst vor neuen Technologien haben, wodurch sie ein geringes Level an Selbstwirksamkeit (Self-Efficacy) vor der Nutzung der Technologie gehabt haben könnten. Die daraufhin eintretende Realisierung, doch gut mit dem Robotersystem arbeiten zu können, könnte das Gesamtergebnis des Usability-Tests positiver beeinflusst haben. Ähnliche Beobachtungen wurden bei [242] gemacht.

6.1.4.3 Fazit

Die Evaluation des Roboters mittels einer Akzeptanz- und Usability-Analyse zeigte, dass das Robotersystem positiv akzeptiert wird.

Ein wichtiger Punkt ist die Bedeutung des medizinischen Personals während und um die Therapie herum. Es lässt sich kaum prüfen, inwieweit die Präsenz und sozialer Kontakt der Therapeuten kausal dazu beigetragen hat, dass die Patienten die E-BRAiN Therapie auch tatsächlich durchführen. Aus der Literatur [26, 25] wird jedoch ersichtlich, dass der zwischenmenschliche Faktor eine große Rolle spielen kann. Sehr wahrscheinlich hat die positive Grundstimmung und Motivation der Therapeuten dazu beigetragen, dass Patienten für die Therapiesitzungen motiviert waren. Falls Robotersysteme tatsächlich in Zukunft mehrere vollständige Sitzungen übernehmen würden, so wären es auch dann wahrscheinlich, dass medizinisches Personal rund um eine Sitzung involviert sind.

6.1.5 Limitierung

Es gibt bestimmte Faktoren, die die Aussagekraft der Evaluation begrenzen.

Zum einen bilden die 11 befragten Patienten keine statistische Größe für eine belastbare Betrachtung der Akzeptanz. Dennoch konnten bei den Usability-Interviews mit dieser Personenzahl ein guter Eindruck gewonnen werden. Laut Nielsen [211] können schon mit einzelnen wenigen Personen viele Usability-Probleme gefunden werden.

Es wurden alle teilnehmenden Patienten durch verschiedene Selektionsfilter gescreent. Diejenigen, die an dieser Studie teilgenommen haben, sind in der Regel sehr motiviert, ihren Gesundheitszustand nach ihrem Schlaganfall wiederherzustellen und stehen einer neuen Technologie potentiell hoffnungsvoll gegenüber. Die Vermutung liegt nahe, dass Endnutzer in einem solchen Kontext dieser neuen Technologie besonders offen sind und daher die überwiegend positiven Ergebnisse erfasst wurden. Auch wenn dies bedeuten könnte, dass Endnutzer für das System dann eine geringere Intention zur Nutzung aufweisen würden, kann die Intention dennoch mehr als ausreichend sein, um tatsächlich genutzt zu werden.

Da das E-BRAiN Projekt primär eine klinische Studie ist, war die technische Evaluation bereits eine Exkursion hinsichtlich des Projektumfangs. Auch die Menge an 11 Patienten war hinsichtlich des Planungsumfangs nicht gering bemessen. Für beide Therapiestandorte (BDH-Klinik Greifswald und Universitätsmedizin Greifswald) waren insgesamt 30 Patienten geplant. Während die ersten Patienten ab September 2021 aufgenommen wurden, folgte die Genehmigung der Evaluation erst Oktober 2022. Eine größere Evaluationserhebung im Rahmen des Projekts an diesem Ort wäre mit dementsprechender Studienlänge verbunden. Für eine größere Studie könnten andere Selektionskriterien oder Studienorte erwägt werden.

Zusätzlich wird hier auf die Homogenität und Selektion der Patienten verwiesen. Im Rahmen des E-BRAiN Projekts wurden Schlaganfalltherapien zur Rehabilitation von Armen und Händen und ein Training für einen visuellen Neglect betrachtet.

Die Projektmitarbeiter bemühten sich um die Einbeziehung von Patienten. Jeder interessierte Patient wurde untersucht und es kamen nur Patienten in Frage, für die eine realistische Chance zur Besserung im Zeitrahmen einer ca. 4-wöchigen Teilnahme bestand. Patienten, die den notwendigen Aufwand leisteten, wiesen vermutlich grundsätzlich eine hohe Motivation zur Teilnahme an der E-BRAiN-Studie auf.

Zu den Antworten der zwei Patienten (P03 und P04) mit retrospektiven Usability-Interviews können praktisch keine wesentlichen Unterschiede zu den anderen Patienten in den Aussagen erkannt werden. Die jeweiligen Antworten sind im Anhang A.5 zu finden. Lediglich eine Frage, die das aktive System erforderte und auf eine soeben beendete Übungsausführung abzielte, konnte nicht gestellt werden.

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

Im vorigen Abschnitt wurde der generelle Umgang und Eindruck mit dem System analysiert.

Um eine effektive Therapie zu ermöglichen, sollten Patienten abhängig von der jeweiligen Therapie an ihrer individuellen Leistungsgrenze trainieren. Dies ist beispielsweise dann erreicht, wenn zwar weitere Leistungssteigerungen erkennbar sind, aber nur noch in kleinen Schritten und langsam erfolgen. Diese Zielsetzung auf Leistungsgrenzen hängt besonders mit der Forschungsfrage 1 aus Abschnitt 1.3 zusammen, da in bestimmten Therapien eine Leistungsorientierung notwendig ist. Typischerweise hängen Steigerungen der Übungsleistung auch zu einem gewissen Teil mit klinisch messbaren Verbesserungen zusammen [243, 244, 245].

In diesem Abschnitt werden die Leistungsdaten zum AFT und Neglect-Training beschrieben. Für diese beiden Therapien sollen Patienten Übungen durchführen, die in verschiedenen Dimensionen bemessen werden. Zusätzlich wird speziell für das Neglect-Training das Roboterfeedback analysiert. Anhand dieser Werte kann beobachtet werden, in wie weit das System interagiert hat und welche Verbesserungen erkennbar sind. Diese Ergebnisse werden untersucht, mit Microsoft Excel visualisiert und hier diskutiert, um die wesentlichen Erkenntnisse vom Robotersystem als Trainingsgerät gewinnen zu können.

6.2.1 Leistungsdaten AFT

Für die Übungen des Arm-Fähigkeits-Trainings sollen Patienten die acht Aufgaben möglichst in immer kürzerer Zeit bearbeiten können. Wie in Abschnitt 3.3 zur AFT beschrieben, zielt die Therapie darauf auf, motorische Fähigkeiten durch wiederholte Übungsausführung zu verbessern.

Medizinisch wichtig ist vor allem, dass die Patienten an ihrer individuellen Leistungsgrenze trainieren. Die einzelnen "Arbeitspakete" einer Übung werden basierend auf den initialen medizinischen Screenings so gewählt, dass diese in einem bestimmten Zeitrahmen, ungefähr 60 Sekunden, zu bearbeiten sind. Diese Zeit dient als Benchmark und gilt es zu verbessern.

6.2.1.1 Methodik und Datenbasis

Der folgende Datensatz besteht aus den Leistungsdaten von 15 Schlaganfallpatienten, welche die AFT-Therapie im Rahmen der E-BRAiN Roboterstudie 2021-2024 durchgeführt haben. Unter den Teilnehmern befanden sich 8 Männer, 7 Frauen (46,7%-53,3%). Das Durchschnittsalter betrug 61,5 Jahre $\pm$ 12,3 Jahre.

Für jede Übung der AFT wurde die Zeit gemessen, die für die Bearbeitung des jeweils speziell für diesen Patienten definierten Arbeitspaket der jeweiligen Übung benötigt wird. In der Therapiesitzung wird das Übungsmaterial soweit vorbereitet und der Patient bestätigt mittels des neben ihm liegenden Tablets den Start der Übung. Sind z.B. (Übung 4) alle Münzen umgedreht worden, wird wiederum das Ende der Übung bestätigt und dieser Wert für eine Übung festgehalten. Für das Bestätigen des Übungsendes ist eine minimale Berührung des Bildschirms durch Patienten ausreichend, sodass keine Verzerrung des Übungsergebnisses zu erwarten ist.

Dieser Vorgang wird für alle Übungen einer Sitzung wiederholt. Grundsätzlich wird jede der acht Übungen jeweils vier Mal ausgeführt. Diese Daten werden im Folgenden durchschnittlich aggregiert, um über alle Patienten einen Eindruck über die durchschnittlich benötigte Bearbeitungszeit zu gewinnen.

Die hier beschriebenen Leistungswerte ergeben sich durch eine einfache durchschnittliche Betrachtung aller Übungen für jeden Therapiesitzungstag. Es wird die benötigte Zeit der jeweiligen Übung berücksichtigt. Jede Übung wird mit einer unterschiedlichen, gleichbleibenden Farbe dargestellt, die die durchschnittliche Bearbeitungszeit für die Sitzung abbildet.

6.2.1.2 Leistungswerte

Abbildung 6.4 zeigt einen Durchschnitt über alle Therapieübungen über alle Patienten hinweg. Die gestapelten und unterschiedlich gefärbten Balken repräsentieren jeweils eine Übung und wurden mit der jeweiligen Zeit beschriftet.

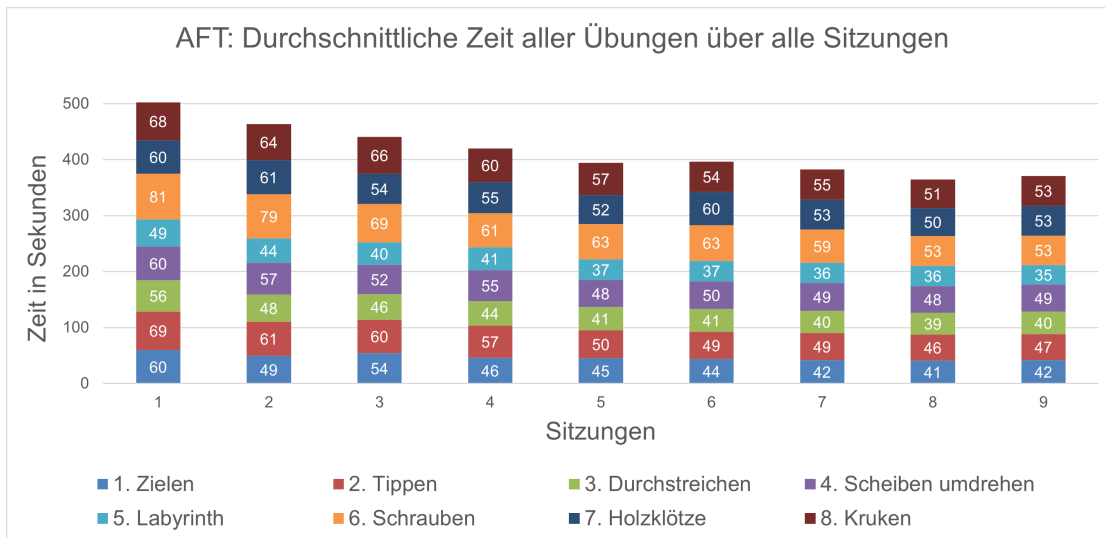


Abbildung 6.4: AFT alle Übungen: Durchschnittliche Zeit für jede Übung über alle Patienten und Sitzungen hinweg. Zahlenwerte sind auf ganze Sekunden gerundet.

Für einen prozentualen Vergleich vom ersten Trainingstag und dem letzten Trainingstag wurden folgende Werte ermittelt:

1. Zielen -30,0%
2. Tippen -31,9%
3. Durchstreichen -28,6%
4. Scheiben umdrehen -18,3%
5. Labyrinth -28,6%
6. Schrauben -34,6%
7. Holzklötze -11,7%
8. Kruken -22,1%

Insgesamt lässt sich ein deutlicher Trend erkennen, dass die Patienten im Verlauf der Sitzungen für alle Übungen weniger Zeit benötigen. Dies ist ein wichtiges Ergebnis, da

6 Evaluation des Systems

die entwickelte Robotertherapie einen vergleichbaren Effekt erzielt wie ein Training mit einem menschlichen Therapeuten.

Verläufe von einzelnen Patienten

Zur Verdeutlichung der potentiell großen Unterschieden zwischen Patienten und ihren Therapieverläufen, werden hier die Leistungsverläufe einzelner Patienten dargestellt.

Für eine nähere Betrachtung zeigen Abbildungen 6.5 und 6.6 Leistungsdaten von einzelnen Patienten.

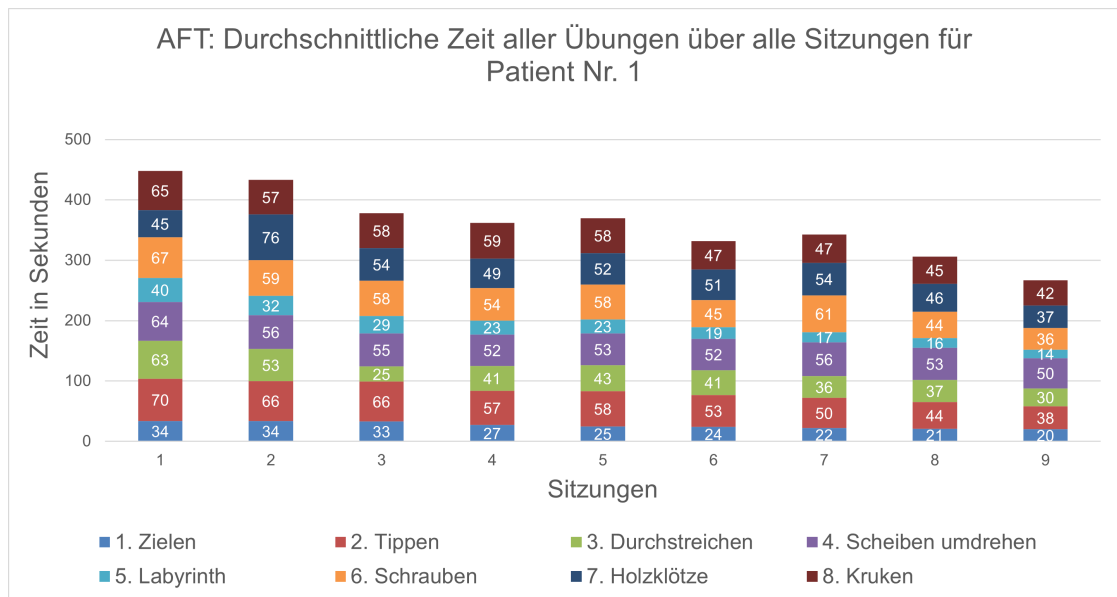


Abbildung 6.5: AFT Verlauf von Patient 1

Diagramm 6.5 zeigt die Leistung von Patient 1. Dieser erreicht bereits bei der ersten Sitzung leicht überdurchschnittlich schnellere Zeitwerte für die meisten Übungen. Über den Therapieverlauf kann sich dieser Patient nochmals verbessern.

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

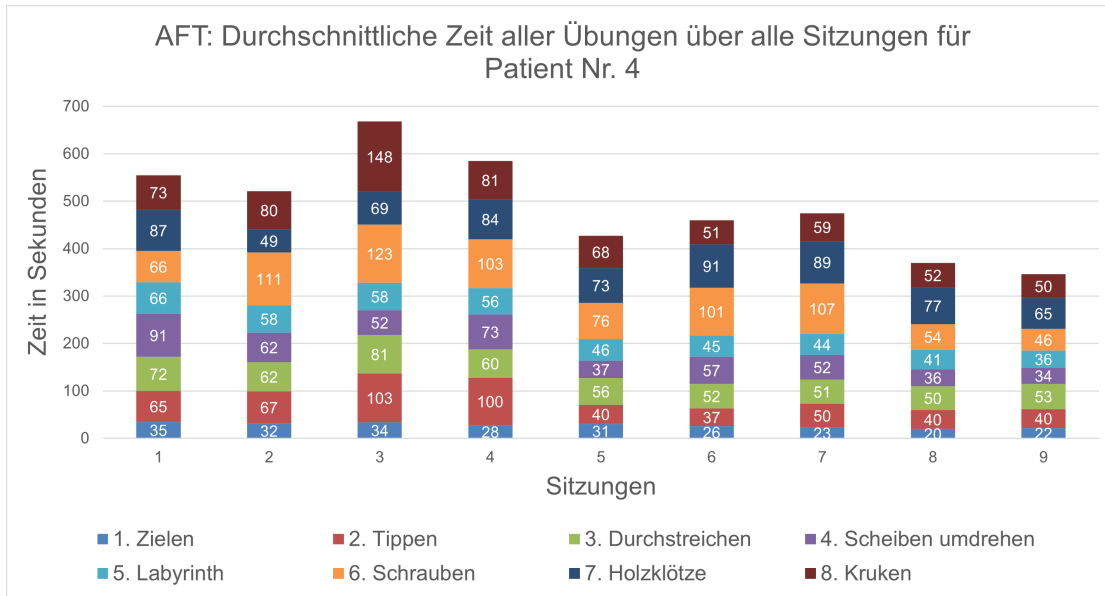


Abbildung 6.6: AFT Verlauf von Patient 2

Patient 2 erreicht ebenfalls deutliche Verbesserungen, wenn auch mit ungeraderem Verlauf im Diagramm 6.6. Er erreicht am ersten Sitzung leicht langsamere Übungszeiten im Vergleich zu den anderen Patienten. Am dritten und vierten Sitzungstag benötigt er relativ sogar mehr Zeit als im Vergleich zu den Vortagen. An den darauffolgenden Tagen verbessern sich die Werte wiederum deutlich und er kann dieses Tempo aufrecht erhalten.

6.2.1.3 Diskussion

Im Rahmen des E-BRAiN Projekts absolvierten Patienten jeweils neun Sitzungen mit dem E-BRAiN Robotersystem. Für die hier betrachtete AFT-Therapie zeigt das Diagramm 6.4 eine Verbesserung des durchschnittlichen Übungstempos für alle Patienten.

Diese Ergebnisse können nicht direkt eine medizinische Rehabilitation bemessen. In klinischen Studien werden überwiegend medizinische Assessments wie z.B. der Fugl-Meyer-Test verwendet und sonstige Übungsbetrachtungen bleiben eher im Hintergrund. Die klinischen Daten des E-BRAiN befinden sich derzeit noch in der Auswertung durch das medizinische Team. Daher können die im Rahmen des Projekts erhobenen Daten keine Aussage über die tatsächliche motorische Leistungsfähigkeit treffen. Grundsätzlich wird in medizinischen Studien jedoch ein positiver Zusammenhang nachgewiesen. Es ist

daher wahrscheinlich, dass bei den meisten Patienten ein klinisch messbarer Fortschritt erzielt wurde.

Publikationen zur Anwendung der AFT beschäftigen sich vorwiegend mit den klinischen Werten. Auf die tatsächlichen Übungszeiten wird nicht näher eingegangen.

Im Folgenden wird dennoch eine Betrachtung der einzelnen Übungen erstrebt.

Die Handicaps nach einem Schlaganfall sind individuell. Daher sind direkte Vergleiche zwischen den Patienten nicht möglich. Dennoch können die Verbesserungsraten zumindest einen Hinweis auf die Wirkungsweise der Robotertherapie liefern.

Übung 6 "Schrauben drehen" weist die höchste prozentuale Verbesserung mit -34,57% (81 zu 53 Sekunden) auf. Diese Aufgabe ist sowohl feinmotorisch als auch koordinativ anspruchsvoll und gleichzeitig alltagsnah. Das insbesondere bei solch einer komplexen Aufgabe ein solch gutes Ergebnis erreicht wird, ist ein positives Zeichen der Robotertherapie.

Die geringste Verbesserung wurde bei Übung 7 'Holzklötze' festgestellt. Möglicherweise bot diese Übung das geringste Verbesserungspotential.

Ebenfalls zeigt Abbildung 6.4, dass die größten Zeitgewinne innerhalb der ersten fünf Sitzungen realisiert wurden. Bei späteren Sitzungen scheint sich im Durchschnitt ein Plateau der Zeitverbesserungen zu bilden.

6.2.2 Neglect Training

Das Neglect Training bietet als vollständig digital implementierte Anwendung umfangreichere Einblicke in die Patientenhandlungen. Hinsichtlich des Neglect Trainings wird hier auf Grundlage der Sitzungen eine allgemeine Auswertung der Auswahlmodalitäten gegeben, bei Patienten selbst über die zu suchende Vorlage entscheiden konnten.

Darauffolgend werden die Leistungswerte des Neglect-Trainings zusammen mit der Roboterinteraktion beleuchtet.

6.2.2.1 Methodik und Datenbasis

8 Patienten (davon 6 Männer und 2 Frauen) mit einem linksseitigen Neglect haben bis zu 9 Sitzungen mit dem E-BRAiN System zwischen 2022-2024 absolviert. Das Durchschnittsalter betrug $65,5 \text{ Jahre} \pm 5,5 \text{ Jahre}$.

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

Die Aufgaben wurde im vorigen Kapitel 5.3.6.2 beschrieben. Bei diesen Übungen müssen Patienten je nach Aufgaben mit unterschiedlichen visuellen Reizen üben. Für diese Aufgaben sollen sich Patienten 30cm vor dem Monitor positionieren wie im Abschnitt 5.3.6.1 beschrieben. In einer festgelegten Zeit müssen sie dabei grundsätzlich möglichst viele optische Zielreize möglichst gut bearbeiten:

1. Optokinetische Stimulation: Auf der angezeigten Vorlage sollen sie ein Symbol berühren, welches sie dann mit den Augen ohne Kopfbewegung verfolgen sollen. Ist es nur noch 3 cm vom Bildschirmrand entfernt oder 3 Sekunden nach Verlassen des Bildschirmrands, soll es verbal mit dem Wort "Jetzt" genau **"richtig"** bestätigt werden. Wird dies versäumt, ist das Symbol **"zu spät"** erkannt worden, und kam das "Jetzt" zu früh, gilt es als **"zu früh"** erkannt. Patienten führen die Übung in mehreren Runden mit jeweils einer Übungsdauer von 180 Sekunden durch.
2. Blicksakkaden: Die Aufgabe besteht darin, auf einer angezeigten Vorlage das jeweilige Zielsymbol genau zu berühren. Gemessen wird, ob das Symbol **"genau getroffen"**, **"nicht genau getroffen"** oder **"nicht gefunden"** wurde. Eine Übungsrunde dauerte 180 Sekunden und bestand aus einer Schleife, in der den Patienten Explorationsvorlagen mit einem Zielsymbol präsentiert wurden. Pro Sitzung durchliefen Patienten im Durchschnitt zwei bis drei Übungsunden.
- 3a-c. Visuelle Exploration: Die Durchführung der Aufgaben der visuellen Exploration ist im Abschnitt 5.29 beschrieben. Die Durchführung der Aufgaben 3a, 3b und 3c folgen einer ähnlichen Struktur: In einer festgelegten Zeit sollen möglichst viele **Vorlagen (Stufe 1-5)** und **Zielreize** (absolut) bearbeitet werden. Grundsätzlich wird die Gesamtübungszeit der visuellen Exploration mit allen drei Aufgaben geplant (5-10 Minuten).

Die Leistungswerte jeder Übung wurden in der E-BRAiN Datenbank gespeichert und werden hier dargestellt.

Ab der Aufgabe 2 "Blicksakkaden" ist der "Hilfe"-Modus implementiert, der mit der Anwendung einer kompensatorischen Suchstrategie ein zentraler Bestandteil des therapeutischen Konzepts ist. Das Robotersystem unterstützt mit Feedback-"Prompts", wo sich der nächste Zielreiz befindet.

6 Evaluation des Systems

Grundsätzlich wurden folgende Hinweise gegeben:

- Hilfestellung für **nahes** Sichtfeld: Roboter musste im näheren Sichtfeldbereich unterstützen, also die theoretisch weniger geschädigte Sichtfeldseite.
- Hilfestellung für **weites** Sichtfeld: Roboter musste im weiteren Sichtfeldbereich unterstützen, also die theoretisch mehr geschädigte Sichtfeldseite.

Grundsätzlich ist es ein besseres Indiz, dass mehr Hilfe für weiter entfernt liegenden Zielreize gegeben wird, da dies zeigt, dass näheren Zielreize bereits gefunden wurden. Je nach Umständen kann dies bedeuten, dass die Patienten sich bereits in ihrer Leistung verbessert haben.

Wenn das System mit einem solchen Prompt hilft, wird das in Interaktionslogs festgehalten. Diese Interaktionswerte wurden aus den jeweiligen Therapiestzungslogs analysiert und zu den entsprechenden Sitzungstagen verbunden.

6.2.2.2 Leistungswerte und Roboterinteraktion

Für die folgenden Betrachtungen werden die Aufgaben 1, 2, 3a, 3b, 3c einzeln betrachtet. Ab der zweiten Aufgabe werden zusätzlich die ausgelösten Hilfestellungen für den Hilfe-Modus dargestellt.

Aufgabe 1 "Optokinetische Stimulation"

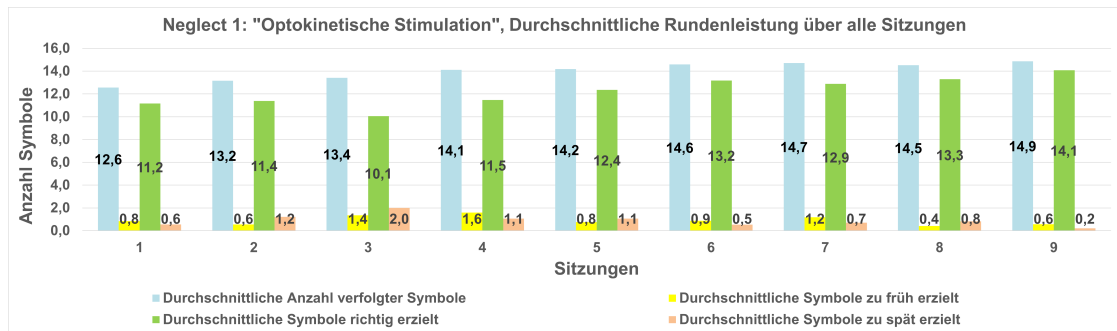


Abbildung 6.7: NVT Übung 1 "Optokinetische Stimulation": Leistungsdiagramm aller Übungsrunden über alle Sitzungen hinweg. Für jede Übungsrunde wird die durchschnittliche Anzahl aller selektierten Symbole dargestellt (Patienten haben durch Berührung ein Symbol zum Verfolgen ausgewählt) und jeweils wie viele dieser Symbole genau richtig, zu früh oder zu spät erzielt wurden.

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

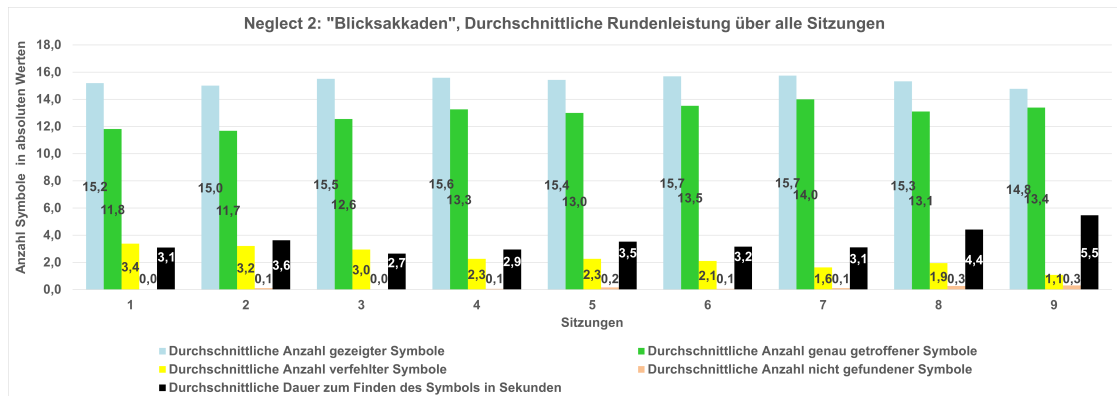
Ähnlich wie zur Diskussion der AFT-Ergebnisse im vorigen Abschnitt ist ein direkter Durchschnittsvergleich mit Vorsicht zu betrachten, da z.B. die Schweregrade der Handicaps sehr unterschiedlich sind und Patienten daher z.B. auf deutlich unterschiedlichen Leistungsebenen starten und sich verbessern können. Daher sind die Ergebnisse primär als Indizien für einen Therapieerfolg zu werten, der letztendlich nur durch klinische Assessments bemessen werden kann.

Die Abbildung 6.7 zeigt die durchschnittliche Leistung über die Patienten hinweg. Durchschnittlich wurden pro Runde 14,0 Symbole gesucht, davon 12,2 genau richtig getroffen, 0,9 wurden zu früh erzielt und 0,9 wurden nicht rechtzeitig bemerkt. Es sind keine größeren Schwankungen sichtbar.

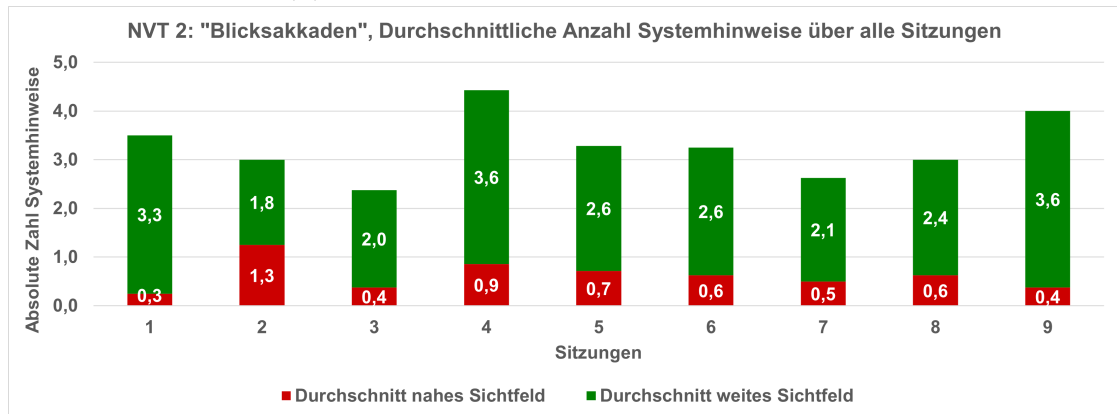
Bei dieser Therapie ist die Zahl der maximal verfolgbaren Symbole mit einer 3-Minuten Runde begrenzt. Je nachdem wie die Driftgeschwindigkeit eingestellt wird und wie weit das Symbol vom Rand entfernt ist, dauert eine Symbolverfolgung nur wenige Sekunden. Nachdem ein Symbol bearbeitet wurde, kann praktisch sofort nach dem nächsten Symbol gesucht werden. Dementsprechend ist das Verhältnis bzw. die absolute Zahl an genau richtig angesagten Symbolen für die Leistung ausschlaggebend. Ausgehend von diesem Wert ist ein leichter Aufwärtstrend zu erkennen, in den letzten beiden Sitzungen die höchsten Werte für die "richtig erzielten" Symbole gemessen wurde.

Verglichen mit der ersten Sitzung und der letzten haben Patienten ~18,3% (12,6 zu 14,9) mehr Symbole verfolgt und haben auch ~25,9% (11,2 zu 14,1) mehr richtig erzielte Symbole. In der letzten Sitzung wurden auch am wenigsten Symbole zu spät bemerkt (mit durchschnittlich 0,2 Symbolen). Die Daten legen also nahe, dass die Patienten mit der Zeit immer besser wurden.

Aufgabe 2 "Blicksakkaden"



(a) Durchschnittliche Runden-Übungswerte



(b) Durchschnittliche Hilfestellungen je Sitzung

Abbildung 6.8: Neglect-Training Übung 2 "Blicksakkaden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Abbildung 6.8a zeigt die durchschnittliche Leistungsentwicklung der Patienten über die Therapiesitzungen hinweg.

Über alle Sitzungen hinweg wurden pro Runde durchschnittlich 15,4 Symbole angezeigt und davon 12,9 genau getroffen. Im Schnitt wurden 2,4 Objekte nicht genau getroffen und mit einem Wert von 0,1 kam es praktisch nur selten vor, dass eine Vorlage nicht gefunden wurde. Grundsätzlich ist es medizinisch gewollt und implementiert, dass sobald irgendwo auf dem Bildschirm eine Berührung registriert wird, das Symbol als "nicht genau getroffen" markiert gilt. Dies wird auch durch die geringe Zahl an nicht gefundenen Vorlagen deutlich.

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

Grundsätzlich blieb die Menge an bearbeiteten Vorlagen ungefähr konstant, obgleich in der letzten Sitzung am wenigsten bearbeitet wurden mit 14,8. Andererseits sank die durchschnittliche Zahl nicht genau getroffener Symbole. Während Patienten bei der ersten Sitzung 15,2 Vorlagen bearbeiteten, sank dieser auf 14,8 in Sitzung neun. Die Zahl der genau getroffenen Symbole stieg dafür von 11,8 auf 13,4 und verbessert somit das Verhältnis der genauen Treffer zur angezeigten Vorlagenrate von 77,6% auf 90,5%. Die durchschnittliche Bearbeitungsdauer je Symbol blieb ungefähr konstant. Lediglich in der letzten Sitzung wird durch die leicht verringerte Zahl an bearbeiteten Vorlagen auch mehr Suchzeit registriert.

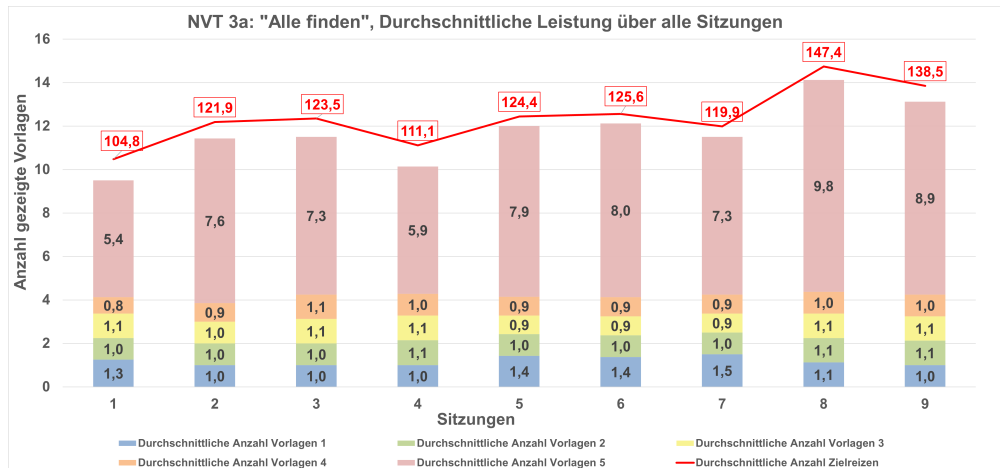
Hilfestellungen: Ein zentraler Bestandteil des Robotersystems ist der integrierte Hilfsmodus, der Patienten beim Auffinden von Zielsymbolen unterstützt. Wie in Abschnitt 5.26a dargestellt, wird eine Hilfestellung ausgelöst, wenn nach 5 Sekunden keine Berührung erfolgt. Diese Hilfestellung enthält eine Information darüber, in welchem Bereich des Bildschirms sich das Symbol befindet. Für die Therapie sind sowohl die Häufigkeit der Hinweise als auch deren Position (nahes oder weite Sichtfeld) von Bedeutung.

Die Abbildung 6.8b stellt die durchschnittliche Anzahl an Hilfestellungen pro Therapie-sitzung dar, die vom Robotersystem erteilt wurden.

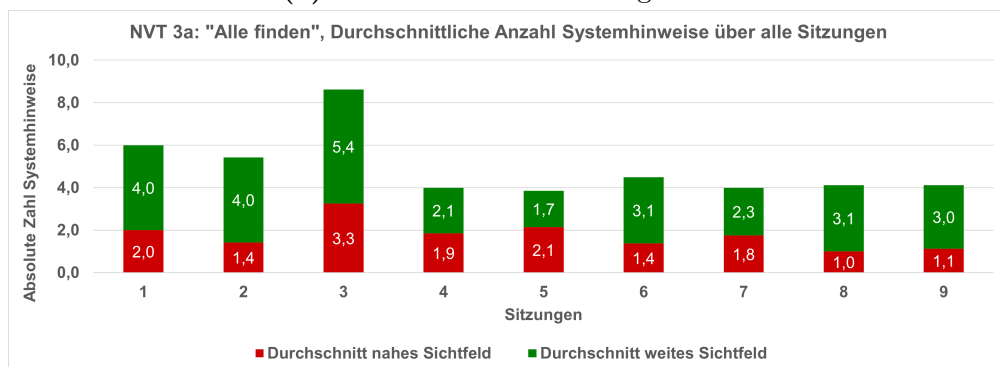
Durchschnittlich hat das Robotersystem pro Sitzung 3,3 einen Hinweis für ein Symbol gegeben. Ein klarer Trend bezüglich des Hilfsbedarfs lässt sich nicht erkennen. Der Durchschnitt für nahe Hilfestellung beträgt 0,6 und für weite entfernte Reize 2,7 über alle Sitzungen hinweg. Die Verteilung der Hilfestellungen ist im Rahmen der Erwartungen. Das Zusammenspiel zwischen der Anzahl an Systemhinweisen und dem Übungsverhalten der Patienten lässt sich nur begrenzt interpretieren. Es zeigt sich jedoch, dass bei längerer Suchdauer tendenziell mehr Hilfestellungen ausgelöst werden. In Sitzung 9 wurde zwar die geringste Anzahl an Vorlagen präsentiert, gleichzeitig stieg jedoch die Anzahl an Hilfestellungen im Vergleich zu den vorangegangenen Sitzungen wieder leicht an. Dies könnte ein Zeichen sein, dass Patienten in der neunten Sitzung bewusster mit den Hilfestellungen des System gearbeitet haben.

Aufgabe 3a Visuelle Exploration "Alle finden"

Für die Aufgabe 3a "Alle finden" zeigt die Abbildung 6.9a die durchschnittliche Leistungsentwicklung über alle Sitzungen hinweg. Die farbigen gestapelten Balken zeigen die durchschnittliche Anzahl erfolgreich gelöster Vorlagen pro Schwierigkeitsstufe. Die rot markierte Linie mit roter Beschriftung markiert die durchschnittliche Gesamtzahl tatsächlich gefundener Zielreize pro Sitzung.



(a) Durchschnittliche Übungswerte



(b) Durchschnittliche Hilfestellungen

Abbildung 6.9: Neglect-Training Übung 3a "Alle finden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Die Patienten lösen im Durchschnitt je eine Vorlage der Stufen 1-4, bevor sie die Vorlagen der Stufe 5 erreichen, an welchen sie dann auch bis zum Übungsende weiterarbeiten. Ausnahmen bilden Sitzungen 1 und 2, in welchen teilweise nicht Stufe 4 oder 5 erreicht wurde, sichtbar an Werten von unter 1,0. Die Zahl bearbeiteter Vorlagen der Stufe 5

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

beträgt durchschnittlich 7,6 pro Sitzung.

Die Patienten entdeckten im Schnitt 124,3 Zielreize über alle Sitzungen. Es ist ein Aufwärtstrend für die Zielreize erkennbar, auch wenn Leistungsschwankungen vorhanden sind. Die Anzahl an erfolgreich bearbeiteten Vorlagen korreliert auch mit der Zahl getroffener Zielsymbole (106,8 zu 145,0).

Abbildung 6.9b veranschaulicht die dazugehörige durchschnittliche Anzahl der vom System gegebenen Hilfestellungen über alle Sitzungen hinweg.

Durchschnittlich wurden 5,0 Hilfestellungen mit 1,8 für das nahe und 3,2 das weite Sichtfeld ausgelöst. Der Bedarf an Hilfestellungen sinkt nach den ersten drei Sitzungen und verbleibt danach konstant.

Verbunden mit der Leistungsentwicklung beim Auffinden von Zielreizen zeigt dies, dass der Hilfsmodus auch bei erhöhtem Tempo nützlich sein kann.

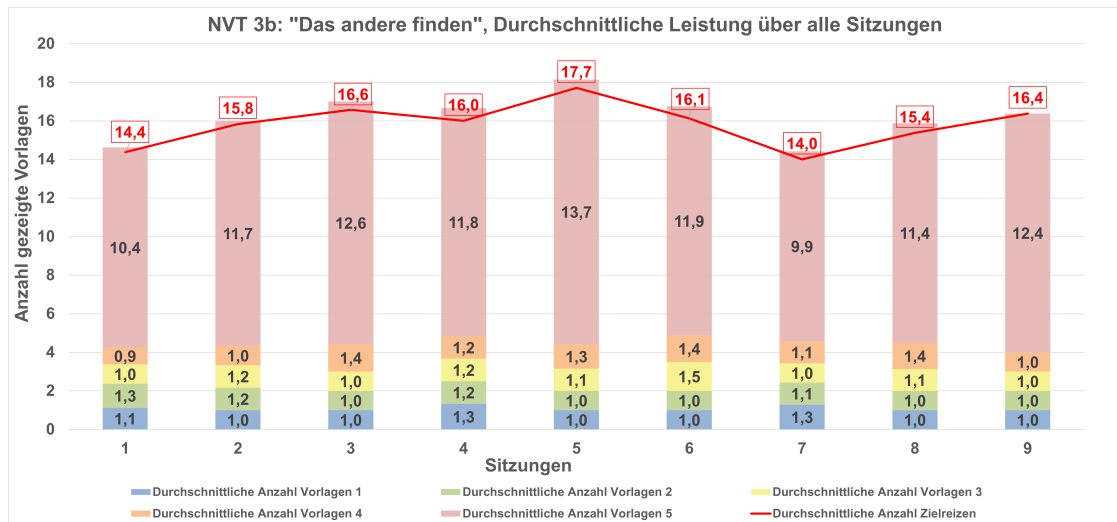
Aufgabe 3b Visuelle Exploration "Das andere finden"

Die Aufgabe 3b „Das andere finden“ generiert Explorationsvorlagen, die im Aufbau den Vorlagen aus Aufgabe 3a vergleichbar sind. Der zentrale Unterschied besteht in der Aufgabenstellung. Während in Aufgabe 3a mehrere Zielreize erkannt werden müssen, wird in Aufgabe 3b nur ein einzelnes, abweichendes Symbol gesucht.

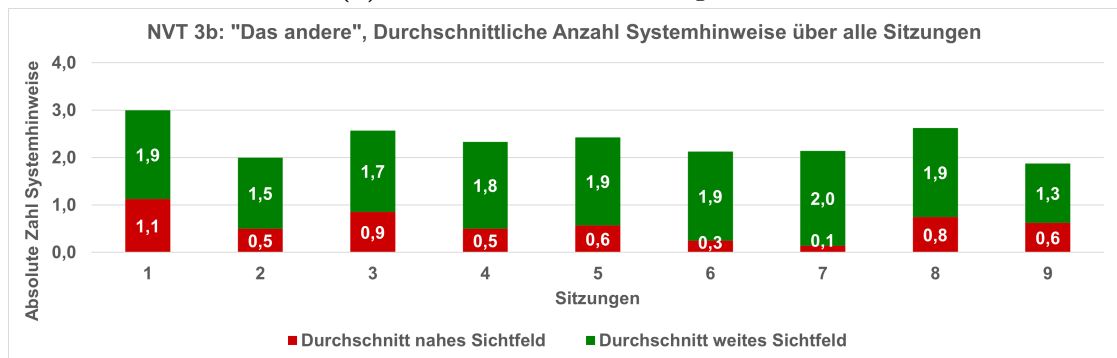
Abbildung 6.10a zeigt die durchschnittliche Leistungsentwicklung über alle Sitzungen hinweg.

Wie bereits bei der vorigen Aufgabe werden auch hier die gezeigten Vorlagen der jeweiligen Schwierigkeitsstufen sowie die Anzahl der korrekt identifizierten Zielreize dargestellt. Die Daten zeigen, dass die Patienten meistens zügig die Stufe 5 Vorlagen erreicht haben und ab diesem Zeitpunkt bis zum Ende der Trainingssitzungen überwiegend auf dieser höchsten Schwierigkeitsstufe trainierten. Im Gegensatz zur Aufgabe 3a werden hier die Vorlagen der Stufen 1 bis 4 jedoch auch manchmal mehrfach bearbeitet, was sich auch in den Durchschnittswerten von zum Teil mehr als 1,0 pro Sitzung widerspiegelt. Das bedeutet, dass bestimmte Patienten auch keine Vorlagen dieser Stufen erreichten, erkennbar an Werten unter 1,0. Wird eine Vorlage nicht erfolgreich bearbeitet, so wird für als nächste eine Vorlage der jeweils niedrigeren Stufe generiert.

Die Patienten erreichten über alle Sitzungen hinweg durchschnittlich 15,8 Zielreize und 11,7 Stufe 5 Vorlagen. Insgesamt schwankt die Zahl der getroffenen Zielreize zwischen 14 und 17,7 und ein eindeutiger Trend ist nicht erkennbar.



(a) Durchschnittliche Übungswerte



(b) Durchschnittliche Hilfestellungen

Abbildung 6.10: Neglect-Training Übung 3b "Das andere finden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Durchschnittlich half das System 2,2 Mal mit einem Hinweis. Wie bei der Aufgabe 3a zeigt sich, dass die meisten Hilfestellungen für das weit entfernte Sichtfeld gegeben wurden. Durchschnittlich wurde mit 1,6 Hinweisen für das weit entfernte und 0,6 Hinweisen für das nahe Sichtfeld geholfen.

Eine direkte Leistungssteigerung ist hier anhand der Zahl der Zielreize oder Vorlagen der stufe 5 nicht eindeutig festzustellen.

Ein Grund für eine Stagnation der Zielreize und Stufe 5 Vorlagen könnte sein, dass in der Übungszeit nicht wesentlich mehr Explorationsvorlagen bearbeitet werden können,

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

da jede Vorlage auch mit einem anschließenden Übergang verbunden ist, der die gelöste Explorationsvorlage bestätigt und die Patienten auffordert sich wieder auf das rote und weiße Fixationskreuz zu konzentrieren.

Die Betrachtung der Zahl der angezeigten Übungsvorlagen der Stufen 1-4 gibt zusätzliche Hinweise auf eine Leistungssteigerung. In den meisten Sitzungen lagen die Durchschnittswerte dieser Stufen geringfügig über oder unter dem Wert von 1,0 Vorlagen pro Stufe. Erst in Sitzung 9 erreichten die Patienten in allen vier Stufen exakt diesen Zielwert.

Anders ausgedrückt, während es in den vorherigen Sitzungen einigen Patienten bereits gelang, Vorlagen der Stufe 1-4 erfolgreich zu bearbeiten, gelang es den Teilnehmenden in Sitzung 9 erstmals, durchgehend Vorlagen der Stufen 1 bis 4 nur einmal zu durchlaufen. Dies kann als Zeichen einer Leistungssteigerung interpretiert werden.

Aufgabe 3c Visuelle Exploration "Objekte auf Fotos finden"

Die Aufgabe 3c verfolgt dieselbe Ablaufstruktur wie die vorigen Aufgaben der visuellen Exploration und ist die vermutlich alltäglichste Übung, da die Patienten hier auf Fotos nach realen Objekten suchen. Wie schon zuvor anhand verschiedener Beispielfotos 5.30 im Abschnitt zum technischen Ablauf 5.3.6.6 dargestellt, sind die Fotoserien sehr unterschiedlich und stellen verschiedene Herausforderungen an die Patienten.

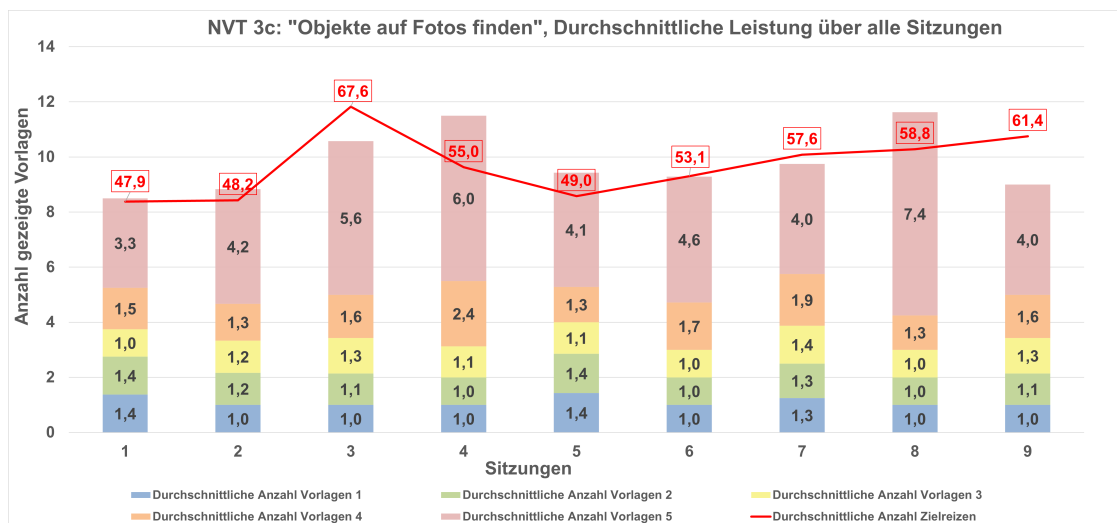
Abbildung 6.11a zeigt die durchschnittliche Leistungsentwicklung der Patienten in Aufgabe 3c über alle neun Sitzungen hinweg. Durchschnittlich wurden 55,5 Zielreize entdeckt und 4,8 Stufe 5 Vorlagen angezeigt.

Hinsichtlich der absoluten Zahl gefundener Zielreize lässt sich ein leichter Aufwärtstrend erkennen. In den ersten beiden Sitzungen wurden die niedrigsten Mittelwerte erreicht (47,9 in Sitzung 1 und 48,2 in Sitzung 2), während Sitzung 9 mit durchschnittlich 61,4 Zielreizen den höchsten Wert aufweist. Dieser Trend deutet auf eine Verbesserung der Leistung im Verlauf des Trainings, mit überdurchschnittlich leistungsstarken Sitzungen 3 und 4, hin. Die dritte Sitzung fällt hier besonders auf, da zufällig häufiger die "Fenster"-Fotoserie gewählt wurde, die deutlich mehr Zeilreize pro Vorlage bietet.

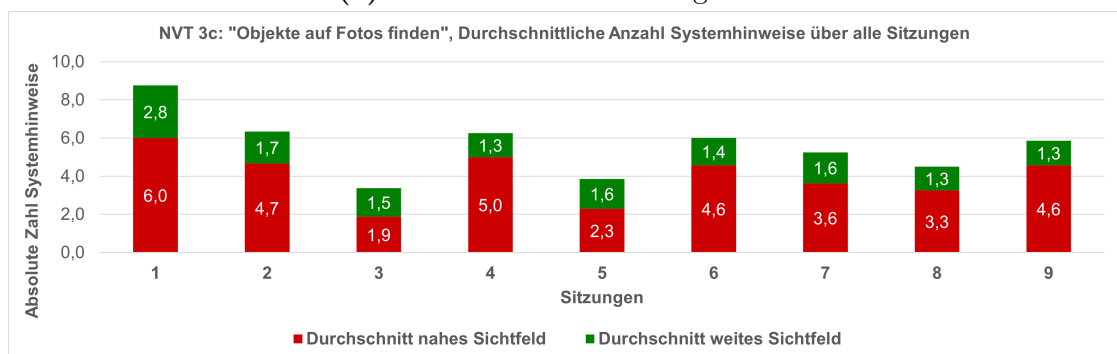
Die Anzahl bearbeiteter Vorlagen blieb über die Sitzungen hinweg relativ konstant. In den Sitzungen 1–5 bearbeiteten die Patienten häufig mehr als eine Vorlage pro Schwierigkeitsstufe der Stufen 1-4, was darauf hinweist, dass nicht alle Vorlagen erfolgreich (mindestens 90% gefundene Zielreize) bearbeitet wurden.

Auffällig ist eine intensivere Nutzung von Hilfestellungen, da das Robotersystem in dieser Übung des Neglect Trainings hier am meisten mithalf. Die durchschnittliche Anzahl an

6 Evaluation des Systems



(a) Durchschnittliche Übungswerte



(b) Durchschnittliche Hilfestellungen

Abbildung 6.11: Neglect-Training Übung 3c "Objekte auf Fotos finden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Hilfestellungen beträgt 5,6 pro Sitzung und variiert zwischen 3,4 in Sitzung 3 und 6,8 in Sitzung 1. Es lässt sich kein Trend im Bedarf der Hilfestellungen erkennen, obwohl die Zahl gefundener Zielreize im Verlauf ansteigt. Dies legt nahe, dass der Unterstützungsbedarf trotz Leistungszuwachs bestehen bleibt.

Bezüglich der Aufteilung der Hilfestellungen zwischen nahen und weitem Sichtfeld-Bereichen zeigen sich hier Unterschiede im Vergleich zu den anderen Übungen. Etwa 71% der Hilfestellungen betreffen Zielreize im nahen Sichtfeld, während nur rund 29% im weiten Sichtfeld gegeben werden. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Herausforderung

in dieser Aufgabe weniger im räumlichen Auffinden der Zielreize liegt, sondern vielmehr im detaillierten visuellen Erkennen von Objekten im Sichtbereich.

Diese Verteilung mit einer Mehrzahl an Hilfestellungen für das nahe Sichtfeld setzt sich vermutlich aufgrund der Bearbeitungsschwierigkeit mit komplexen realistischen Vorlagen zusammen. Grundsätzlich soll bei der visuellen Suche ein Zielreiz von den anderen, ablenkenden Objekten (Distraktoren) differenziert werden. Insgesamt ist eine hohe Reizähnlichkeit zwischen Zielreizen und Distraktoren [246] damit verbunden, dass die visuelle Suche schwieriger wird. Die Eigenschaft eines Zielobjekt, die es von den Distraktoren unterscheidet, wird als "Pop-out" Eigenschaft [247] bezeichnet. Je höher diese Eigenschaft ist, umso schneller gelingt die Suche.

Doch insbesondere Szenen aus der realen Welt sind komplex und heterogen [248] und grundsätzlich kann jedes Objekt ein Zielobjekt sein. Die Zielreize auf realistischen Vorlagen unterscheiden sich nicht deutlich von den Distraktoren und relevante Merkmale der Zielreize sind möglicherweise nicht gut zu unterscheiden von irrelevanten Einzelheiten.

Im Gegensatz zu den Aufgaben 3a und 3b korreliert die Zahl der bearbeiteten Vorlagen in Aufgabe 3c nicht direkt mit Zahl an getroffenen Zielreize. Ein Grund hierfür ist die variable Komplexität und Zielreizdichte der zugrundeliegenden Fotovorlagen. Je nach ausgewählter Bildserie variiert die Anzahl an Zielreizen deutlich. Bestimmte Fotoserien haben eine höhere Zahl an Zielreizen pro Explorationsvorlage und die Zielreize sind visuell auffälliger. Diese Unterschiede können die Leistung der Patienten maßgeblich beeinflussen. Auf die Fotoserien wird später noch genauer eingegangen.

Übungsvorlagen der Aufgabe 3c

Anders als die Übungen 3a und 3b, die jeweils dynamisch generierte Vorlagen einsetzen, hat das medizinische Team die Fotovorlagen für die Übung 3c gestaltet.

Für die Aufgabe 3c "Visuelle Exploration auf Fotos" zeigt das Diagramm 6.12 wie die durchschnittliche Verteilung von Zielreizen pro Fotoserie und Vorlagenstufe liegt. Das Diagramm soll hier die Schwierigkeit der Vergleichbarkeit zwischen der Aufgabe 3c mit den Aufgaben 3a und 3b darstellen und auch innerhalb der Übung 3c selbst.

Anhand des Diagramms werden die Unterschiede der jeweiligen Fotoserien deutlich. Grundsätzlich haben Stufe 5 Vorlagen mehr Zielreize pro Bild. Das bedeutet, dass je mehr Zeit auf Stufe 5 Vorlagen eingesetzt wurde, umso mehr Zielreize konnten entdeckt werden.

6 Evaluation des Systems

Der entscheidende Faktor sind die Unterschiede zwischen den Fotoserien. Patienten die beispielsweise die "Fenster"-Fotoserie aussuchten, konnten durchschnittlich auf jeder Vorlage in allen Schwierigkeitsstufen mehr Zielreize entdecken. Dies kann potentiell auch die besonders hohen Leistungen der Sitzungstage 3 und 4 der Aufgabe 3c erklären.

Diese Verteilung erschwert zudem auch eine direkte Vergleichbarkeit zwischen den Sitzungen und Patienten und daher sollten die Zahl der Vorlagen und die getroffenen Zielreize aus diesem Blickwinkel betrachtet werden. Aus therapeutischer Sicht wird lediglich eine Abwechslung der verwendeten Vorlagen vorausgesetzt. Technisch wurde dies so umgesetzt, dass zwischen den Ausführungen einer Übung nicht zweimal hintereinander dieselbe Serie (bzw. Symbol und Form) ausgewählt werden kann.

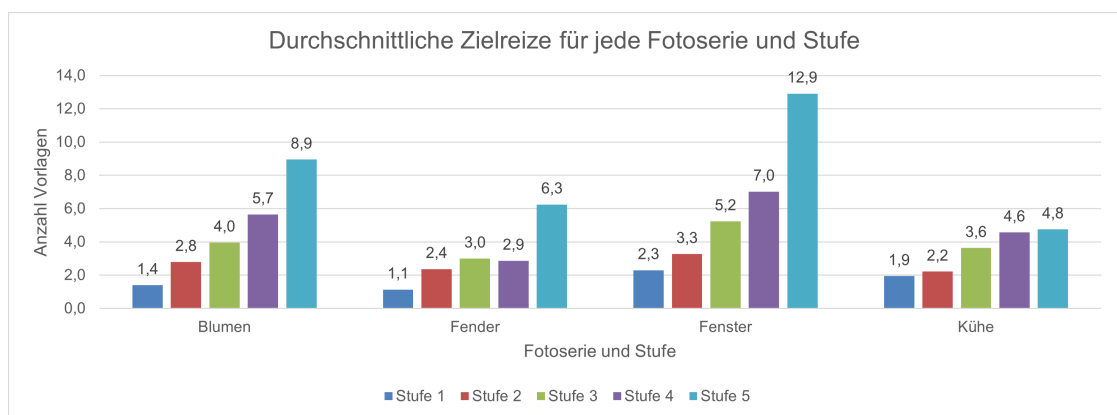


Abbildung 6.12: NVT3c "Objekte auf Fotos finden": Vergleich der Fotoserien hinsichtlich der Zahl der Zielreize über alle Schwierigkeitsstufen

6.2.2.3 Diskussion

Grundsätzlich ist es wichtig, dass Patienten an ihrer individuellen Leistungsgrenze trainieren, ähnlich wie beim Armfähigkeitstraining.

Bei allen Übungen wurde sichtbar, dass die Patienten sich im Laufe der Sitzungen in verschiedenen Metriken verbessert haben. Je nach Aufgabe wurden verschiedene Leistungsentwicklungen und Verhaltensweisen beobachtet: Patienten trafen entweder mehr Zielreize richtig (Übung 1), wurden treffsicherer (Übung 2), fanden mehr Zielreize (Übung 3a und 3c) oder konnten schwierigere Vorlagen lösen (Übung 3b).

Grundsätzlich lässt sich durch die Verbesserungen im Verlauf der Sitzungen zeigen, dass es eine Leistungsgrenze gab, die dann aber auch kleinschrittig überwunden wurde, sodass

6.2 Evaluation der AFT und des Neglect-Trainings

ein Training an Leistungsgrenze stattgefunden hat. Insofern bietet das System bereits hier den wichtigsten Beitrag mit einem leistungsorientierten Training.

Als Ergänzung werden zur Darstellung der individuellen Unterschiede zwischen den Patienten(-therapien) im Anhang A.8 zwei ausgewählte Patienten-Übungsverläufe präsentiert.

Auch wenn keine klinischen Assessmentwerte vorliegen, ist ein positiver Zusammenhang zwischen den gesteigerten Übungswerten und klinischen Messwerten wahrscheinlich.

Um eine möglichst effektive Rehabilitation zu ermöglichen, wurden mit den Übungen der OKS, Blicksakkaden und visueller Exploration bekannte und klinisch erprobte Trainingsmethoden eingesetzt.

In Studien bekannter Forscher wie Kerkhoff et al. [112] haben Neglect-Patienten standardisiertes Training (3x die Woche über 2 Wochen) mit ausschließlich einem Übungstyp (visuelle Exploration) keine messbaren Fortschritte in den klinischen Assessments erzielt, obwohl die Übungsleistung besser wurde. Dieselben Patienten absolvierten anschließend ein OKS-Training mit 5 Sitzungen über einen Zeitraum von 10-14 Tagen und mit dieser Therapiemethode konnten klinische Fortschritte erzielt werden.

Das implementierte Übungsangebot bietet ein vielfältige Therapiemöglichkeit, von denen bereits die einzelnen Aufgaben 1, 2 und 3 klinische Verbesserungen erzielen und Alltagsstrategien erlernen können. Durch die Bündelung dieser Therapieformen wird das Spektrum breiter abgedeckt, um die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Therapieerfolgs zu erreichen.

Grundsätzlich, gibt es für ein Neglect Syndrom keine einheitliche Therapie und die Therapieeinsätze sind verschieden. Auch werden aktuell noch neue Therapieansätze für z.B. bislang weniger erforschte, spezielle Symptome einer Neglect-Störung entwickelt [249] und auch Weiterentwicklungen mit VR und AR werden erprobt [250].

Die hier entwickelte Therapie kann in ihren Funktionen mit anderen modernen Entwicklungen [249] verglichen werden. Diese Systeme bieten ähnliche Aufgaben an, aber auch zusätzliche Funktionen für die klinische Arbeit wie Diagnostik und andere Aufgabenarten. Ansätze die noch in das E-BRAiN System ergänzt werden können, wären beispielsweise Übungen für das Lesen und das Arbeitsgedächtnis. Ähnlich wie hier soll die Software ebenfalls intensiv mit 5x die Woche und jeweils 30 Minuten Arbeitszeit eingesetzt werden. Ebenfalls bietet die Software eine "Heimtraining"- Funktion an. Dennoch wird auch da empfohlen, dass eine medizinische Fachkraft den Übungsfortschritt des Patienten verfolgen soll. Die Autoren erwähnen, dass sich die Form eines supervidierten Heimtrainings

bereits als wirksamer erwiesen hat [251, 249] als wenn die Übungsleistungen nicht geprüft werden.

Im Rahmen der Mensch-Roboter-Interaktion durch die Hilfestellungen könnte erwartet werden, dass die Patienten, im Laufe der Zeit weniger oder keine Hilfestellungen mehr benötigen. Bei den Aufgaben 2, 3a, 3b und 3c konnte diese Beobachtung in den neun durchgeführten Sitzungen nicht gemacht werden. Im Schnitt haben alle Patienten die Hilfestellungen benötigt und je nach Übung auch mehrfach pro Übung. Während in den ersten Sitzungen noch mehr Hilfestellungen benötigt wurden, sank die Anzahl und blieb auf einem niedrigeren Niveau konstant. Aus meinen Beobachtungen der Patientensitzungen finden Patienten zügig die ersten Reize, benötigen aber für die verbleibenden Reize mehr Zeit als für die zuerst gefundenen. Patienten arbeiteten praktisch immer recht zügig an den Vorlagen, bis ein Zielreiz nicht mehr alleine gefunden werden kann. Daher erscheint es als unwahrscheinlich, dass Hilfestellungen gar nicht mehr benötigt werden. Auf der anderen Seite ist die Sitzungszahl mit neun Sitzungen und einer begrenzten Zahl an Patienten, um genug Rückschlüsse über die Interaktion sagen zu können. Grundsätzlich könnte in einer künftigen Therapiestudie mit längerer Studiendauer der Nutzungsverlauf der Hilfestellungen genauer beobachtet werden.

Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Menge an Hilfestellungen insgesamt oder im Verhältnis zur Leistung gut oder schlecht ist. Die hier implementierte Übung ist experimentell im Rahmen des E-BRAiN Projekts entwickelt worden und es gibt keine klaren Vergleichswerte, insbesondere in Verbindung mit der Übungsleistung der Patienten, da im klinischen Kontext der Fokus typischerweise auf die klinischen Assessments liegt.

Das Neglect-Training wurde so entwickelt, dass der Schwierigkeitsgrad in den Übungen 1 und 2 durch Therapeuten eingestellt wird und die Schwierigkeit der Aufgaben 3a-c sich dynamisch anpasst. Daher ist es nicht überraschend, dass die Zahl der Hilfestellungen in einem bestimmten Verhältnis zur Zahl der Zielreize und Zielvorlagen steht.

Der Zusammenhang zwischen den Hilfestellungen und der Übungsleistung der Patienten wurde in Grundzügen betrachtet, lässt aber noch Raum für weitere Untersuchungen. In einer analogen Neglect Trainingssitzung mit einem menschlichen Therapeuten gäbe es theoretisch mehrere Hilfeebenen, die eingesetzt werden. Die erste Ebene weist darauf hin, dass noch Objekte zu finden sind, die zweite in welchem Bereich sich das Objekt befindet und die dritte Ebene lokalisiert den Suchbereich durch Beschreibung der näheren

Umgebung. Beispielsweise durch "schauen Sie über die beiden Kreise nach oben". Im Rahmen der Therapie wurden Hilfen vergleichsweise auf der 1 und 2. Ebene implementiert, wobei die erste Ebene implizit wirkt, dass erst wenn der Roboter verbal ansagt, dass die Vorlage beendet ist, es noch Symbole zu suchen gibt. Die zweite Ebene durch den Hilfsmodus bereitgestellt. Diese Thematik sollte jedoch in einer eigenen Forschungsarbeit erforscht werden.

6.3 Ergänzende Evaluationsanmerkungen

6.3.1 Videoaufnahmen

Videoaufnahmen ganzer Therapien (alle Robotersitzungen) durften wir für technische Evaluationszwecke nicht durchführen. Dies lag an den ethischen und rechtlichen Anforderungen, die im Rahmen klinischer Studien gelten sowie an der fehlenden Genehmigung für entsprechende Aufnahmen.

Im Rahmen des E-BRAiN Projekts wurden jedoch aus medizinischen Gründen Videoaufnahmen der ersten und letzten Robotersitzung jedes Patienten aufgenommen. Dementsprechend sind also ca. 20 % aller Therapiesitzungen als Videoaufnahmen verfügbar. Allerdings brachte eine Analyse dieser Videos zum Zwecke einer Systemevaluation keine neuen Erkenntnisse.

Das größte Problem besteht darin, dass diese Sitzungen nicht dem Ziel einer technischen Evaluation aufgenommen wurden. Dementsprechend kann bei diesen Videos höchstens zufällig ein technischer Aspekt durch das Verhalten der Patienten entdeckt werden. Folglich eignen sich die Videoaufnahmen der Sitzungen nicht für eine sinnvolle Evaluation.

6.3.2 Erfahrungen des klinischen Teams

Zur Ergänzung der Evaluation erfasste ich die Erfahrungen des klinischen Teams. Dazu führte ich ein unstrukturiertes Fokusgruppeninterview [252, 253] mit drei zu der Zeit aktiven Therapeuten des E-BRAiN Projekts am 8. November 2022 durch. Die initiale Frage der Sitzung war "Was sind Ihre Gedanken zum E-BRAiN System?". Auf die

Einstiegsfrage wurden seitens der Therapeuten Nachfragen gestellt, woraufhin sich die Therapeuten zu unterschiedlichen Aspekten äußerten. Im Nachfolgenden fasse ich die Antworten zu bestimmten Anliegen zusammen.

Eine Bedienung des vorbereiteten Systems ist potentiell auch alleine für Patienten möglich. Nach Meinungen der E-BRAiN-Therapeuten eignet sich das vorbereitete Robotersystem auch wahrscheinlich für eine Nutzung ohne weitere Personen im Raum. Die Erfahrungen zeigen, dass die Bedienung reibungslos funktionieren kann und Patienten spätestens nach einer Einleitung keine Probleme mit dem System haben sollten.

Der Roboter soll eher sozialer/menschlicher wirken. Dies ist weniger ein technischer Gesichtspunkt, sondern eher ein Merkmal des Charakters, der dem Roboter durch die Interaktion gegeben wird. Im E-BRAiN besitzt der Roboter eine sehr förmliche Ansprache und Verhalten. Dieses Sprachmuster ist nicht der Standardfall in Therapien. Der Roboter könnte durch eine einfachere Sprache für den Patienten nahbarer und sozialer wirken.

Motivationsfragen benötigen anfangs mehr Erklärung. Die Motivationsfragen müssen umfangreicher erklärt werden. Sie werden von den Therapeuten vor den Sitzungen erklärt. Hier könnte ein fest eingeplanter Erklärschritt eingesetzt werden, um den Sinn hinter den Motivationsfragen für alle Patienten zu standardisieren.

Die Texte sind zu lang und häufig nicht überspringbar. Ein großer Kritikpunkt sind lange Textpassagen, die vom Roboter vorgesehen und nicht übersprungen werden können, sowohl für Patienten als auch Therapeuten im Studienraum. Insbesondere der allgemeine Anfang einer jeden Sitzung und die Erklärungsschritte für jede einzelne Übung sind nach bereits wenigen Sitzungen nur noch bedingt nötig. Dennoch galt es hier als Studiensystem möglichst vergleichbare Therapiesitzungen zwischen den Patienten zu schaffen. Würden Therapiezustände übersprungen werden können, führte dies zu mehr Variationen in dem Erlebnis des Robotersystems unter den Patienten.

Mehr Textvariation. Der Roboter spricht die vordefinierten Texte zu dem jeweiligen Therapieschritt aus. Auch wenn zumindest in den Übungen Variationen eingebaut sind, so gibt es nicht genug Variationen in den Erklärungstexten. Dieses Problem wird durch die Unfähigkeit zum Überspringen von Dialogschritten verstärkt.

In diesem Kapitel wurde das Robotersystem evaluiert und die Eindrücke der Patienten präsentiert. Aus diesen Hinweisen und den zusätzlichen Arbeiten werden im nächsten

6.3 Ergänzende Evaluationsanmerkungen

Kapitel Ideen und bereits vorbereiteter Arbeiten für eine zukünftige Roboterversion dargestellt.

7 Vorschläge einer verbesserten Therapie

In diesem Kapitel werden die geleisteten Arbeiten zu den weiteren umgesetzten digitalen Therapieübungen¹ und andere Erweiterungsvorschläge² beschrieben.

7.1 Digital umgesetzte Therapien des Armfähigkeitstraining

In diesem Abschnitt werden die entwickelten Applikationen vorgestellt, die für die nächste Version des Robotersystems vorbereitet wurden. Eine Evaluation dieser drei Prototypen an Patienten konnte aus verschiedenen Gründen nicht im E-BRAiN Projekt durchgeführt werden. Eine solche Evaluation müsste im Rahmen einer klinischen Studie mit entsprechend hohen Anforderungen stattfinden. Eine solche Studie müsste zudem die vollständige AFT inklusive aller acht Übungen der AFT 3.3 anbieten können. Diese erfordern jedoch einen Entwicklungsrahmen mit visueller Kameraerfassung, der den thematischen Rahmen dieses Dissertationsprojekts überschreitet. Forschungsfrage 3 (Abschnitt 1.3) kann also

¹Die Arbeiten basieren auf den Publikationen: **(1)** Forbrig, P., Bunde, A., Platz, T. (2021). Assistance App for a Humanoid Robot and Digitalization of Training Tasks for Post-stroke Patients. In: Zimmermann, A., Howlett, R., Jain, L. (eds) Human Centred Intelligent Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 189. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5784-2_4; **(2)** Forbrig, P., Bunde, A., Pedersen, A., Platz, T. (2020). Digitalization of Training Tasks and Specification of the Behaviour of a Social Humanoid Robot as Coach. In: Bernhaupt, R., Ardito, C., Sauer, S. (eds) Human-Centered Software Engineering. HCSE 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12481. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64266-2_3

²Die Arbeit basiert auf der Publikation: User Models for Post-stroke Therapies and Consequences for the Interaction with a Humanoid Robot Alexandru Bunde a and Peter Forbrig.(CHIRA 2021). DOI: 10.5220/0010722100003060

nicht abschließend mit einer Endnutzer-Evaluation für diese Anwendungen beantwortet werden.

7.1.1 Methodik der Softwareentwicklung

Zu Beginn des Projekts wurden die drei Applikationen parallel entwickelt. Wie in Abschnitt 5.1 erwähnt, verfolgte das Projekt zunächst das Ziel, eine vollständig digital erfassbare Therapie zu realisieren. Um dieses Ziel effizient zu erreichen, wurde eine schnelle und simultane Entwicklungsstrategie gewählt. Die Apps wurden in unterschiedlicher Weise entwickelt. Bereits in der frühen Phase wurden die Applikationen durch Therapeuten formativ getestet und auch ersten Patientinnen und Patienten vorgestellt. Zudem wurden die Apps für eine Systemnutzung mit dem Roboter verbunden.

Das für jede Applikation erforderliche Therapiematerial wurde vom medizinischen Team bereitgestellt. Im Folgenden werden die Entwicklungsschritte der einzelnen Apps kurz beschrieben:

1. AFT Übung: Zielen: Diese Applikation wurde nach den Vorgaben des medizinischen Teams konzipiert und umgesetzt. Die Entwicklung der Android Anwendung begann im Oktober 2019 und wurde innerhalb von etwa zehn Wochen abgeschlossen. Ziel dieser Entwicklung war es, die Übung unabhängig von einer zentralen Dialogsteuerung zu testen. Hierfür wurde eine einfache, lokal laufende Java-Netzwerkanwendung entwickelt, um ein Treffer-Feedback-System zu simulieren. In Abstimmung mit dem medizinischen Team wurden von mir vorgeschlagene Funktionen wie z.B. farbwechselnde Markierungen integriert.

3. AFT Übung: Durchstreichen: Diese Übung entstand im Rahmen eines Projektlehrmoduls unter der Leitung von Prof. Dr. Peter Forbrig. Zusammen mit drei teilnehmenden Studierenden wurde die Übung unter der gemeinsamen Betreuung von mir und Prof. Forbrig entwickelt. Die Entwicklung erfolgte im Rahmen einer wöchentlich stattfindenden Lehrveranstaltung. Für die Implementierung erhielten die Studierenden zwei Android-Tablets. Parallel dazu standen Prof. Forbrig und ich in Kontakt mit dem medizinischen Team, insbesondere um die Erkennungskriterien der „durchgestrichenen“ ovalen Formen festzulegen. Zu diesem Zweck baten wir um gescannte, bearbeitete Vorlagen echter Patienten, um nachzuvollziehen, wie diese die Vorlagen durchstreichen.

5. AFT Übung: Labyrinth: Diese Übung wurde von mir und Prof. Forbrig zusammen mit einer studentischen Hilfskraft konzipiert und von dieser implementiert. Wie

7.1 Digital umgesetzte Therapien des Armfähigkeitstraining

bei der Aufgabe „Durchstreichen“ hielten Prof. Forbrig und ich Rücksprache mit dem medizinischen Team, um weitere Details und neue digitale Features zu besprechen, wie beispielsweise „Fehlertöne“ bei Wandberührungen.

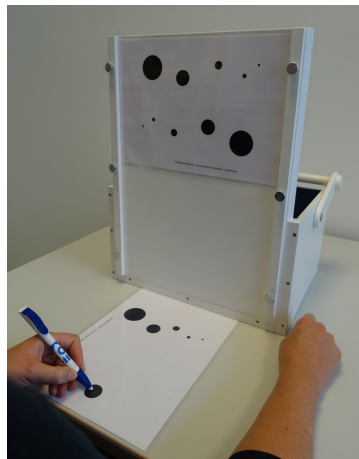
Die Entwicklung aller Anwendungen begann etwa Anfang Oktober 2019. Im Dezember 2019 wurde sie im Rahmen eines allgemeinen E-BRAiN Projektverbundtreffens präsentiert. Die ersten Eindrücke fielen positiv aus. Eines der beiden Tablets wurde dem medizinischen Team dauerhaft zur praktischen Erprobung übergeben. Die Therapeuten testeten die Apps im Laufe der nächsten Wochen und gaben uns ein positives Feedback zur Nutzung und stellten die Anwendungen auch ersten Patienten vor.

Die Weiterentwicklung der Durchstreichen- und Labyrinth-Übung wurde für eine kurze Zeit danach fortgesetzt. Anschließend übernahm ich eigenverantwortlich die Weiterentwicklung und Einbettung in das parallel entwickelte Robotersystem mit Echtzeitfeedback. Die Integration verlief erfolgreich, wurde jedoch ab ungefähr Herbst 2020 vom Projekt nicht weiter verfolgt.

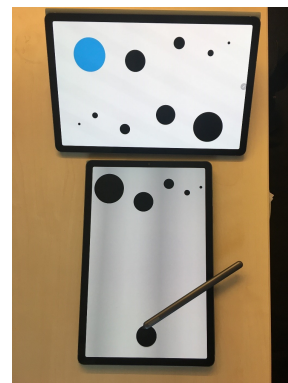
Die anderen Übungen einer digital erfassten AFT (Übungen 2, 4, 6, 7, 8; siehe Abbildung 3.3) hätten einen deutlich komplexeren technischen und organisatorischen Aufwand erfordert. Aufgrund des damit verbundenen erhöhten Kameraeinsatzes sowie der zusätzlichen Handlungsanleitungen zur Bedienung der Technik wurde entschieden, diese Therapievarianten erst später weiterzuentwickeln.

7.1.2 1. AFT Übung: Zielen

Die erste Übung der AFT, "Zielen" (wie in Kapitel 3 beschrieben), wurde mithilfe von zwei Tablets digital umgesetzt, siehe Abbildung 7.1. Ähnlich wie die bei der analogen Übung sollen Patienten mit einem Touchpen Zielkreise in einer vorgegebenen Reihenfolge berühren. Dabei bietet das System präzise Hilfestellungen. Vor Beginn der Übung müssen die Tablets über einen Button entweder als "Unteres" oder "Oberes" Tablet verbunden werden. Sobald die Übung startet, wird das entsprechende Layout auf den Bildschirmen angezeigt. Es wird angenommen, dass die Patienten die Reihenfolge der Symbole kennen, jedoch markiert das System zur Unterstützung den nächsten Zielkreis blau. Die Patienten sollen die für sie vorgegebene Anzahl an Zielkreisen treffen. Nach jedem erfolgreichen Treffer gibt das System ein kurzes Feedback, etwa "Gut, weiter so!". Nach dem letzten Treffer endet die Übung, und der Ablauf entspricht dem der analogen Therapie. Ein entscheidender Vorteil der digitalen Version liegt in der präzisen Fehlererkennung und Hilfestellung. Die Tablets registrieren jede Berührung auf ihrer gesamten Fläche und können so ausbleibende Berührungen oder verfehlte Zielkreise erkennen. Dies soll die Therapeuten entlasten, da sie nicht mehr manuell überwachen müssen, ob ein Patient die Zielkreise korrekt berührt hat. Die digitale Umsetzung ermöglicht somit eine genauere Kontrolle und präzisere Rückmeldungen, was insbesondere bei der Berührungserkennung einen erheblichen Fortschritt darstellt.



(a) Die "Zielen" Übung der AFT

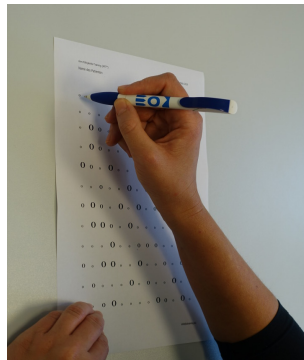


(b) Android Tablet mit aktiver "digitaler" Zielen-Übung der AFT-Therapie

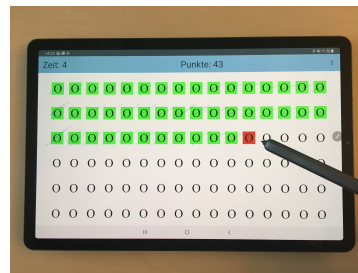
Abbildung 7.1: Bildmaterial für den Prototyp der digitalen "Zielen" Übung der AFT

7.1.3 3. AFT Übung: Durchstreichen

Die digitale "Durchstreichen"-Übung der AFT 3 funktioniert ähnlich wie die Variante mit Papier und Stift. Dabei werden den Patienten auf dem Bildschirm eine bestimmte Anzahl von "O"-Kreisen angezeigt, die korrekt durchgestrichen werden sollen. Abbildung 7.2 stellt die analoge (a) und digitale (b) Variante gegenüber.



(a) Die "Durchstreichen" Übung der AFT



(b) Android Tablet mit aktiver digitaler "Durchstreichen"-Übung der AFT-Therapie

Abbildung 7.2: Bildmaterial für den Prototyp der digitalen "Durchstreichen" Übung der AFT.

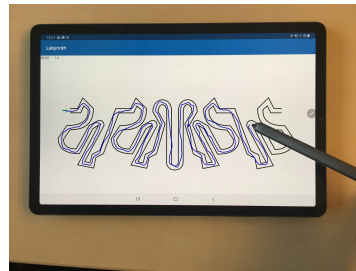
Die Übung beginnt mit dem ersten Kreis oben links. Für jeden Kreis überprüft das System Touch-Koordinaten, ob das Durchstreichen korrekt ausgeführt wurde. Die klinische Vorgabe der analogen Übung besagt, dass der Strich außerhalb des Kreises beginnen und durch den Kreis gezogen werden muss, wobei das innere "Weiß" des Kreises sichtbar durchtrennt werden muss. Diese Kriterien wurden technisch umgesetzt, indem jeder Kreis mit einem Raster versehen wurde, das Prüfpunkte für den Strich berechnet. Das System bestimmt Start- und Endpunkt der Berührung sowie deren Position relativ zum Kreis. Für einen gültigen Strich muss das Ende der Strichlinie vom Startpunkt aus durch den Kreis zum gegenüberliegenden Rand führen. Ein nicht korrekt durchgestrichener Kreis blockiert den Fortschritt zur nächsten Aufgabe und der aktuelle Kreis muss so lange bearbeitet werden, bis er erfolgreich durchgestrichen wurde. Die Aktionen der Patienten werden im System analysiert und der Roboter gibt entsprechendes Feedback. Neben motivierenden und lobenden Kommentaren wird präzise angegeben, welcher Fehler beim letzten Versuch vorlag. Wie bei der digitalen "Zielen"-Übung ermöglicht auch hier die digitale Version eine Arbeitserleichterung und genaueres Feedback.

7.1.4 5. AFT Übung: Labyrinth

Die digitale "Labyrinth"-Übung bildet das Labyrinth in Originalgröße ab und umfasst die Layouts beider Schwierigkeitsgrade. Die Aufgabe bleibt unverändert gegenüber der analogen Variante: Die Patienten sollen mittels Touchpen eine Linie vom Start- bis zum Endpunkt des Labyrinths ziehen, möglichst schnell und präzise. Berührt der Patient dabei eine Wand, wird dem Timer eine Sekunde hinzugefügt. Ein technischer Vorteil der digitalen Variante ist die nahtlose Darstellung neuer Labyrinth-Layouts, sobald ein Layout abgeschlossen wurde, falls mehrere Durchläufe erforderlich sind. Der Startpunkt des neuen Labyrinths liegt dabei auf der Seite, wo der Touchpen zuletzt positioniert war, was eine direkte Fortsetzung ermöglicht. Abbildung 7.3 stellt beide Varianten des Labyrinths dar.



(a) Die "Labyrinth" Übung der AFT



(b) Android Tablet mit aktiver digitaler "Labyrinth"-Übung der AFT-Therapie

Abbildung 7.3: Bildmaterial für den Prototyp der digitalen "Labyrinth" Übung der AFT.

Im Vergleich zur analogen Variante entfällt hier der Wechsel zur nächsten Papier-Vorlage. Die Übung endet, sobald das vorgegebene Arbeitspaket erreicht ist, woraufhin die Vorlage ausgeblendet und der Abschlussdialog gestartet wird. Unsichtbare Linien-Marker bei 25%, 50% und 75% jeder Vorlage erfassen Fortschritte und mögliche Linienüberschreitungen, wie von den klinischen Partnern zur Strukturierung der Arbeitspakete vorgegeben. Wie bei anderen digitalen Übungen gibt es umfassendes Feedback. Positive Rückmeldungen erfolgen beim Erreichen der Zielmarken. Beim Streifen der Labyrinthwände ertönt ein Signalton und ein Zähler registriert die Häufigkeit solcher Berührungen in den letzten fünf Sekunden. Wiederholte Berührungen führen zu einem Hinweis des Roboters, konzentrierter

zu arbeiten und die Wände zu meiden. Die präzise Erfassung von Wandberührungen stellt einen großen Vorteil der digitalen Übung dar, da bei der analogen Version die Zeit zwar gemessen, aber die genaue Anzahl der Wandkontakte manuell erfasst werden musste. Für jede Berührung würde je eine Sekunde zur absolvierten Runde hinzugezählt werden. Die digitale Lösung integriert diesen Prozess und Feedback automatisch.

Die hier vorgestellten Applikationen wurden vom Therapiepersonal getestet und als einsetzsfähig empfunden. Ein Einsatz in den Therapien steht noch aus.

7.2 Weiterführende Arbeit mit spontanem Systemfeedback basierend auf Nutzermodellen

Um das Robotersystem für eine zukünftige Version mit adaptivem Feedback auszustatten, werden die Ergebnisse aus der Arbeit [254] als Grundlage zur dynamischen Feedbackauswahl genutzt.

Ziel dieser Arbeit war es, Strategien zu entwickeln, um das Roboterfeedback präziser und zielgerichteter einsetzen zu können. Der Nutzen für das Robotersystem bestünde darin, kontextabhängig intelligent zu reagieren, um das Engagement der Patienten zu erhöhen und damit möglicherweise den Therapieerfolg zu fördern. Zusätzlich würde das System intelligenter wahrgenommen werden, was ein positiver Beitrag zur "wahrgenommener Adaptivität" sein kann, wie im Abschnitt zur Technologieakzeptanzevaluation 6.1 vorgestellt, um letztlich dem System höhere Chancen für eine spätere Nutzung zu geben.

Dafür war es notwendig, festzulegen, wie und wann Roboterfeedback vergeben werden soll. Ziel war es, eine gedankliche Grundlage für die Entscheidungsfindung zu schaffen, um festzulegen, welche Art von Feedback zu welchem Zeitpunkt geeignet ist. Das Robotersystem könnte zu jedem Zeitpunkt Feedback wiedergeben, aber Patienten haben individuelle Präferenzen. Für das E-BRAiN-System wurde daher angestrebt, ein Framework zu entwickeln, das Roboterfeedback mit spontanen Anpassungen ergänzt, um die Patienten stärker zu motivieren.

Im konkreten Beispiel der publizierten Arbeit [254] und dieser Thesis geht es speziell um das Feedback der ABT-Therapie. Während der internen E-BRAiN-Robotertests wurde festgestellt, dass die Vielzahl an Übungswiederholungen mit langsamer Ausführung als monoton und wenig motivierend empfunden wurde. Hier bietet sich ein großes Potenzial

7 Vorschläge einer verbesserten Therapie

für ein engagierenderes Feedback, um die Motivation der Patienten zu steigern.

In der aktuellen ABT-Therapie der E-BRAiN-Studie 5.3.4 fehlt jedoch eine digitale oder kamerabasierte Bewegungserkennung. Dies bedeutet, dass es auch kein anpassbares Feedback gibt, welches auf die Qualität der Bewegungsausführung reagieren kann. Um hier trotzdem ein Modell für ein intelligentes Feedback zu entwickeln wird angenommen, dass eine zuverlässige Bewegungserkennung implementiert ist und das System sowohl Gesichtsausdrücke als auch Bewegungen präzise erkennen könnte.

Das vorgeschlagene Framework betrachtet die Feedbacksituation aus zwei Perspektiven. Zum einen führt der Roboter Aktionen aus, zum anderen befindet sich der Patient in einem spezifischen (emotionalen) Zustand.

Die Tabelle 7.1 zeigt theoretisch mögliche Aktionen, die der Roboter während einer Sitzung ausführen kann. Jede Roboteraktion bzw. jedes Feedback wird in einem "Stil" wiedergegeben. Der Stil des Roboterfeedbacks bestimmt vorwiegend die verbale Gestaltung, um z.B. beim Feedback spielerisch anzuspornen oder die Leistung als gutes Ergebnis zu honorieren. In unklaren Fällen könnte dennoch ein "neutraler" bzw. "Standard"-Stil benutzt werden.

Die Roboteraktionen sollen an spezifische Patienten-"zustände" angepasst werden. Diese Zustände repräsentieren die Patientenseite des Entscheidungsframeworks. Es können grundsätzlich beliebige Zustände definiert werden. Die in dieser Arbeit beschriebenen Zustände, dargestellt in Tabelle 7.2, dienen als Vorschläge.

Die Unterteilung der Patientenzustände erfolgt einerseits anhand emotionaler Zustände wie "Unglücklich", "Neutral" und "Glücklich" sowie anhand der Patientenaktivität, mit "niedrigem" und "hohem Engagement".

Diese sechs Zustände wurden ausgewählt, weil diese zum einen grundlegende Emotionszustände darstellen und das "Engagement" das wichtigste Ziel der Therapieübungen ist. Dass der Patient die Übungen überhaupt durchführt -auch mit suboptimaler Ausführung-, ist wesentlich signifikanter für seine Rehabilitation, als der Faktor, diese Übung bestmöglich auszuführen.

Ein weiterer Punkt ist die Praktikabilität in Therapiesituationen. Hier wird davon ausgegangen, dass das Framework mit einem theoretisch optimalen System arbeitet, das präzise den Emotionszustand und Engagementzustand erkennen könnte.

Die Inspiration stammt von Winkle et al. [47, 46], die in ihrer Arbeit einen sozialen Roboter als Laufbandtrainer entwickelten. Das Werk von Winkle et al. wurde bereits

Aktionsziel	Stil	Beispiel
Leistung steigern	P	"Sie machen das gut, aber Sie müssen Ihren Arm höher heben!"
	N	"Bewegen Sie Ihren Arm höher."
	H	"Werden Ihre Arme schon müde? Heben Sie Ihre Arme höher!"
Motivation fördern	P	"Ihre 40 Punkte sind ein gutes Ergebnis!"
	N	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"
	H	"Sie haben 40 Punkte erreicht. Ich glaube, Sie halten sich noch zurück!"
Smalltalk	P	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team."
	N	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."
	H	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"
Datenabfrage	P	-
	N	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."
	H	-

Tabelle 7.1: Beispielhafte Roboter-Aktionen während einer Therapie im Kontext des "interactive machine learning". Es werden Ziele definiert, die das System mit einer Handlung bezweckt. Für diese Handlungen, hier mit sprachlichen Ausgaben des Systems, werden diese Handlungen soweit sinnvoll mit verschiedenen "Stilen" hinterlegt. Grundsätzlich lernt das System im Rahmen dieser Methode primär wann diese Handlungen und mit welchem Stil während einer Sitzung ausgeführt werden sollen.

7 Vorschläge einer verbesserten Therapie

in Abschnitt 2 näher betrachtet. Die Forscher setzten eine alternative Form des beobachteten maschinellen Lernens ein, bei der ein erfasster Kontext mit einer bestimmten Systemaktion (Roboterfeedback) gelabelt wird. Aus einer Vielzahl solcher "Kontext-Aktion"-Tupel können Anwendungen später intelligenter Feedback geben. Gleichzeitig dienen diese Tupel als Diskussionsgrundlage für Anpassungen und die Gestaltung der Interaktionsentwicklung. In anderen Werken wird diese Art des maschinellen Lernens als "interactive machine learning" bezeichnet [255], wie bereits im Abschnitt zum Stand der Technik 5.2.2 beschrieben.

Im Rahmen dieser Thesis wird der Ansatz mit der kontextorientierten Interaktionssteuerung verfolgt, um dies für spätere Experimente zu nutzen. Das im Rahmen dieser Dissertation entwickelte Modell bzw. Framework, kann dann ebenfalls für eine intelligente Feedbackgestaltung verwendet werden, ähnlich wie von Winkle et al. präsentiert.

Auch hier wird mit den Stilrichtungen "positiv", "neutral" und "herausfordernd" gearbeitet, um das Feedback abwechslungsreicher und passender zu gestalten.

Der Prozess des spontanen Feedbacks während der Übungsausführung verläuft so, dass alle x Sekunden ein Roboterfeedback ausgelöst werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass, wenn eine bestimmte Roboteraktion vorgegeben oder ausgelöst wurde, diese Aktion auch ausgeführt werden muss (auch ein "Nichtstun"). Der Stil der Aktion bleibt dabei jedoch variabel.

Emotion	Hohes Engagement	Niedriges Engagement
Unglücklich		
Neutral		
Glücklich		

Tabelle 7.2: Beispielhafte Patientenzustände während einer Therapie. Hier werden schematisch die sechs Zustände formalisiert, die ein Patient in diesem einfachen Modell während einer Therapie haben kann. Im Trainingsszenario bilden diese 6 möglichen Patientenzustände neben anderen Faktoren die insgesamt möglichen Gesamtkontextfaktoren, zu denen eine Roboteraktion zugeordnet werden kann.

7.2 Weiterführende Arbeit mit spontanem Systemfeedback basierend auf Nutzermodellen

		Patienten/Helfer					
		Hohes Engagement			Geringes Engagement		
Aktionsziel	Stil	Glücklich	Neutral	Unglücklich	Glücklich	Neutral	Unglücklich
Leistung steigern	P	"Sie machen das gut, aber Sie müssen Ihren Arm höher heben!"	"Sie machen das gut, aber Sie müssen Ihren Arm höher heben!"	"Sie machen das gut, aber Sie müssen Ihren Arm höher heben!"	"Sie sind auf einem guten Weg, aber können Sie Ihren Arm höher heben?"	"Sie sind auf einem guten Weg, aber können Sie Ihren Arm höher heben?"	"Sie sind auf einem guten Weg, aber können Sie Ihren Arm höher heben?"
	N	"Bewegen Sie Ihren Arm höher!"	"Bewegen Sie Ihren Arm höher!"	"Bewegen Sie Ihren Arm höher!"	"Bewegen Sie Ihren Arm höher!"	"Bewegen Sie Ihren Arm höher!"	"Bewegen Sie Ihren Arm höher!"
	H	"Werden Ihre Arme schon müde? Heben Sie Ihre Arme höher!"	"Werden Ihre Arme schon müde? Heben Sie Ihre Arme höher!"	"Werden Ihre Arme schon müde? Heben Sie Ihre Arme höher!"	"[Name], Sie sollen Ihren Arm höher nach oben bewegen!"	"[Name], Sie sollen Ihren Arm höher nach oben bewegen!"	2[Name], Sie sollen Ihren Arm höher nach oben bewegen!
Motivati-on fördern	P	"Ihre 40 Punkte sind ein gutes Ergebnis!"	"Ihre 40 Punkte sind ein gutes Ergebnis!"	"Ihre 40 Punkte sind ein gutes Ergebnis!"	"Mit 40 Punkten haben Sie ein großartiges Ergebnis!"	"Mit 40 Punkten haben Sie ein großartiges Ergebnis!"	"Mit 40 Punkten haben Sie ein großartiges Ergebnis!"
	N	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht!"
	H	"Sie haben 40 Punkte erreicht. Ich glaube, Sie halten sich noch zurück!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht. Ich glaube, Sie halten sich noch zurück!"	"Sie haben 40 Punkte erreicht. Ich glaube, Sie halten sich noch zurück!"	"Ich bin sicher, dass Sie in der nächsten Runde mehr als 40 Kreise schaffen können!"	"Ich bin sicher, dass Sie in der nächsten Runde mehr als 40 Kreise schaffen können!"	"Ich bin sicher, dass Sie in der nächsten Runde mehr als 40 Kreise schaffen können!"
Small-talk	P	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team!"	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team!"	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft. Wir sind ein gutes Team!"
	N	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."	"Wir haben die Hälfte der Sitzung geschafft."
	H	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"	"Wir als Team können mehr erreichen! Wir haben noch die Hälfte der Sitzung vor uns, um zu zeigen, was wir können!"
Datenab-frage	P	-	-	-	-	-	-
	N	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."	"Bitte geben Sie an, wie anstrengend die Übung für Sie war."
	H	-	-	-	-	-	-

Tabelle 7.3: Beispielhaftes vollständiges Framework zur Regelung von spontanem Feedback mittels "Interactive machine learning"

8 Zusammenfassung

Die zentrale Fragestellung dieser Thesis lautete, ob und wie effektiv soziale Roboter in realen Schlaganfalltherapien eingesetzt werden können. Zwar existieren bereits Studien zur Robotik in der Rehabilitation, jedoch fehlte es bislang an einer wesentlichen Integration solcher Systeme in medizinisch geprüfte Therapien.

Im Rahmen des Dissertationsprojekts wurde der Einsatz eines sozialen Roboters für verschiedene Schlaganfalltherapien erfolgreich demonstriert und evaluiert. Dafür wurde ein soziales Robotersystem entwickelt, implementiert und an zwei Klinikstandorten im Rahmen einer 4-wöchigen klinischen Therapie erprobt. Die Ergebnisse der Evaluationsstudien durch eine Technologieakzeptanzstudie und Usability-Interviews zeigen, dass die Patienten das Robotersystem als positiv empfinden und als Ergänzung zu ihrer Therapie wahrnehmen.

Das implementierte Robotersystem basiert auf gemeinsam mit Medizинern entwickelten Mensch-Roboter-Interaktionskonzepten, die für unterschiedliche Therapiebereiche nutzbar sein können. Besondere Aufmerksamkeit galt der Usability und der Konfigurierbarkeit an das individuelle Leistungsniveau der Patienten. Die Anpassungsmöglichkeiten wurden so ausgestaltet, dass sie auch die Grundlage für ein intelligentes Nutzermodell bilden könnten wie beispielsweise durch kamerabasierte Sensorik. Damit wurde auch ein Grundstein für zukünftige adaptive, personalisierte Therapieformen gelegt.

Für die Forschungsfrage 1 aus Abschnitt 1.3 wird in Kapitel 5 das klinische Robotersystems beschrieben, für das in Abschnitt 6.1 eine Evaluation seitens der Endnutzer (Patienten) vorliegt. Die Leistungswerte der Patienten in Abschnitt 6.2 zeigen, dass ein Training an der Leistungsgrenze stattfand. Die Forschungsfragen 2 und 3 werden mit den Daten der Evaluationsstudie 6.1 beantwortet.

Zusammenfassend konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Wie könnte ein soziales Robotersystem für leistungsorientierte Neurorehabilitationstherapien aussehen? Welche Funktionen sind für Patienten und Therapeuten hilfreich? :

Das hier eingesetzte technische Setup und der Roboter "Pepper" wurde von klinischen Fachexperten evaluiert und ausgewählt. Das Robotersystem wurde aufgabenbasiert gestaltet beinhaltet und die Funktionalitäten, die von den Ärzten erfordert wurde und an bestehende Therapiekonzepte anknüpfen. Dazu zählen umfassende Möglichkeiten zur Individualisierung der Therapie und des Schwierigkeitsgrades, adaptive Hilfestellungen, Fortschrittsrückmeldungen sowie präzise und schnelle Echtzeittherapiesteuerung. Die Digitalisierung der Therapien ermöglicht es Patienten, nahezu alleine zu trainieren, während sie trotzdem individuelle Hinweise erhalten können. Zusätzlich bietet die digitale Erfassung der Übungshandlungen für Patienten (und Therapeuten) einen deutlichen Mehrwert im Vergleich zu einer analogen Therapie.

2. Wie wird der soziale Roboter von Patienten akzeptiert? Wie nehmen Patienten die motivationale und engagierende Wirkung des Robotersystems wahr? :

Die Evaluation 6.1.3 erfolgte durch einen standardisierten Fragebogen zur Technologieakzeptanz und ergänzenden, offenen Fragen verbunden mit qualitativen Usability-Interviews. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Akzeptanz des Robotersystems. Patienten zeigten sich mit der Therapie zufrieden und aus den Fragebögen und Interviews deuten mehrere Aussagen darauf hin, dass das System auf verschiedenen Weisen motivierend wirkt, beispielsweise durch die Deutlichmachung des Fortschritts. Patienten nannten in diesen Zügen kaum negative Eigenschaften und nur wenige Verbesserungswünsche. Gründe hierfür sind vermutlich, dass Patienten praktisch keinen Vergleich für ein entsprechendes Robotertraining haben und sich über mögliche Potentiale nicht bewusst sind.

3. Wie werden die digitale Umsetzungen bislang analoger Therapieaufgaben bewertet ?

Im Vergleich zu anderen Therapieansätzen (die sich vor allem durch therapeutische Aufsicht auszeichnen) wurden im selbstentwickelten Neglect Training eine vollständige Integration der Übungsinhalte, dynamische Schwierigkeitsanpassung und präzise Unterstützung umgesetzt. Das Training wurde gut angenommen und die "Gamifizierung" des Trainings, hat sich vermutlich als förderlich für das Engagement der Patienten erwiesen, wie in den Interviews und Fragebögen sichtbar wurde. Für die anderen drei Arm- und

Hände-Therapien wurde eine verbale Begleitung ohne digitale Erfassung implementiert. Im Gegensatz zu den klassischen Therapien, die mit menschlicher Aufsicht arbeiten, äußerten befragte Patienten sich ebenfalls positiv über ihre Therapierfahrung.

Die Einbindung von Patienten im Rahmen des Dissertationsprojekts erwies sich als deutlich eingeschränkter, als es in der partizipativen Softwareentwicklung üblich ist. Im Vordergrund stand die Durchführung einer klinischen E-BRAiN Projektstudie, die mit strengen organisatorischen und ethischen Regeln verbunden ist. Dadurch war es nicht möglich, Patienten iterativ in die Systementwicklung einzubeziehen. Stattdessen konnten sie erst an der Studie mit dem vollständig implementierten und standardisierten Robotersystemprototypen teilnehmen. Diese wurden vorher mit den medizinischen Experten entwickelt und geprüft, um eine medizinische Verwertbarkeit der Sitzungen zu ermöglichen.

Eine präzise sensorbasierte Erfassung zur Analyse von Arm- und Handbewegungen wurde im Projektverlauf konzeptionell vorbereitet und in Ansätzen technisch umgesetzt, aber reichte für eine klinische Anwendungen nicht aus. Eine verlässliche Bewegungserkennung hätte ein aufwendigeres Hardwaresetup mit mehreren Kameras sowie zusätzliche organisatorische Anforderungen an Patienten und Therapeuten erfordert, welche potentiell den Ablauf der Therapiesitzungen beeinträchtigt hätten. Aus diesen Gründen wurden diese Funktionen nicht weiter verfolgt.

Das entwickelte Neglect-Training stellt die umfassendste integrierte Therapieform innerhalb des Robotersystems dar und nutzt die digital erfassten Handlungen der Patienten am effektivsten, um die Patienten bestmöglich zu unterstützen. Sie entspricht am meisten der ursprünglichen Vision eines interaktiven, assistierenden Robotersystems für die Neurorehabilitation. Da nahezu alle relevanten Übungsinformationen automatisiert erfasst und verarbeitet werden, konnten präzise, kontextabhängige Hinweise generiert werden, welche einen positiven Einfluss auf die Übungsleistung haben.

Künftig kann der Einsatz moderner KI-Sprachmodelle auch hier dazu beitragen, die sprachliche Gestaltung des Roboters flexibler und kontextbezogener zu machen.

Fazit

Diese Arbeit leistet einen Beitrag zur Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines sozialen Robotersystems in der Neurorehabilitation nach einem Schlaganfall. Sie umfasst die technische Systementwicklung, die Gestaltung von Mensch-Roboter-Interaktion sowie Nutzermodellierung von Patienten. Durch die digitale Umsetzung etablierter Thera-

8 Zusammenfassung

prien, insbesondere eines Neglect-Trainings, konnte ein hohes Maß an Automatisierung und Unterstützung erreicht werden. Die Evaluation zeigt, dass das System von den teilnehmenden Patienten sowohl technologisch akzeptiert als auch als unterstützend und motivierend wahrgenommen wird. Insofern deuten die Ergebnisse darauf hin, dass soziale Robotersysteme eine sinnvolle Ergänzung für Rehabilitationstherapien sein können.

9 Ausblick

Die Vision des E-BRAiN Projekts ist nicht der Ersatz menschlicher Therapeuten, sondern die Bereitstellung zusätzlicher Übungsangebote, um eine effektive Therapie für eine größere Anzahl von Patienten zu ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Projektarbeiten legen nahe, dass weitere Studien und Entwicklungen in mehreren Richtungen sinnvoll wären.

Ein zentraler Aspekt zukünftiger Studien sollte die Integration von Künstlicher Intelligenz zur flexibleren Gestaltung der Sprache und Inhalte mit dem Roboter sein. Die Fähigkeit des Roboters natürlichere Gespräche zu führen, könnte die therapeutische Bindung stärken und so die Akzeptanz der Technologie bei den Nutzern erhöhen. Es wäre daher sinnvoll, KI-Algorithmen zu implementieren und zu testen, die diese Art der Interaktion ermöglichen.

Im selben Zuge ist der Ansatz des interaktiven maschinellen Lernens 7.2 interessant, um das Potential in Rahmen einer Rehabilitationsstudie zu prüfen.

Ein weiterer wichtiger Forschungsbereich ist die Integration von Sensorik für die Erfassung der Bewegungen beider Arme und Hände in den Therapien der AFT, ST und ABT. Eine präzise Erfassung dieser Übungsbewegungen durch z.B. Kameras könnte die Qualität des Feedbacks deutlich präzisieren machen und ermöglicht potentiell die Erfassung weiterer Hinweise, die für Therapeuten von Belang sind. Zukünftige Experimente sollten daher ebenfalls den Einsatz von verbesserter Sensortechnologien in Betracht ziehen.

Darüber hinaus wäre eine breiter aufgestellte Zusammenarbeit mit mehreren Experten aus den Neurowissenschaften wünschenswert, um das Robotersystem zu erweitern. Die hier Entwicklung wurde maßgeblich von einzelnen klinischen Experten beeinflusst. Die Einbindung verschiedener Perspektiven und Fachkenntnisse könnte das System weiter bereichern. Zudem könnten neue Neurorehabilitationstherapien relativ zügig auf der Roboterplattform integriert werden, um weitere Therapien für verschiedene Krankheitsbilder

nach einem Schlaganfall anbieten zu können.

Für eine breitere Adoption robotergestützter Therapiesysteme müssen Kliniken und Therapiezentren davon überzeugt werden, dass sich der Einsatz solcher Systeme praktikabel umsetzen lässt und wirtschaftlich rechnet. Entscheidend ist dabei, den gemeinsamen Bundesausschuss (G-BA) [256] und die Spitzenverbände der Krankenkassen von der medizinischen Wirksamkeit und dem Versorgungsnutzen solcher Therapien zu überzeugen. Dafür sind größere Fallzahlstudien mit mehreren Zentren nötig, welche neben der therapeutischen Effektivität auch ökonomische und organisatorische Aspekte betrachten. Nur auf diese Weise kann ist eine Aufnahme in die Regelversorgung und eine kassenärztliche Abrechenbarkeit möglich. Künftige Projekte sollten sich daher verstärkt der Versorgungsforschung widmen, um die Anwendung solcher Robotersysteme in unterschiedlichen Therapieeinrichtungen und bei einer größeren Patientengruppe zu untersuchen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine soziale Robotertherapie große Potenziale zur Entlastung von Therapiepersonal bietet. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass weitere Studien und Entwicklungen in den Bereichen KI-Integration, Sensorik und größere Patientenstudien mit interdisziplinärer Zusammenarbeit sinnvoll wären. Dies könnte die Effektivität und Akzeptanz dieser Technologie weiter steigern und neue Möglichkeiten für therapeutische Anwendungen eröffnen.

A Anhang

A.1 Datenbankschemata

Patientenmodell/Nutzermodell der Patienten

Attribut	Datentyp	Erklärung
Persönliche Identifikationsnummer	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Klinische ID	Varchar(30)	Die vergebene Patienten-ID
Vorname	Varchar(70)	Vorname
Name	Varchar(70)	Nachname
Titel	Varchar(45)	Eventuell vorhandene Titel
Geschlecht	Varchar(45)	Männlich/Weiblich
Geburtsdatum	Varchar(45)	Das Geburtsdatum des Patienten
Diagnose	Text	Beschreibung des relevanten medizinischen Zustandes
(Persönliche) Motivation	Text	Persönliches Ziel des Patienten. Wird zu Beginn jeder Sitzung vom Roboter erwähnt.
Medizinisches Ziel	Text	(Interne) Beschreibung des medizinischen Rehabilitationsziels.
Gelähmte Seite	Varchar(45)	Betroffene Seite des Patienten (linker oder rechter Arm/Sichtfeldseite)
Übungskonfigurations-ID	Integer	Identifikationsnummer zur Verknüpfung der aktuell genutzten Übungskonfiguration
Verschriebene Therapie	Varchar(45)	Die Therapie, die mit dem System ausgeführt werden soll.
NIHSS-1A	Integer	Bewusstseinslage (Vigilanz)
NIHSS-1B	Integer	Orientierung
NIHSS-1C	Integer	Befolgung von Aufforderungen
NIHSS-2	Integer	Blickbewegungen
NIHSS-3	Integer	Gesichtsfeld
NIHSS-4	Integer	Fazialisparese
NIHSS-5	Integer	Gesamtwert der Motorik der Arme
NIHSS-5R	Integer	Motorik des rechten Arms
NIHSS-5L	Integer	Motorik des linken Arm
NIHSS-6	Integer	Motorik der Beine

A Anhang

NIHSS-6R	Integer	Motorik des rechten Beines
NIHSS-6L	Integer	Motorik des linken Beines
NIHSS-7	Integer	Extremitätenataxie
NIHSS-8	Integer	Sensibilität
NIHSS-9	Integer	Sprache
NIHSS-10	Integer	Dysarthrie
NIHSS-11	Integer	Auslöschung und Nichtbeachtung (Neglect)
NIHSS-GES	Integer	Gesamtwert der NIH-Werte
HAA	Integer	HADS-Anxiety Wert
HAD	Integer	HADS-Depression Wert
HADS-total-score	Integer	Der Gesamtwert der "Hospital anxiety and depression scale" Fragebogens [139, 156]
BBTNB	Integer	Ergebnis des Box and Block Test mit der nicht-betroffenen Seite
BBTB	Integer	Ergebnis des Box and Block Test mit der betroffenen Seite
NHPTNB	Integer	Ergebnis des Nine-Hole-Peg-Test mit der nicht-betroffenen Seite
NHPTB	Integer	Ergebnis des Nine-Hole-Peg-Test mit der betroffenen Seite
FMA I	Integer	Reflex-Aktivitäten (0 – 4)
FMA II	Integer	Willkürbewegungen innerhalb der dynamischen Synergien (0 – 18)
FMA III	Integer	Willkürbewegungen in einer Kombination aus den dynamischen Synergien (0 – 6)
FMA IV	Integer	Willkürbewegungen in geringer oder ohne Abhängigkeit von Synergien (0 – 6)
FMA V	Integer	Normale Reflex-Aktivitäten (0 – 2)
FMB	Integer	Handgelenk (0-10)
FMC	Integer	Hand (0-14)
FMD	Integer	Koordination & Geschwindigkeit (0-6)
FMGES	Integer	Kumulativer Summenwert für die Motorik der oberen Extremität (max. 66)
FMPS	Integer	Passive Gelenkbeweglichkeit/Schmerz der oberen Extremität: Kumulativer Summenwert (0-48)
FMSS	Integer	Somatosensibilität der oberen Extremität: Kumulativer Summenwert (0-12)
NET1SW	Integer	Neglect Test: Linien durchstreichen
NET2SW	Integer	Neglect Test: Buchstaben austreichen
NET3SW	Integer	Neglect Test: Sterne austreichen
NET4SW	Integer	Neglect Test: Abzeichnen eines Sterns
NET5SW	Integer	Neglect Test: Abzeichnen einer Raute
NET6SW	Integer	Neglect Test: Abzeichnen einer Blume
NET7SW	Integer	Neglect Test: Linien halbieren
NET8SW	Integer	Neglect Test: Freies Zeichnen
NET9SW	Integer	Neglect Test: Zeitungsartikel
NET10SW	Integer	Neglect Test: Abschreiben einer Adresse

NET11SW	Integer	Neglect Test: Bild 1 - Menü
NET12SW	Integer	Neglect Test: Bild 2 Waschbecken
NET13SW	Integer	Neglect Test: Bild 3 Zimmer
NET14SW	Integer	Neglect Test: Speisekarte
NET15SW	Integer	Neglect Test: Digitaluhr
NET16SW	Integer	Neglect Test: Uhr mit Ziffernblatt
NET17SW	Integer	Neglect Test: Einstellen einer Uhr mit Ziffernblatt
NETGSW	Integer	Summe des Neglect-Testergebnis
CBS	Integer	Catherine Bergego Skala
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Eintrags
Aktualisiert am	Timestamp	Zeitstempel der letztmaligen Aktualisierung

Tabelle A.1: Das verwendete Patientenmodell im E-BRAiN System

AFT-Übungsergebnis-Schema

Attribut	Datentyp	Erklärung
Persönliche Identifikationsnummer	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzung	Integer	Verbundene Session-ID
Übungsrunde	Integer	Übungsrunde dieser Übung innerhalb der Sitzung
Zeitergebnis	Integer	Erreichte Zeit für die Blocknummer
Knowledge of Result-Ergebnis	Varchar(45)	KR-spezifischer Eintrag für den Hinweis ob eine Verbesserung stattgefunden hat
Ursprung des Eintrags	Varchar(45)	Hiermit wird der Ursprung/das Gerät festgehalten, wo dieses Ergebnis erzielt wurde
Zugehörige Patienten-ID	Integer	Verbunde Patienten-ID
Übungscode	Integer	Die Übung für welche das Ergebnis eingetragen wird. Die Darstellung der Übung erfolgt als Code z.B. 1999 = AFT, 9199= ST usw.)
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Eintrags

Tabelle A.2: Das verwendete AFT-Ergebnis-Schema im E-BRAiN System

Therapeuten-Schema

Attribut	Datentyp	Erklärung
Persönliche Identifikationsnummer	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Vorname	Varchar(45)	Vorname
Nachname	Varchar(45)	Nachname

Tabelle A.3: Das verwendete Therapeuten-Schema im E-BRAiN System

Sitzung-Schema

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzungsstart	Varchar(45)	Geplanter Startzeitpunkt der Sitzung
Sitzungsende	Varchar(45)	Geplanter Endzeitpunkt der Sitzung
Verbundener Patient	Integer	Der Patient, für den Sitzung erstellt wird
Therapie-Art	Integer	Welche Therapie soll stattfinden
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Datenbankeintrags
Verbundene Therapiekonfiguration-ID	Integer	Die verbundene Therapiekonfiguration, mit welcher die Sitzung ausgeführt werden soll
Sitzung abgeschlossen	Boolean	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt

Tabelle A.4: Das verwendete Sitzungs-Schema im E-BRAiN System**Übungskonfiguration-Schema**

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Verbunde Patient-ID	Integer	(klinische) Patienten-ID
ABT: Wiederholungen auf der Test-Seite	Integer	Die Anzahl an Wiederholungen die zur Demonstration durchgeführt werden sollen
ABT: Anzahl der Wdh. je Übung	Integer	Die Anzahl der Wiederholung die für jede Übung ausgeführt werden soll.
Robotersprechgeschwindigkeit	Float	Die einstellbare Sprechgeschwindigkeit. (Im E-BRAiN redet der Roboter auf 85 % der Grundeinstellung.)
Betroffene Seite	Varchar(45)	Welche Seite hier trainiert wird.
ABT Übungsstart	Varchar(45)	Hiermit wird die erste durchzuführende Übung festgelegt. Werden keine Übungen deaktiviert, durchläuft die Therapie alle Aufgaben beider Stufen in aufsteigender Reihenfolge.
ABT St. 1 Übung 1 betr. Seite aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
...	...	...
ABT St. 1 Übung 17 betr. Seite aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
ABT St. 1 Übung 1 Probe-Wdh. aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Probe-Wdh. dieser Übung für diese Sitzung
...	...	...
ABT St. 1 Übung 17 Probe-Wdh. aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Probe-Wdh. dieser Übung für diese Sitzung
ABT St. 2 Übung 1 betr. Seite aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
...	...	...
ABT St. 2 Übung 26 betr. Seite aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
ABT St. 2 Übung 1 Probe-Wdh. aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Probe-Wdh. dieser Übung für diese Sitzung
...	...	...
ABT St. 2 Übung 26 Probe-Wdh. aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Probe-Wdh. dieser Übung für diese Sitzung
ABT St. 2 Übung 1 Tempo	Integer	Ausführungszeit einer Wdh. für diese Übung
...	...	...

A.1 Datenbankschemata

ABT St. 2 Übung 26 Tempo	Integer	Ausführungszeit einer Wdh. für diese Übung
ABT St. 2 Ü. 1 Bewegungsreichweite	Float	Bewegungsreichweite für diese Übung
...	...	...
ABT St. 2 Ü. 26 Bewegungsreichweite	Float	Bewegungsreichweite für diese Übung
AFT Ü. 1 Zielen: Anzahl Teilrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Teil-Durchgänge (1 Durchgang: Alle 15 Symbole einmal berührt)
AFT Ü. 2 Tippen: Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 3 Durchstreichen: Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 3 Durchstreichen: Anzahl Kreise	Integer	Die Anzahl an durchzustreichenden Kreisen
AFT Ü. 4 Scheiben umdrehen Anzahl Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 4 Scheiben umdrehen: Anzahl kleine Scheiben	Integer	Anzahl an auszulegenden kleinen Scheiben
AFT Ü. 4 Scheiben umdrehen: Anzahl große Scheiben	Integer	Anzahl an auszulegenden großen Scheiben
AFT Ü. 4 Scheiben umdrehen: Scheibenseite oben	Varchar(45)	Legt fest, welche Scheibenseite der Münzen oben liegen soll (Je nachdem welche Seite zu Beginn oben liegt, müssen die Münzen einmal oder zweimal umgedreht werden)
AFT Ü. 5 Labyrinth: Anzahl Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 5 Labyrinth: Labyrinth-Ziel	Integer	Angabe wie viele Vorlagen bzw. Abschnitte erreicht werden sollen (z.B. 125 = 1 ganze Vorlage und das erste Viertel der zweiten Vorlage)
AFT Ü. 6 Schrauben Anzahl Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 6 Schrauben: Anzahl große Schrauben	Integer	Anzahl großer Schrauben
AFT Ü. 6 Schrauben: Anzahl mittlere Schrauben	Integer	Anzahl mittlerer Schrauben
AFT Ü. 6 Schrauben: Anzahl kleine Schrauben	Integer	Anzahl kleiner Schrauben
AFT Ü. 7 Holzklötze: Anzahl Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 7 Holzklötze: kleine Holzblöcke aktiv	Boolean	Legt fest, ob auch die kleinsten Holzblöcke eingesetzt werden
AFT Ü. 8 Kruken: Anzahl Übungsrunden	Integer	Die Anzahl an zu absolvierenden Übungsrunden
AFT Ü. 8 Kruken: große Kruken aktiv	Boolean	Legt fest, ob auch die großen Kruken eingesetzt werden
Spiegeltherapie Anzahl Wdh je Übung	Integer	Legt die generelle Anzahl durchzuführender Wiederholungen für alle Übungen fest
ST Anzahl Wdh je Übung während Erklärung	Integer	Die Anzahl an Wiederholungen, die während der Erklärungen ausgeführt werden sollen
ST Zeitpunkt 1. Ansage Zeitpunkt	Integer	Der Zeitpunkt (zwischen welcher Wdh) der Roboter den Patienten zum ersten Mal an das Ansehen des Spiegelbilds erinnert

A Anhang

ST Zeitpunkt 2. Ansage Zeitpunkt	Integer	Der Zeitpunkt (zwischen welcher Wdh) der Roboter den Patienten zum zweiten Mal an das Ansehen des Spiegelbilds erinnert
ST Übung 1 aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
...	...	...
ST Übung 18 aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
Neglect: 1 Optokinetische Stimulation aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
Neglect: 1 Optokinetische Stimulation: Rundenanzahl	Integer	Stellt die Rundenanzahl pro Sitzung ein (1 Runde= 180 Sekunden)
Neglect: 1 Optokinetische Stimulation: Symbol-Maximalgröße	Float	Neglect 1 Blinksakkaden: Symbol-Minimalgröße
Neglect: 1 Optokinetische Stimulation: Symbol-Maximalgröße	Float	Neglect 1 Blinksakkaden: Symbol-Maximalgröße
Neglect: 1 Optokinetische Stimulation: Symbol Größenreduzierung pro Runde	Float	Reduziert die Symbolgröße um das entsprechende Maß (bis zur Minimalgröße)
Neglect: 1 Optokinetische Stimulation: Symbol-Maximaltempo	Float	Die Symbol-Driftgeschwindigkeit in cm pro Sekunde
Neglect 1 Optokinetische Stimulation: Symbol-Minimaltempo	Float	Die Symbol-Driftgeschwindigkeit in cm pro Sekunde
Neglect 1 Optokinetische Stimulation: Symbol Temposteigerung pro Runde	Float	Die Steigerungsrate der Driftgeschwindigkeit pro Runde (bis zur Maximalgröße)
Neglect 2 Blinksakkaden aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
Neglect 2 Blinksakkaden: Rundenanzahl	Integer	Stellt die Rundenanzahl pro Sitzung ein (1 Runde= 180 Sekunden)
Neglect 2 Blinksakkaden: Symbol-Maximalgröße	Float	Neglect 2 Blinksakkaden: Symbol-Maximalgröße
Neglect 2 Blinksakkaden: Symbol-Minimalgröße	Float	Neglect 2 Blinksakkaden: Symbol-Minimalgröße
Neglect 2 Blinksakkaden: Symbol Größenreduzierung pro Runde	Float	Reduziert die Symbolgröße um das entsprechende Maß (bis zur Minimalgröße)
Neglect 2 Blinksakkaden: Lautstärke	Integer	Einstellbare Lautstärke der Signaltöne
Neglect 2 Blinksakkaden: Flickern bis einschl. Runde	Integer	Einstellung bis zur welchen Runde die Symbole flickern sollen
Neglect 2 Blinksakkaden: Fixationskreuz minimale Anzeigedauer	Float	Die minimal Anzeigedauer des Fixationskreuzes für die Übung 2
Neglect 2 Blinksakkaden: Fixationskreuz maximale Anzeigedauer	Float	Die maximale Anzeigedauer des Fixationskreuzes für die Übung 2
Neglect 2 Blinksakkaden: Fixationskreuz Reduktion der Anzeigedauer pro Runde	Float	Reduziert die Anzeigedauer des Fixationskreuzes für die Übung um das entsprechende Maß
Neglect 3a Visuelle Exploration: "Alle finden" aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
Neglect 3a Visuelle Exploration "Alle finden": Zeit	Integer	Eingestellte Übungszeit
Neglect 3b Visuelle Exploration: "Das andere finden" aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung

A.1 Datenbankschemata

Neglect 3b Visuelle Exploration: "Das andere finden": Zeit	Integer	Eingestellte Übungszeit
Neglect 3 Visuelle Exploration: Symbol-Maximalgröße	Float	Neglect 3a und 3b: Symbol-Maximalgröße
Neglect 3 Visuelle Exploration: Symbol-Minimalgröße	Float	Neglect 3a und 3b: Symbol-Minimalgröße
Neglect 3 Visuelle Exploration: Symbol Größenreduzierung pro Runde	Float	Übungen 3a und 3b: Reduziert die Symbolgröße um das entsprechende Maß (bis zur Minimalgrenze)
Neglect 3 Visuelle Exploration: Fixationskreuz maximale Anzeigedauer	Float	Die minimal Anzeigedauer des Fixationskreuzes für die Übungen 3a,3b und 3c
Neglect 3 Visuelle Exploration: Fixationskreuz minimale Anzeigedauer	Float	Die minimal Anzeigedauer des Fixationskreuzes für die Übungen 3a,3b und 3c
Neglect 3 Visuelle Exploration: Fixationskreuz Reduktion der Anzeigedauer pro Runde	Float	Reduziert die Anzeigedauer des Fixationskreuzes für die Übung um das entsprechende Maß
Neglect 3c Visuelle Exploration: "Objekte auf Fotos finden" aktiv	Boolean	(De-)aktiviert die Übung für diese Sitzung
Neglect 3c Visuelle Exploration: "Objekte auf Fotos finden": Zeit	Integer	Eingestellte Übungszeit
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Datenbankeintrags

Tabelle A.5: Das verwendete Übungskonfigurationsschema im E-BRAiN System

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzungsstart	Varchar(45)	Geplanter Startzeitpunkt der Sitzung
Sitzungsende	Varchar(45)	Geplanter Endzeitpunkt der Sitzung
Patient-ID	Integer	Der Patient, für den Sitzung erstellt wird
Therapeut-ID	Integer	Zugeteilter Therapeut für diese Sitzung
Therapie-Code	Integer	Welche Therapie soll stattfinden
Verbundene Therapiekonfiguration-ID	Integer	Die verbundene Therapiekonfiguration, mit welcher die Sitzung ausgeführt werden soll
klinische Patienten-ID	Varchar(45)	Die klinische Patienten-ID
Sitzung abgeschlossen	Boolean	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Datenbankeintrags

Tabelle A.6: Das verwendete Sitzung-Schema im E-BRAiN System

Neglect-Training Übung 1 "OKS"-Schema

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzungs-ID	Integer	Geplanter Startzeitpunkt der Sitzung
Patient-ID	Integer	Geplanter Endzeitpunkt der Sitzung
Übungsname	Integer	Der Patient, für den Sitzung erstellt wird
Aktuelle Zahl der Runde	Integer	Welche Therapie soll stattfinden
Anzahl selektierte Symbole	Integer	Die Anzahl verfolgter Symbole für diese Übungsrunde
Anzahl zu früh getroffener Symbole	Integer	Die Anzahl zu früh erzielter Symbole
Anzahl richtig getroffener Symbole	Integer	Die Anzahl richtig erzielter Symbole
Anzahl richtig zu spät Symbole	Integer	Die Anzahl zu spät erzielter Symbole
Durchschnittliche Distanz zum Bildschirmrand von zu früh getroffener Symbole	Integer	Die durchschnittliche Distanz zu früh erzielter Symbole
Symbolfarbe	Varchar(45)	Die genutzte Symbolfarbe dieser Übungsrunde
Symbolform	Varchar(45)	Die genutzte Symbolform dieser Übungsrunde
Knowledge of Result-Score	Integer	Das KR-Ergebnis dieser Übungsrunde
KR-Score Klassifikation	Varchar(45)	Das KR-Ergebnis Punktergebnis dieser Übungsrunde
KR-Score Klassifikation: selektierter Symbole	Varchar(45)	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
KR-Score Klassifikation: richtig getroffener Symbole	Varchar(45)	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
KR-Score Klassifikation: zu spät Symbole	Varchar(45)	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
KR-Score Klassifikation: zu früher Symbole	Varchar(45)	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
Ergebnisvalidität	Boolean	Legt fest, ob das Ergebnis dieser Eintragung für die (einbezogen) Leistung des Patienten einbezogen wird [Dieses Attribut wird bei Fehlern in der Sitzung eingesetzt]
Ursprung der Eintragung	Varchar(45)	Hiermit wird der Ursprung/das Gerät festgehalten, wo dieses Ergebnis erzielt wurde
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Eintrags

Tabelle A.7: Das verwendete Neglect Übung 1 "OKS"-Schema im E-BRAiN System

Neglect Training Übung 2 "Blicksakkaden"-Schema im E-BRAiN System

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzungs-ID	Integer	Geplanter Startzeitpunkt der Sitzung
Patient-ID	Integer	Geplanter Endzeitpunkt der Sitzung

Übungscode	Integer	Die Übung für welche das Ergebnis eingetragen wird. Die Darstellung der Übung erfolgt als Code z.B. 1999 = AFT, 9199= ST usw.)
Aktuelle Zahl der Runde	Integer	Welche Therapie soll stattfinden
Anzahl gezeigter Symbole	Integer	Zeitstempel des Datenbankeintrags
Anzahl genau getroffener Symbole	Integer	Die Anzahl genau getroffener Symbole
Anzahl daneben getroffener Symbole	Integer	Die Anzahl nicht genau getroffener Symbole
Anzahl nicht-gefundener Symbole	Integer	Die Anzahl nicht-gefundener Symbole
Durchschnittliche Distanz zum Bildschirmrand zu früh getroffener Symbole	Float	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
Durchschnittliche Latenz	Float	Die benötigte Zeit zum Auffinden des Symbols
Symbolfarbe	Varchar(45)	Die genutzte Symbolfarbe dieser Übungsrunde
Symbolform	Varchar(45)	Die genutzte Symbolform dieser Übungsrunde
Knowledge of Result-Score	Integer	Das KR-Ergebnis dieser Übungsrunde
KR-Score Klassifikation	Float	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief
KR-Score Klassifikation: gezeigte Symbole	Varchar(45)	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief bezüglich gezeigter Symbole
KR-Score Klassifikation: genau getroffener Symbole	Varchar(45)	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief bezüglich genau getroffener Symbole
KR-Score Klassifikation: daneben getroffener Symbole	Varchar(45)	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief bezüglich daneben getroffener Symbole
KR-Score Klassifikation: nicht-gefundener Symbole	Varchar(45)	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief bezüglich nicht-gefundener Symbole
KR-Score Klassifikation: Latenz	Varchar(45)	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief bezüglich der Suchdauer
Ergebnisvalidität	Boolean	Legt fest, ob das Ergebnis dieser Eintragung für die (einbezogen) Leistung des Patienten einbezogen wird [Dieses Attribut wird bei Fehlern in der Sitzung eingesetzt]
Ursprung der Eintragung	Varchar(45)	Hiermit wird der Ursprung/das Gerät festgehalten, wo dieses Ergebnis erzielt wurde
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Eintrags

Tabelle A.8: Das verwendete Neglect Übung 2 "Blicksakkaden"-Schema im E-BRAiN System

Neglect Training Übung 3a/3b/3c "Visuelle Exploration" Schema

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzungs-ID	Integer	Geplanter Startzeitpunkt der Sitzung
Bildname	Varchar(45)	[Nur 3c:] Name der genutzten Bilddatei
Patient-ID	Integer	Geplanter Endzeitpunkt der Sitzung
Übungscode	Integer	Die Übung für welche das Ergebnis eingetragen wird. Die Darstellung der Übung erfolgt als Code z.B. 1999 = AFT, 9199= ST usw.)
Gesamtzahl Stimuli	Integer	Anzahl getroffener Zielreize für diese Übungseinheit
Durchschnittliches erreichte Vorlagen-Stufe	Integer	Durchschnittlich erreichte Stufe für diese Übungseinheit
Gezeigte Stufe 1 Vorlagen	Integer	Anzahl gezeigter Stufe 1 Vorlagen für diese Übungseinheit
Gezeigte Stufe 2 Vorlagen	Integer	Anzahl gezeigter Stufe 2 Vorlagen für diese Übungseinheit
Gezeigte Stufe 3 Vorlagen	Integer	Anzahl gezeigter Stufe 3 Vorlagen für diese Übungseinheit
Gezeigte Stufe 4 Vorlagen	Integer	Anzahl gezeigter Stufe 4 Vorlagen für diese Übungseinheit
Gezeigte Stufe 5 Vorlagen	Integer	Anzahl gezeigter Stufe 5 Vorlagen für diese Übungseinheit
Erfolgsrate Stufe 1 Vorlagen	Integer	Prozentual erreichtes Ergebnis dieser Vorlagenstufe für diese Übungseinheit
Erfolgsrate Stufe 2 Vorlagen	Integer	Prozentual erreichtes Ergebnis dieser Vorlagenstufe für diese Übungseinheit
Erfolgsrate Stufe 3 Vorlagen	Integer	Prozentual erreichtes Ergebnis dieser Vorlagenstufe für diese Übungseinheit
Erfolgsrate Stufe 4 Vorlagen	Integer	Prozentual erreichtes Ergebnis dieser Vorlagenstufe für diese Übungseinheit
Erfolgsrate Stufe 5 Vorlagen	Integer	Prozentual erreichtes Ergebnis dieser Vorlagenstufe für diese Übungseinheit
Erfolgreich bearbeitete Stufe 1 Vorlagen	Integer	Anzahl erfolgreich abgeschlossener Stufe 1 Vorlagen für diese Übungseinheit
Erfolgreich bearbeitete Stufe 2 Vorlagen	Integer	Anzahl erfolgreich abgeschlossener Stufe 2 Vorlagen für diese Übungseinheit
Erfolgreich bearbeitete Stufe 3 Vorlagen	Integer	Anzahl erfolgreich abgeschlossener Stufe 3 Vorlagen für diese Übungseinheit
Erfolgreich bearbeitete Stufe 4 Vorlagen	Integer	Anzahl erfolgreich abgeschlossener Stufe 4 Vorlagen für diese Übungseinheit
Erfolgreich bearbeitete Stufe 5 Vorlagen	Integer	Anzahl erfolgreich abgeschlossener Stufe 5 Vorlagen für diese Übungseinheit
Symbolfarbe	Varchar(45)	[Nur 3a/3b:] Die genutzte Symbolfarbe dieser Übungsrunde
Symbolform	Varchar(45)	[Nur 3a/3b:] Die genutzte Symbolform dieser Übungsrunde
Knowledge of Result-Score	Integer	Das KR-Ergebnis dieser Übungsrunde

KR-Score Klassifikation: Durchschnittliche Stufe	Float	Bestätigung, ob diese Sitzung als abgeschlossen gilt
KR-Score Klassifikation: Erfolgreich getroffene Symbole	Varchar(45)	Die "Klassifikation" (mehr/weniger) ob die vorige Übungsrunde besser oder schlechter lief bezüglich ge- troffener Symbole
Ergebnisvalidität	Boolean	Legt fest, ob das Ergebnis dieser Eintragung für die (einbezogen) Leistung des Patienten einbezogen wird [Dieses Attribut wird bei Fehlern in der Sitzung einge- setzt]
Ursprung der Eintragung	Varchar(45)	Hiermit wird der Ursprung/das Gerät festgehalten, wo dieses Ergebnis erzielt wurde
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Eintrags

Tabelle A.9: Das verwendete Neglect Übung 3a/3b/3c Schema im E-BRAiN System

Neglect Training Übung 3c "Visuelle Exploration" (Fotos) Fotostatistiken Schema

Attribut	Datentyp	Erklärung
Personal Key	Integer	Datenbankinterner Personal Key
Sitzungs-ID	Integer	Geplanter Startzeitpunkt der Sitzung
Patient-ID	Integer	Geplanter Endzeitpunkt der Sitzung
Bildname	Integer	Name der genutzten Bilddatei
Index der gezeigten Vorlage innerhalb der Übung	Integer	Beschreibt den Index, an welcher Stelle innerhalb der Sitzung diese Bildvorlage angezeigt wurde
Gefundene Zielreize	Integer	Wie viele Zielreize wurden entdeckt
Anzahl der Zielreize	Integer	Wie viele Zielreize bot diese Vorlage
Stufe der Vorlage	Integer	Die Voralgen-Stufe der Bildvorlage
Oben Links Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Mitte Links Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Unten Links Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Oben Mitte Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Mitte Mitte Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Unten Mitte Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Oben Rechts Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Mitte Rechts Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich
Unten Rechts Ziele	Integer	Anzahl der Ziele für diesen Bereich

Interaktionsfolge	Longtext	Hier wird die Interaktionsabfolge für diese Vorlage mittels Zielreiz-Index, Fehltreffer und Hilfestellung beschrieben. Beispiel: "1_1_miss_unfound_2_Erfolg". Dies bedeutet, dass zunächst das Zielobjekt 1 zweimal berührt wurde, anschließend einmal kein Zielreiz getroffen wurde, dann wurde für einige Zeit keine Berührung registriert (und eine Hilfestellung wurde gegeben), und zuletzt wurde Zielobjekt 2 berührt, was zu einem erfolgreichen Abschluss der Vorlage führte.
Oben Links Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Mitte Links Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Unten Links Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Oben Mitte Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Mitte Mitte Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Unten Mitte Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Oben Rechts Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Mitte Rechts Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Unten Rechts Hilfestellungen	Integer	Anzahl der Hilfestellungen für diesen Bereich
Fotoserie	Varchar(45)	Welcher Fotoserie gehört die Bildvorlage an
Ursprung der Eintragung	Varchar(45)	Hiermit wird der Ursprung/das Gerät festgehalten, wo dieses Ergebnis erzielt wurde
Erstellt am	Timestamp	Zeitstempel des Eintrags

Tabelle A.10: Das verwendete Neglect Übung 3c Fotostatistiken Datenbank-schema im E-BRAiN System

A.2 Weitere Repertory-Grid Konstrukte

im Folgenden ist eine Auflistung aller Repertory-Grid Konstrukte, welche aus der Vergleichsanalyse in Abschnitt 4.1 nicht mit einem bestehenden Patienten-Nutzermodell Attribut gematcht werden konnte. Diese sind potentiell Kandidaten für neue Attribute. Die Reihenfolge der Liste ist alphabetisch sortiert.

- | | |
|---|--|
| 1. Ablenkbarkeit | 36. Ehrgeizigkeit |
| 2. Abhängigkeit von anderen | 37. Energielevel bei der Therapie (lustlos/lebhafter) |
| 3. Akzeptanz von Feedback | 38. Engagement |
| 4. alleinwohnend | 39. Erfreut über quantitatives Feedback |
| 5. Ambivalenz | 40. Ernstheit |
| 6. Anstrengung innerhalb der Therapie | 41. Ernsthaftigkeit bei der Therapie |
| 7. Anzahl benötigter Pausen | 42. Erschöpftheit |
| 8. Apraxie | 43. Erst am Ende von der Therapie überzeugt |
| 9. Arroganz/Bodenständigkeit | 44. Erst nach "Eisbrecher" offen geworden |
| 10. Aufgaben mittendrin unterbrochen | 45. erzählt über sich selbst / sprach über andere andere |
| 11. Aufgaben vorsichtig gemacht | 46. Ex-sportler |
| 12. ausgesprochene Erzählmenge | 47. Familienunterstützung |
| 13. Autonomie | 48. Fähigkeit zum Aufbauen einer Therapist-Patient-Beziehung |
| 14. Beim Materialwechsel zwischen Aufgaben geholfen | 49. Fühlt sich ernst genommen |
| 15. Beklagenmenge (jammern) bei der Therapie | 50. Fokussierung auf Therapie während der Sitzung |
| 16. Benötigte Menge an Hands-on Hilfe | 51. Fremdmotivation (Externe Motivation) |
| 17. Benötigt Hilfe bei der Durchführung der Aufgaben | 52. Freundesunterstützung |
| 18. Benötigte viel Aufmerksamkeit | 53. Frustration über eigene Fehler |
| 19. Benötigte Kommunikationshilfe (Papier und Stift) | 54. Frustration über nicht-verstanden werdens |
| 20. Beruf | 55. Geduld |
| 21. Betrachtung der Therapie als Spiel | 56. Geistige Verwirrtheit |
| 22. Bewusstheit über eigene Erfolge | 57. Generelle Frustration |
| 23. Bewusstheit über ihre Teilnahme an Therapie | 58. Genervtheit über Verlust früherer Hobbies |
| 24. Bewusstheit über Krankheitsfolgen und Therapiemöglichkeiten | 59. Gestellte Fragen an den Therapeuten |
| 25. Burnout | 60. Gestik nutzend |
| 26. Dankbarkeit | 61. Gewicht |
| 27. Dauer der Erholung vom Schlaganfall | 62. Gezeigter Willen, sich zu verbessern |
| 28. Direktheit der Sprache / unbedacht sprechend | 63. Glaube an Therapieerfolg |
| 29. einfache Fragen / komplexe Fragen | 64. Grad an benötigter Hilfe im Alltag |
| 30. Egoismus/Selbstlosig | 65. Grad an Verbesserung |
| 31. Eigeninitiative | 66. gute Therapeut-Patient-Beziehung |
| 32. Eigeninteresse (der Motivation für Therapieteilnahme) | 67. haben beim auf/abbau mitgeholfen |
| 33. Eigenmotivation | 68. Handbewegungstempo |
| 34. Ehepartner viel interagiert | 69. Handicaps |
| 35. Ehepartnerunterstützung | 70. Handicap des Arms |
| | 71. hat bei Therapie mitgezählt |
| | 72. Hat die Aufgaben falsch ausgeführt |
| | 73. Hat mehr Übungsrunden gebraucht |

A Anhang

74. Hat Übungen auch zuhause gemacht
75. Häufigkeit von Rückversicherung
76. Hatte Skepsis gegenüber Therapie
77. Hätte es allein mit dem Roboter nicht geschafft
78. Hilfsbereitschaft
79. Humorvoll/losigkeit
80. Hobbieaktivität
81. Hoffnung auf Therapieerfolge
82. hohe Erwartungen an sich selbst
83. Hohe Erwartungen an Therapie
84. Inkontinenz
85. Interesse an fachlichem Wissen
86. Interesse an Therapie
87. Introvertiertheit/Extrovertiertheit
88. kann wohl (eher nicht) mit Robotherapie umgehen
89. Kam alleine
90. kognitive Leistungsfähigkeit
91. klar formuliertes Therapieziel
92. Kommunikativ
93. Konnte Aufgabe X gut
94. konnte Autofahren
95. Konzentrationsfähigkeit
96. Körperbau (knochig, kräftig,...)
97. Körperliche Lockerheit /Steifheit
98. Krankheitseinsicht
99. Kurze oder lange Sätze
100. Lebhaftigkeit/Lustlosigkeit
101. Leidensgrad
102. leistungstärker (als andere)
103. Lerntempo der Übungen
104. Lockerheit
105. Macht mehr oder weniger als die geforderte Zahl an Bewegungen
106. Manipulation bei der Therapie
107. Maß an Interaktion
108. mentale Gebrechlichkeit
109. Motivation
110. Motivation wieder zu arbeiten
111. Mimik nutzen
112. Mitgebrachte Person redete viel
113. Mussten von Therapeut eingeschränkt werden in Themen
114. Nervosität
115. Nettigkeit
116. Offenheit über privates mit der Zeit steigend
117. Offen/geschlossen über privates erzählt
118. Offen/schüchtern
119. Optimistisch/Pessimistisch
120. Perfektionismus
121. Performance linear oder exponentiell steigend
122. Performance schwankend
123. Pflegerunterstützung
124. Psychische Krankheit
125. Qualität des sozialen Umfelds
126. Rollstuhlfahrer
127. Ruhe bei der Therapie
128. Performance schwankend
129. Scham über Krankheitsfolgen
130. Schicksalsschläge
131. Schizophrenie
132. Schlaganfall gut/schlecht verarbeitet
133. schwierige Aufgaben eher schon überfordernd
134. Schwierige Handicaps für Alltag
135. Sicher fühlend
136. Sinnvolle Themen angesprochen
137. Skepsis auf Therapieerfolg
138. Smalltalk-sprechend
139. Sorgen machend
140. soziales Engagement
141. Sprechgeschwindigkeit
142. Stellt unangenehme Fragen an den Therapeut
143. Stolz auf ihr Leben
144. Strategien für Alltagsbewältigung vorhanden
145. Stimmlautstärke
146. Stimmungsschwankungen
147. Sympathie
148. Tätigkeit zum Zeitpunkt des Schlaganfalls
149. Tagträumerisch
150. Therapeut musste oft nachfragen
151. Unsicherheit
152. Ungeduldigkeit auf Therapieerfolge
153. Überrascht von Erfolgen
154. Überraschung von Therapieerfolgen
155. Übungsintensität zu schwer
156. Verarbeitung der Krankheit
157. Vergesslichkeit
158. Verließen den Therapieraum schnell nach Sitzungsende
159. Verkopftheit
160. Verständnisschwierigkeiten
161. Verwirrtheit
162. (vorherige) Therapieerfahrung
163. wohnten in der Nähe der Therapie
164. wollte nicht, dass laut gezählt wird
165. Wollte wieder arbeiten
166. Zeit seit Erleiden des Schlaganfalls
167. Zittern des Arms
168. Zufriedenheit mit bisherigen Therapien
169. Zuvorkommenheit in der Interaktion mit Therapeut

A.3 Verlauf der Robotersystementwicklung

Datum	Art	Inhaltliche Beschreibung (soweit vorhanden)
24.10.2019	Vor Ort-Treffen	Besprechung der Systemgestaltung
18.11.2019	Vor Ort Treffen	Systemgestaltung & Planung der Interaktion anhand der ST
18.12.2019	Vor Ort Treffen	Demonstrationstag der bisherigen Entwicklung (und digitale Apps, siehe 7.1)
17.01.2020	Online-Treffen	Systemgestaltung & ST
17.01.2020	1 Dokument erhalten	Datenschemata der Mediziner (darunter "Klinische Erhebungsbögen")
19.02.2020	Vor Ort-Treffen	Systemgestaltung & ST
26.02.2020	Vor Ort-Treffen	Demo ST Demonstration
11.03.20	2 Dokumente erhalten	Zeitplanung der Entwicklung, Grobe Dialogstruktur (siehe Tabelle 5.2, genauere Textpassagen wurden zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorgegeben)
13.03.20	Beginn	Covid-19 Einschränkungen (deutliche Einschränkung von persönlichen Treffen für alle Gruppen. Die entsprechenden Maßnahmen wirkten bis zum offiziellen Projektende 2022 an.)
26.03.2020	Online-Treffen	Allgemeine Dialogstruktur, AFT & ST
26.03.2020	2 Dokumente erhalten	1. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 1. ST- Manual (Detailierte Texte, um einen klinische Therapiesprache zu gewährleisten)
02.04.2020	Beginn	Entwicklung des virtuellen Roboters (ViRo) zur Darstellung der Therapieinhalte
29.04.2020	Online-Treffen	ST
07.05.2020	3 Dokumente erhalten	2. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 2. ST-Manual, 1. NVT-Manual
12.05.2020	Online-Treffen	Vorige Dokumente, VPN-Zugang
18.05.2020	Online-Treffen	NVT
08.06.2020	1 Dokument erhalten	2. NVT-Manual
27.06.2020	2 Dokumente erhalten	3. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 1. AFT-Manual
07.08.2020	Online-Treffen	ABT
13.08.2020	Online-Treffen	1. Online Demo: Spiegeltherapie mit ViRo
13.08.2020	1 Dokument erhalten	Personalisierung des Systems
17.08.2020	2 Dokumente erhalten	4. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 1. Motivationsfragen-Manual
18.08.2020	Email-Feedback erhalten	Spezifikation für ST (Zeitangaben)
20.08.2020	Online-Treffen	ST
20.08.2020	1 Dokument erhalten	3. ST-Manual
25.08.2020	Online-Treffen	Roboter-Bestellung mit Softbank Robotics
25.08.2020	Email-Feedback	Multimodale Spezifikation zur ABT
11.09.2020	2 Dokumente erhalten	5. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 2. Motivationsfragen-Manual
18.09.2020	Online-Treffen	AFT

A Anhang

24.09.2020	Beginn	Umgestaltung der Therapien: Da eine multimodale (Kamera-)Erfassung der Bewegungen für die AFT und ABT kurzfristig nicht ohne erheblichen organisatorischen und technischen Aufwand möglich sein wird, werden die Therapien der AFT und ABT ab jetzt für eine analoge Anwendung entwickelt (d.h. vor allem ohne eine visuelle Erkennung der Übungsausführung) und es wird erstrebt eine digitale Erkennung zu einem späteren Zeitpunkt einzufügen.
24.09.2020	1 Dokument erhalten	3. AFT-Manual
02.10.2020	1 Dokument erhalten	4. AFT-Manual
14.10.2020	Online-Treffen	Textgenerierung
14.10.2020	1 Dokument erhalten	6. Allgemeine Dialogstruktur-Manual
16.11.2020	2 Dokumente erhalten	7. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 1. ABT-Manual
17.11.2020	Online-Treffen	AFT, ABT
17.11.2020	1 Dokument erhalten	4. AFT-Manual
05.01.2021	Online-Treffen	AFT
13.01.2021	Online-Treffen	NVT
13.01.2021	1 Dokument erhalten	3. NVT-Manual
15.01.2021	Beginn	Neuer Arbeitskollege: Regelmäßiges Entwicklertreffen, jeden Freitag
26.01.2021	Online-Treffen	Installationsversuch eines Dialog-Prototypen auf Laptops
28.01.2021	Online-Treffen	2. Installationsversuch eines Dialog-Prototypen auf Laptops (
11.02.2021	1 Dokument verschickt	1. Version der Inhalte einer (simulierten) Spiegeltherapie-Sitzung: Ein vollständiger ST-Dialogverlauf wurde simuliert, indem alle Texte und Tablet-Inhalte schrittweise auf einer DIN A4-Seite dargestellt wurden. Das bedeutet, dass alle Schritte ("states", siehe Tabelle 5.2.2.1) der Therapie für alle möglichen Interaktionspfade vollständig dargestellt wurden. Im 386-seitigen Dokument können alle Interaktionszustände mit den jeweiligen Transitionen geprüft werden.
18.02.2021	E-Mail-Feedback	Allgemeine sprachliche Gestaltung und Feedback für das Dokument vom 11.02.2021
03.03.2021	Online-Treffen	NVT
05.03.2021	Online-Treffen	ABT
05.03.2021	2 Dokumente erhalten	8. Allgemeine Dialogstruktur-Manual, 2. ABT-Manual
11.03.2021	Online-Treffen	
16.03.21	Online-Treffen	ABT, NVT
16.03.21	1 Dokumente erhalten	9. Allgemeine Dialogstruktur-Manual
17.03.2021	Online-Treffen	UI-Voting Workshop: Das Entwicklerteam veranstaltet einen Expertenworkshop mit den, um gemeinsam aus vorgeschlagenen Layouts und Designs sich auf ein Design festzulegen. Anschließend wurde aus den mehrheitlich gewählten Elementen und ihren Designs, Layouts finalisiert.
19.03.21	1 Dokument erhalten	3. ABT-Manual
23.03.21	1 Dokument verschickt	Ergebnis des UI-Voting Workshop: Layout-Designs für Texte, darzustellende Medien, Abfragen etc.

A.3 Verlauf der Robotersystementwicklung

12.04.21	2 Dokumente verschickt	(Dokumente wie am 11.02.21) simulierter ABT-Dialogverlauf-Vorschlag an das medizinische Team (1089 Seiten), 2. simulierter, verbesserter AFT-Dialogverlauf-Vorschlag (451 Seiten) (Hinweis: das Abgabedatum der 1. Version der AFT-Inhalte kann nur ungefähr aus den Nachrichtenverläufen zwischen dem 15.03-26.03.2021 geschätzt werden.)
13.04.21	Online-Treffen	NVT
13.04.21	Email-Feedback erhalten	Allgemeine Dialogstruktur
20.04.21	Beginn	Erhalt der E-BRAiN Rechner zur Vorbereitung der klinischen Studien
28.04.21	E-Mail Feedback erhalten	ABT-Rückmeldung zum ABT-Dokument am 12.04.21
29.04.21	Online-Treffen	ABT
05.05.21	Online-Treffen	NVT
07.05.21	1. Neglect-Version	1. NVT-Iteration (Speziell zum Testen der Berührungsempfindlichkeit der NVT 3c Bilder)
10.05.21	Online-Treffen	Einführung in die NVT-app
17.05.21	Online-Treffen	Netzwerktechnik-Planung
17.05.21	1 Dokument erhalten	4. NVT-Manual
26.05.21	Online-Treffen	NVT
26.05.21	Meilenstein	1. vorbereiteter "zentraler Rechner" (siehe Tabelle 5.1) wurde an das medizinische Team verschickt (Rechner vom 20.04.21)
31.05.21	Email-Feedback erhalten	VPN-Zugang
08.06.2021	Versionsupdate	2. NVT-Iteration
09.06.21	Online-Treffen	Netzwerkeinrichtung
10.06.2021	Versionsupdate	3. NVT-Iteration
11.06.21	Online-Treffen	1. Versuch Roboterinstallation
15.06.21	Email-Feedback erhalten	NVT
17.06.21	Online-Treffen	2. Versuch Roboter Installation
21.06.21	1 Dokument erhalten	5. NVT-Manual
24.06.21	Online-Treffen	Treffen mit Softbank-Robotics
30.06.21	1 Dokument erhalten	6. NVT-Manual
07.07.21	Meilenstein	Roboter vom medizinischen Team erstmalig betriebsfähig
06.07.21	Email-Feedback erhalten	4. NVT-Iteration
07.07.21	Versionsupdate	5. NVT-Iteration
07.07.21	1 Dokument erhalten	7. NVT-Manual
08.07.21	Online-Treffen	NVT
13.07.21	Versionsupdate	6. NVT-Iteration (Testversion für Geschwindigkeiten)
14.07.21	Versionsupdate	7. NVT-Iteration
19.07.21	Versionsupdate	8. NVT-Iteration, 2. Roboter-App-Iteration
23.07.21	Online-Treffen	Systemtest
23.07.21	Email-Feedback	Therapien erstmals startfähig
27.07.21	Online-Treffen	Systemtest

A Anhang

30.07.21	Versionsupdate	1. Generelle App-Verbesserung (bisher die 9. App-Iteration)
30.07.21	Online-Treffen	Systemtest
05.08.21	Online-Treffen	Systemtest
09.08.21	Email-Feedback erhalten	1. vollständige Therapiedurchlauf, AFT, ST
10.08.21	Online-Treffen	Systemtest-Besprechung
12.08.21	Versionsupdate	1. Datenbankerweiterung, 1. Erweiterung ST und AFT, virtueller Roboter vor Ort erstmalig funktionsfähig
13.08.21	Online-Treffen	
20.08.21	Email-Feedback erhalten	
26.08.21	Email-Feedback erhalten	
27.08.21	Email-Feedback erhalten	AFT
01.09.21	Online-Treffen	
02.09.21	Online-Treffen	
09.09.21	Online-Treffen	
10.09.21	Online-Treffen	AFT
10.09.21	Email-Feedback erhalten	ABT
13.09.21	Email-Feedback erhalten	ST
15.09.21	Versionsupdate	
17.09.21	Versionsupdate	2. Generelle App-Verbesserung (bisher 10. App-Iteration), 3. Roboter App-Iteration
20.09.21	Email-Feedback erhalten	App-Installation nicht erfolgreich
20.09.21	Versionsupdate	3. Generelle App-Verbesserung (bisher 11. App-Iteration)
28.09.21	Online-Treffen	
29.09.21	Email-Feedback erhalten	Allgemeine Bug-Meldungen (aber Therapien sind funktionsfähig)
01.10.21	Email-Feedback erhalten	AFT, ABT und ST sind jetzt einsatzbereit
04.10.21	Meilenstein	Beginn der Patientenaufnahme für AFT, ST und ABT
08.10.21	Versionsupdate	9. NVT-Iteration (bisher 12. App-Iteration), erstmals vollständig durchführbar
08.10.21	Email-Feedback erhalten	NVT
08.10.21	Online-Treffen	NVT
11.10.21	Online-Treffen	Planung für Erweiterung der ABT, NVT-Feedback
13.10.21	Email-Feedback erhalten	ABT
14.10.21	Online-Treffen	ABT
14.10.21	Versionsupdate	10. NVT-Iteration (bisher 13. App-Iteration)
15.10.21	Versionsupdate	11. NVT-Iteration (bisher 14. App-Iteration), 4. Roboter App-Iteration

A.3 Verlauf der Robotersystementwicklung

15.10.21	Email-Feedback erhalten	Roboter-Installation
16.10.21	Email-Feedback	NVT
17.10.21	Versionsupdate	5. Roboter App-Iteration
19.10.21	Email-Feedback erhalten	Bugs
19.10.21	1 Dokument erhalten	NVT visuelle Exploration Bilder-Stufen Update
29.10.21	Email-Feedback erhalten	NVT
01.11.21	Email-Feedback erhalten	NVT
02.11.21	Email-Feedback erhalten	AFT
10.11.21	Online-Treffen	Netzwerk
10.11.21	Versionsupdate	12. NVT-Iteration (bisher 15. App-Iteration)
11.11.21	Versionsupdate	13. NVT-Iteration (bisher 16. App-Iteration)
01.12.21	Versionsupdate	2. Datenbankupdate
10.12.21	Versionsupdate	14. NVT-Iteration (bisher 17. App-Iteration)
14.12.21	Versionsupdate	15. NVT-Iteration (bisher 18. App-Iteration), 3. Datenbankupdate
15.12.21	Online treffen	NVT
16.12.21	Email-Feedback erhalten	AFT, ABT
18.01.22	Email-Feedback erhalten	ST
18.01.22	Versionsupdate	16. NVT-Iteration (bisher 19. App-Iteration)
19.01.22	Versionsupdate	17. NVT-Iteration (bisher 20. App-Iteration)
19.01.22	Online-Treffen	NVT
03.02.22	Versionsupdate	18. NVT-Iteration (bisher 21. App-Iteration)
03.02.22	Email-Feedback erhalten	
20.02.22	Versionsupdate	19. NVT-Iteration (bisher 22. App-Iteration)
11.02.22	Online-Treffen	NVT
15.02.22	Online-Treffen z	NVT
16.02.22	Email-Feedback erhalten	NVT
18.02.22	Ereignis	Entwicklung wird nur noch durch mich fortgeführt
20.02.22	Versionsupdate	20. NVT-Iteration (bisher 23. App-Iteration)
22.02.22	Online-Treffen	NVT
28.02.22	Versionsupdate	21. NVT-Iteration (bisher 24. App-Iteration)
28.02.22	Email-Feedback erhalten	NVT
01.03.22	Online-Treffen	
02.03.22	Versionsupdate	22. NVT-Iteration
03.03.22	Versionsupdate	4. Datenbankupdate
04.03.22	Email-Feedback erhalten	

A Anhang

07.03.22	Versionsupdate	23. NVT-Iteration (bisher 26. App-Iteration)
07.03.22	Online-Treffen	NVT
08.04.22	Email-Feedback erhalten	NVT
12.04.22	Versionsupdate	24. NVT-Iteration (bisher 27. App-Iteration)
13.04.22	Email-Feedback erhalten	NVT
14.03.22	Versionsupdate	25. NVT-Iteration (bisher 28. App-Iteration)
16.03.22	Email-Feedback erhalten	NVT
23.03.22	Email-Feedback erhalten	NVT
05.04.22	Versionsupdate	26. NVT-Iteration (bisher 29. App-Iteration)
13.04.22	Meilenstein	NVT wird zum ersten Mal mit einem Patienten erprobt
19.04.22	Versionsupdate	26. NVT-Iteration (bisher 29. App-Iteration)
25.04.22	Email-Feedback erhalten	Bugs NVT
26.04.22	Versionsupdate	NVT Sprachskripte
27.04.22	Meilenstein	NVT Einsatzbereit
11.05.22	Online-Treffen	
02.06.22	Online-Treffen	
05.09.22	Online-Treffen	ABT
12.09.22	Online-Treffen	Planung ABT-Erweiterung, Aufgaben Stufe 2
16.09.22	Versionsupdate	ABT-Skripte
17.09.22	Dokumente erhalten	4. ABT-Manual
19.09.2022	Online-Treffen	ABT
20.09.2022	Versionsupdate	ABT-Therapieskripte
21.09.2022	Online-Treffen	ABT
22.09.2022	Versionsupdate	ABT-Therapieskripte
24.09.2022	1 Dokumente erhalten	5. ABT-Manual
26.09.2022	1 Dokumente erhalten	6. ABT-Manual
06.10.2022	Versionsupdate	2. ABT-Iteration (bisher 30. App-Iteration)
07.10.2022	Versionsupdate	3. ABT-Iteration (bisher 31. App-Iteration)
10.10.2022	Versionsupdate	4. ABT-Iteration (bisher 32. App-Iteration), 5. Datenbankupdate
10.10.2022	Email-Feedback erhalten	ABT
12.10.2022	Versionsupdate	6. Roboter App-Iteration, 5. ABT-Iteration (bisher 33. App-Iteration)
19.11.2022	Versionsupdate	6. ABT-Iteration (bisher 34. App-Iteration)
21.11.2022	Meilenstein	ABT 2. Stufe funktioniert !
19.12.2022	Email-Feedback erhalten	ABT, Bugs
22.12.2022	Email-Feedback erhalten	NVT
28.12.2022	1. Usability-Interview,	NVT

A.3 Verlauf der Robotersystementwicklung

31.12.2022	Offizielles Projektende	Offizielles Projekt "E-BRAiN" läuft aus. Weitere finanzielle Förderungen des Projekts werden aus anderen Quellen bezogen.
06.02.23	Email-Feedback erhalten	AFT, Bugs
20.02.23	2. Usability-Interview	ABT
23.02.23	Online-Treffen	ABT
23.02.23	Email-Feedback	ABT
25.02.23	Versionsupdate	7. ABT-Iteration (bisher 35. App-Iteration)
22.03.23	Email-Feedback erhalten	NVT, Bugs
29.03.23	3., 4., 5. Usability-Interview	NVT, ABT, NVT
23.03.23	Email-Feedback erhalten	NVT
31.03.23	Email-Feedback erhalten	NVT, Bugs
17.04.23	Versionsupdate	8. ABT-Iteration (bisher 36. App-Iteration)
18.04.23	Email-Feedback erhalten	ABT
26.04.23	1 Dokument erhalten	7. ABT-Manual
04.05.23	6. Usability-Interview	ABT
30.05.23	7. Usability-Interview	ST
16.06.23	Email-Feedback	NVT Bugs
21.06.23	8. Usability-Interview	NVT
27.07.23	9. Usability-Interview	ABT
01.08.23	Email-Feedback erhalten	Netzwerkprobleme
18.09.23	10. und 11. Usability-Interview	NVT, NVT
19.09.23	2 Dokumente erhalten	8. NVT-Manual und 8. ABT-Manual
27.10.23	Versionsupdate	27. NVT-Iteration (bisher 37. App-Iteration)
02.11.23	Vor Ort-Treffen	NVT
06.11.23	Versionsupdate	27. NVT-Iteration, 9. ABT-Iteration (Spracherkennung für flüssigeren Übungsverlauf) (bisher 38. App-Iteration), 6. Datenbankupdate
08.11.23	Versionsupdate	10. ABT-Iteration (bisher 39. App-Iteration)
09.11.23	Versionsupdate	11. ABT-Iteration (bisher 40. App-Iteration)
10.11.23	Versionsupdate	12. ABT-Iteration (bisher 41. App-Iteration)
13.11.23	Versionsupdate	13. ABT-Iteration (bisher 42. App-Iteration)
16.11.23	Versionsupdate	28. NVT-Iteration (bisher 43. App-Iteration), 7. Datenbankupdate
21.11.23	Versionsupdate	29. NVT-Iteration (bisher 44. App-Iteration)
31.01.24	Email-Feedback erhalten	Allgemeine Fragen
22.02.24	Email-Feedback erhalten	NVT: Potentielle Verbesserungen
17.04.24	Email-Feedback erhalten	Allgemeine Verbesserungen

A Anhang

29.05.24	Versionsupdate	30. NVT-Iteration (bisher 45. App-Iteration)
03.06.24	Versionsupdate	31. NVT-Iteration (bisher 46. App-Iteration)
19.06.24	Email-Feedback erhalten	Fehlermeldungen (durch falsche Anwendung)
20.06.24	Versionsupdate	32. NVT-Iteration (bisher 47. App-Iteration)
01.07.24	Email-Feedback erhalten	NVT Bugs
11.12.2024	Email-Feedback erhalten	Fehlermeldungen (durch falsche Anwendung)
31.12.2024	Ende	Ende aller Projektförderungen für das System

Tabelle A.11: Auflistung der Inhalte zur Robotersystementwicklung

A.4 Fragebogen: Antworten auf offene Fragen

Hier werden die genaueren Antworten der Patienten (P) auf die offenen Fragen im Fragebogen präsentiert.

Zum besseren Verständnis, welche Therapien und entsprechender Systemeindruck gewonnen werden konnte, wird hier ein Überblick über die Patienten und ihre Therapie gegeben:

- P1: Neglect-Training
- P2: ABT
- P3: Neglect-Training
- P4: ABT
- P5: Neglect-Training
- P6: ABT
- P7: ST
- P8: Neglect-Training
- P9: ABT
- P10: Neglect-Training
- P11: Neglect-Training

Antworten

- **Was hat ihnen bei diesem System (und ihrer Therapie) am besten gefallen?:**

P1: "Er spricht deutlich und laut. Er erklärt Aufgaben gut."

P2: "[Es hat eine] angenehme Sprache. [Die] Erklärungen sind eindeutig."

P3: "[Es] stellt gute Fragen. Die Übungen waren gut. [Die] Dynamik der Aufgaben [war gut]". [Man könnte die Übungssymbole] schöner gestalten. [Die] Erklärungen waren gut, aber lange."

P4: "Das ganze Konzept, alles gut sichtbar, [alles] in Ordnung. [Das] Tempo und Farben [auch]. [Komme] gut zurecht."

P5: "[Mir] hat alles gefallen, man sieht, dass es vorangeht. [Es] macht Spaß, [der] Erfolg ist spürbar."

P6: "Alles."

P7: "Wenn alles klappt, dann ist alles gut."

P8: "Die Neuartigkeit dieser Methode."

P9: "Meine Helfer [Frau Rämisch und Frau Taube]."

P10: "Der Ablauf mit den Bildern, mit den Punkten." "Das *Tempo* der Übung." [Rückfrage des Interviewers, ob es sich wie ein Spiel anfühlt und deswegen gut sei] "Es macht Spaß."

P11: "Das spielerische Herangehen war gut, hat motiviert, genauer zu werden." "Die Wiederholung ist wichtig. Die Therapie hat an alte Rollenspiele aus der Kindheit erinnert." "Man erkennt die Schwächen etc. anhand der Diagramme und das ist [...] klar und deutlich verständlich." "Das Lob ist zwar gut, aber das [man selbst] schlechter geworden ist [...] deprimierend."

- **Was hat ihnen an diesem System (und ihrer Therapie) am wenigsten gefallen?:**

P1: "Kann so bleiben."

P2: "Gar nichts. [Mir] gefällt das ganze Paket. [Die] Videos sind gut, man kann alles sehen".

P3: "[Es ist] etwas langsam, [es sollte] schneller schalten. [Der nächste Interaktionsschritt] sollte schneller kommen."

P4: "Es gibt nichts, keine negativen Punkte."

P5: "Nichts."

P6: "Nichts."

P7: "Gar nichts."

P8: "Es gibt nichts [was mir nicht gefallen hat]."

P9: "Die Warzeit zwischen dem System ab dem 2. [oder] 3. Tag kann schneller gehen. Videos zeigen und dann los. [Als Lösung z.B.] eine Taste [zum Überspringen], direkt nach der Ankündigung."

P10: "Langeweile". "Der Roboter redet lange. Aber es ist auch ok, dass er lange redet".

P11: "Die Länge der Erklärungen sind lange."

- **Wenn Sie eine Sache an diesem System ändern oder hinzufügen könnten, was wäre das?:**

P1: "Er könnte Bier holen gehen."

P2: "Nichts, wüsste nicht was."

P3: "Tempo der Übungsinteraktion [erhöhen]."

P4: "Nix ändern." "Bei Fehlern sollte keine Reue sein. Ein paar fehler sind ok." "Vielleicht [könnte] der Roboter eingestehen, dass gerade ein Fehler passiert ist"

A.4 Fragebogen: Antworten auf offene Fragen

[wenn einer auftritt].”

P5: "[Es sollte] mehr Intelligenz haben, was als Patient gesagt oder getan wird. [Es sollte] auf Bedürfnisse automatisch reagieren können, wie die [verbesserten] Übungszeiten."

P6: "Alles zufrieden soweit."

P7: "Pausen nicht so lang machen."

P8: "Er könnte sich etwas kürzer fassen. [Die Stelle] mit dem weißen Kreuz, diese Abfolge das nächste Symbol zu suchen [könnte schneller gemacht werden]."

P9: "Spracherkennung statt der Tasten-Eingabe. [z.B.] kurze Kommandos wie [Amazon] Alexa. [Ein Sprachbefehl] wie "Pause" wäre gut, es hat hier ja keiner Hände frei. Macht ja auch die Sitzung schneller. Das "Weiter" könnte man hier auch schneller sein, wenn der Therapeut das auch verbal sagen kann."

P10: "Der Roboter soll nicht so lange reden."

P11: "Die Fehler alleine aufzeigen reicht nicht, sondern müssen auch zeigen, wo der Fehler ist. Zum Beispiel, sie müssen mehr auf die linke Seite achten. Und wie man besser wird." "[Es sollte] darauf achten, dass man je nach Zeitdruck und Hetze auch Verschlechterungen besonders [für den Patienten] blöd sind. Dann hat man Angst sich zu verschlechtern, und dann wäre die Sorge, dass man erst später aus dem Krankenhaus entlassen wird." "[Es gab] Ungenauigkeit bei der Fotoserie Kühe und Fenster. Die Therapeutin hat immer ergänzende Hinweise gegeben, wie >nicht genau getroffen [und nur knapp verfehlt]". Frustrierend."

- **Bitte denken Sie nun über ihre Erfahrungen mit dem E-BRAiN System insgesamt nach: Wie fanden Sie die Therapie mit dem Roboter? Was denken Sie über den Roboter als Therapeuten?:**

P1: "[Beides] Sehr gut."

P2: "Der ist ok."

P3: "Ich finds ganz gut! Er ermüdet nicht."

P4: "Pepper war super, [ich] bin zufrieden."

P5: "Nichts schlechtes, so in Ordnung."

P6: "Find ich super!"

P7: "[Ich] bin noch dabei. [Ich] bin mit der Therapie noch nicht fertig."

P8: "Diese Neuartigkeit ist gut. Er ist gut als Therapeut. Er ist fesselnd."

P9: "Eigentlich ist ein Therapeut nötig, aber evtl. ist der Roboter auch ok, wenn [man] eine nicht-medizinische Helfer Person hat. [Den Roboter] könnte man auch anders gestalten, den Roboters anders kleiden. Man braucht ja nur ein Tablet für

die Therapie.”

P10: ”Ist nicht verkehrt”. [Rückfrage, ob das System so eingesetzt werden kann.]
”Ja, klar.”

P11: ”In meinem Fall [ist die Therapie] hilfreich, aber ich will nicht, dass er es ersetzt.” [Anmerkung des Autors: mit ”es” wird die klassische Therapie mit einem Menschen gemeint.]

• **Gibt es etwas, was Sie uns noch über das System sagen wollten?:**

P1: ”Nichts. Alles gut so.”

P2: ”Ich wüsste nichts.”

P3: ”Die Stimme könnte man verbessern. ”Einfach eine andere Stimme. Nicht lauter oder leiser.]”

P4: ”Begeisterung pur und [ich] würde das System so gerne nochmal so machen, jederzeit wieder.”

P5: ”[Das System] ist ja schon ein guter Fortschritt.”

P6: ”Alles super, ich bin zufrieden.”

P7: ”Nichts.”

P8: ”Nichts weiter zu sagen. Das Monotone in der Stimme macht müde.”

P9: ”Ich finde das ok, [es] gibt kein Vergleich. [Es] dauert halt länger als die normale Therapie.”

P10: ”Nichts.”

P11: ”[Der Roboter hat eine] piepsige Stimme. Haben wohl alle Computer.” ”Das Herumhampeln stört, es macht ihn nicht menschlicher. Es ist aber nicht schlimm, es lässt mich nicht weniger konzentrieren.”

A.5 Usability-Studie: ”Lautes Denken” Äußerungen der Patienten

1. Bis zum Start der 1. Übungserklärung:

1. **Was denken Sie, wenn Sie das fertige System for sich haben?**

P1: ”-”

P2: ”Wunderwerk der Technik”

P3: ””Häßliches Ding. Irgendwie nackig. Vielleicht bemalen?”

P4: ”Super”

P5: "Er ist zu klein. Könnte man eher anpassen, größer zu machen für mehr Respekt."

P6: "Was ist mit dem los? Die Finger sind so gekrümmt."

P7: "Kann gar nicht funktionieren. Macht ja nur was mit dem gesunden Arm."

P8: "Hab ich mir alles noch gar nicht zusammengereimt, was alles geschieht."

P9: "Vorstellung war anders, dachte, dass die Bewegung vom Roboter gemacht wird. Der Therapeut würde eingreifen, wenn was schief geht."

P10: "Oh großer Gott!" [Rückfrage des Interviewers zu dieser Reaktion.] "[Die] Herausforderung [mit einem Roboter]."

P11: "Ich war gespannt, wie der Roboter das auf meinen Effekt [Gesundheitszustand] umsetzt."

2. Wie wirkt der Einführungstext des Roboters auf Sie?:

P1: "Alles in Ordnung."

P2: "Recht angenehm. Lautstärke reicht aus.
Erreicht was es soll."

P3: "In Ordnung."

P4: "In Ordnung."

P5: "Eigentlich gut, aber zu lange, zu viel Pause dazwischen."

P6: "Eine gute Idee [so einen Text zu haben]."

P7: "Höre ich jeden Tag. [Den Text] jeden Tag ist unnötig."

P8: "Wirkt gut. Wenn er sagt "Guten Tag Frau *Patientennachname*. Er zappelt halt viel rum."

P9: "Ist zu viel. Einfach kurz vorstellen und dann loslegen."

P10: "Ganz gut." [Rückfrage wie dies über jeden Tag wirkt.] "Die Wiederholung ist störend"

P11: "Klar und verständlich. Das der Roboter alles erklärt ist gut."

3. Wenn der Roboter ihnen eine Frage stellt, wie können Sie diese auf dem Tablet beantworten?:

P1: "Gut beantwortbar."

P2: "Fragen [sind] gut beantwortbar. Der Text auf dem Roboter ist etwas schwierig [zu erkennen]. Besser auf dem Tablet [sichtbar]." [Rückfrage zur Geschwindigkeit der Texte:] "Kommt man gut zurecht. Reicht aus."

P3: "Gut beantwortbar, Design [und] Layout [haben] gut gepasst."

P4: "Gut beantwortbar", gutes Design, simpel aber wirkungsvoll, einfacher wird es nicht."

P5: "Gut beantwortbar, langsamer als ein Mensch leider bei der Reaktion."

P6: "-"

P7: "Gut beantwortbar."

P8: "Das ist ganz leicht. Ich habe mich gleich für das erste entschieden."
[Hinweis: "das erste": Eine Entscheidungsoption auf dem Tablet.]

P9: "Gut beantwortbar".

P10: "Gut beantwortbar."

P11: "Das System mit dieser [Antwort-]Skala ist ausreichend." [Hinweis: Bei den Motivationsfragen.]

4. Wie finden Sie die Fragen zur Motivation?

P1: "Alles gut."

P2: Wichtig. Ich will wieder gesund [werden]." [Rückfrage, ob die Buttons gut seien:] "Ja."

P3: "Gut, das passt."

P4: "Ist in Ordnung, gehört zum Programm dazu."

P5: "Geht eigentlich. Freundlich, Kein Druck."

P6: "Die grün werdenden Symbole find ich gut. Um noch ein bisschen motiviert zu werden." [Rückfrage ob sonstige wiederkehrende Elemente stören:] "Nein"

P7: "Keine Meinung, aber auch nicht unnötig."

P8: "Finde ich gut. Fragen genau das, was man denkt."

P9: "Nummerierung fehlt, könnte man hinzufügen. Eine Belohnung wäre gut. Die Therapeuten könnten wenigstens schreiben und eingeben, dass der Roboter auch sagt, dass man besser geworden ist."

P10: "Muss ja sein."

P11: "Die sind nachvollziehbar. Vielleicht zur Selbstreflexion gut. Nicht unwichtig."

2. Zum Start der Erklärung der Übung:

1. Was denken Sie über die einzelnen Erklärungsschritte der Übung?

P1: "Höre eher zu. Ist ausreichend laut." "Redet genau schnell richtig, nicht zu schnell." [weitere Rückfragen des Interviewers zum Erklärungstext, ob er beispielsweise zu viel redet:] "Der Roboter redet nicht zu viel."

P2: "Verständlich."

P3: Stört nicht, das mag ich. [Er sollte] schneller machen."

P4: "Gut, leicht verständlich, gute Nachvollziehung."

P5: "Dauert zu lange, Bei der Erklärung zu viel Pause."

P6: "Finde ich sehr gut."

P7: "Erklärungen sind schon gut."

P8: "Muss gar nicht so lange und einzeln erklärt werden. Es muss nicht ausschweifend erklärend sein. Es reicht ein Erklärungssatz."

P9: "Zum Anfang eigentlich ganz gut."

P10: "Ja ist gut." [Rückfrage des Interviewers, ob es Änderungsideen gäbe:]
"Ist gut. Überspringen [der Interaktion] ohne Limit ist blöd."

P11: "Das macht die Sachen "handhabbar". [Es] sollte klarer zeigen, wann die Aufgabe startet, sonst verleitet das System zum [fälschlichen] Start."

2. Wie finden Sie die Darstellung der Übungserklärung?

P1: [Zunächst keine Reaktion des Patienten] [Rückfragen des Interviewers zur Darstellung der Symbole:] "Formen sind gut. Farben sind deutlich zu erkennen."

P2: "Man kann sehen was man machen soll." [Rückfrage wie die Videos wirken:] "Gut zu erkennen."

P3: "Ist ok."

P4: "Auch sehr gut. Nichts zu verbessern. Nichts auszusetzen."

P5: " Die sind eintönig. Bilder sind auf eine Person zugeschnitten. Da ist immer eine Frauenhand. Die sind so dünn und zart. Verschiedene Hände einsetzen. Mehrere Personen."

P6: "Bilder , find ich gut [...] Größe passt auch."

P7: "Videos und Bilder sind gut."

P8: "Ist in Ordnung. Er nimmt nicht immer alles auf, also Blume wird nicht erkannt." [Hinweis: dies bezieht sich auf die NVT Bilderexploration beim Suchen von Objekten auf den Bildern.]

P9: "Ganz gut. Aber Bilder können weg."

P10: "Gut gelungen, super."

P11: "Grafisch gut erkennbar. Rechteck und Raute sind aber problematisch, Farben sind taktisch wählbar. Aber es ist nur ein Trugschluss, denn die Konzentration ist wichtiger."

3. Schauen Sie eher auf den Roboter oder Tablet?

P1: [Keine Aussage des Patienten]

P2: "Mehr auf Tablet. Auch außerhalb der Übung".

P3: "zum Monitor."

P4: "Auf Monitor."

P5: "Mehr auf das Fenster. Nicht auf Roboter." [Hinweis: mit Fenster wird der Monitor gemeint.]

P6: "Eher Tablet, aber auch Roboter."

P7: "Mehr auf Tablet."

P8: "Meistens nur auf den Roboter." [Rückfrage, ob der Roboter mit dem zappeln ablenkt:] "Nein"

P9: "Eher Tablet."

P10: "Mehr auf Monitor."

P11: "Nur auf Monitor, kein Roboter."

3. Während der Übung:

1. Wie verhält sich das System während der Übungsausführung?

P1: "Natürlich. Präzise. Tempo ist gut" [Rückfrage des Interviewers ob das Feedback ok sei?:] "Gut so."

P2: "Schwierig zu machen. Robotertexte [sind] anstrengend. Textmenge ausreichend." [Rückfrage des Interviewers ob die Texte helfen:] "Ja. Der ist richtig höflich."

P3: "Ist anspornend. Töne klingen manchmal etwas komisch." [Rückfrage des Interviewers, wie andere Töne klingen könnten:] "Noch nicht drüber nachgedacht."

P4: "Verhält sich so wie erwartet, sehr zufriedenstellend. Nichts zu bemängeln."

P5: "Ist schon angenehm, aber die Pausen sind ein Problem."

P6: "Angenehm. Tempo ist in Ordnung."

P7: ""Macht er ganz gut, das laute vorlesen."

P8: "Die Interaktion ist in Ordnung. Außer das Tempo. Und er macht Klugscheißer-sprüche."

P9: "Man wird beobachtet. [Die] Kamerabeobachtung auf dem Roboterkopf." [Hinweis: Der Roboter "folgt" mit dem Kopf erfasste Menschen.]

P10: "Gut."

A.5 Usability-Studie: "Lautes Denken" Äußerungen der Patienten

P11: "Sehr defensiv. Interaktion ist nur während der Therapieauswertung."
[Patient erwähnt in diesem Zusammenhang, dass er sich so sehr auf die Übung konzentriert, dass er den Roboter während der Übung nicht mitbekommt.]

4. Nach Ende der Übung:

1. Wie empfanden Sie es, mit dem E-BRAiN System diese Aufgabe zu machen?

P1: "Gut so."

P2: "Eindeutig."

P3: [Keine Aussage des Patienten]

P4: [Keine Aussage des Patienten]

P5: "Ok, aber ganz zum Anfang Problem. Eingabe.-Probleme."

P6: "Ich finde das super!"

P7: "Keine Meinung."

P8: "Finde ich gut."

P9: "Fand das ok so."

P10: "Ist nicht schlecht, feine Sache." [Rückfrage des Interviewers inwiefern es Unterschiede gab zur klassischen Therapie:] "Es gibt immer Unterschiede."

P11: "Angenehm. Das ist alles gut, Ich brauche etwas zu tun. Gut für's zuhause üben."

5. Am Ende:

1. Auf einer Skala von 1-5: Wie zufrieden sind Sie mit dem E-BRAiN System für die Therapie?

P1: "5."

P2: "5."

P3: "4,5."

P4: "Eine 5."

P5: "Eine 4,5."

P6: "Eine 5."

P7: "Eine 5."

P8: "Eine 5. Die anderen Therapien sind nicht so toll. [Hinweis: Patient erwähnt und vergleicht dazu einen Kurs für Aufmerksamkeitstraining und Automobil-Situationen]

P9: "Eine "3 Plus"."

P10: "Eine 4 oder 5."

P11: "Eine 5. Überrascht und sehr zufrieden."

2. Wie beschreiben Sie Ihre Erfahrungen mit dem System?

P1: "Gut."

P2: "Angenehme Erfahrung. Hätte nie gedacht, wieder die Hand zu bewegen."

P3: "Es ist interessant."

P4: "Der Gedanke, dass es hilft, [es] kommt Freude auf."

P5: "Angenehm."

P6: "Ich das das System super. [Rückfrage des Interviewers: Was halten Sie von der Technik in der Klinik?] "Ja, spannend."

P7: "Kann ich nach der Therapie sagen."

P8: "Sehr angenehm."

P9: "In der Mitte."

P10: "Ja klar, kann nicht schaden, würde empfehlen, so kommt die Aufmerksamkeit wieder."

P11: "Nutzbar, verständlich nachvollziehbar."

3. Wie fanden Sie die genutzte Sprache des Roboters?

P1: "Verständlich."

P2: "Das ist ja eine Computerstimme. Könnte menschlicher wirken. Das wäre ja auch nicht gruselig, sondern angenehmer." [Rückfrage des Interviewers, wie sich das angenehm für den Patienten definiere:] "Kommt gut rüber." [Rückfrage des Interviewers, ob die Texte natürlich rüberkommen:] "Ja."

P3: "Blechern." [Rückfrage, ob der Roboter z.B. höflich wirkt:] "Ja."

P4: " Sehr gut, Stimmlage , Sprache gut. Nicht aufdringlich. Sprache klingt natürlich. Sprachinhalt ist wohl sehr schwer. "

P5: "Angenehm, dauert zu lange. Die Pausen bewirken Irritierung."

P6: "Die Sprache passt."

P7: "Gut."

P8: "Sehr gut. Nur lieber kürzer, aber grundsätzlich sehr korrekt."

P9: "Vielleicht mit Dialekt arbeiten. Gut für mich."

P10: "Gut. Er hat noch keine schlechten Wörter gesagt."

P11: "Sprache ist gut gelungen."

4. Was sind Ihre Gedanken zum Design und Layout des Tablets und des Roboters?

A.5 Usability-Studie: "Lautes Denken" Äußerungen der Patienten

P1: "Kein Kontakt zu Smartphone und keine Erfahrung."

P2: "Der Roboter sieht gut [aus]." [Rückfrage, ob das Design auch in zukünftigen Therapien so genutzt werden könne:] "Ja."

P3: "Design und Layout [...]" [Rückfrage des Interviewers, ob diese stimmig sind:] "Ja".

P4: "Design ist stimmig."

P5: Standard."

P6: "Alles gut." [Rückfrage des Interviewers, ob es andere Farben einsetzen könnte?:] "Ich würde es grün [färben]."

P7: "Ganz gut."

P8: "In Ordnung."

P9: "Nicht der Reißer, aber ok."

P10: "Keine Ahnung."

P11: "Das Bild ist klar, der Kontrast ist gut. Es blendet nicht, es ist so wie sein soll."

5. Was gefällt Ihnen am meisten?

P1: "Sehr zufrieden mit E-BRAiN."

P2: "Der Erfolg."

P3: "Sie war gut verständlich und gut zu nutzen."

P4: "Seine großen Augen."

P5: "Alles, kann nicht klagen."

P6: "Alles soweit in Ordnung."

P7: "Was soll mir hier gefallen?"

P8: "Die Einfachheit, die Quadrate, Sterne zu finden."

P9: "Die Helfer." [Mit "Helfer" wird hier das Therapiepersonal gemeint.]

P10: "Die Interaktion."

P11: "Der spielerische Aspekt "Das Symbol zu suchen". Man könnte Memory als Spiel einbauen oder statt Bilder zu finden, Bilder zusammenzusetzen [ähnlich wie], Puzzle."

6. Was gefällt Ihnen am wenigsten?

P1: "[Das der Roboter] kein Bier holt."

P2: "Dass es anstrengend ist. Nach der Einheit erschöpft. Freue mich auf Pause." [Rückfrage des Interviewers, ob die Anstrengung bei einem menschlichem Therapeuten dieselbe sei:] "[Die] Anstrengung ist dieselbe."

P3: "[Es sollte] schneller gehen."

P4: "Nichts, alles gefällt. Aber [die] Stühle sind hart."

P5: "Nichts."

P6: "Da fällt mir nichts ein."

P7: "Nichts, das gefällt mir schon so."

P8: "Da gibt es nicht viel, außer ... [Patient führt keinen Punkt auf]."

P9: "Die vielen Fragen heute beim Interview. Absturz [des Roboters] war ok."

P10: "Das Gequatsche."

P11: "Das "Vermeintliche" zum Menschen machen. Es ist merkwürdig, es steigt nicht die intrinsische Motivation. Es muss nur bei der 1. Sitzung klar werde, dass das System einen Nutzen hat."

7. Gibt es etwas, Was Sie überrascht hat?

P1: "Von [der] Therapeutin. überrascht von [der] guten Zusammenarbeit mit dem Bildschirm."

P2: "Die Ergebnisse."

P3: "Keine Überraschung, war so wie vorgestellt. Durchaus interessant."

P4: "Dachte, dass eine KI weiter wäre. Intelligenter Emotionen usw zu erkennen."

P5: "Nichts."

P6: "Ist so gelaufen wie vorgestellt."

P7: "Dass hier tatsächlich so ein Roboter da ist."

P8: "Nichts, aber eigentlich hat die ganze Therapie überrascht, hat Angst vor Neuem genommen, ...dass es so gut geklappt hat."

P9: "Absturz [des Roboters] hat überrascht. Gute Zusammenarbeit."

P10: "Hab ich mir anders vorgestellt."

P11: "Eigentlich nichts. Gut anwendbar, aber menschliche Begleitung [ist notwendig]."

8. Gibt es etwas, was bei Ihnen Frustration ausgelöst hat?

P1: "Frustration? Keine."

P2: "Nein."

P3: "Nichts."

P4: "Gar nichts hat verärgert."

P5: "Eine andere Therapeutin und eine andere Therapie [zu erhalten]. Ko-

A.5 Usability-Studie: "Lautes Denken" Äußerungen der Patienten

misch behandelt worden."

P6: ""Nichts."

P7: "Nichts."

P8: "Überhaupts nichts."

P9: "Wenn es hier nach 2 Tagen nichts gebracht hätte, wäre ich nicht hier."

Es kann mir hier ja alles nur helfen." "Machen ja dasselbe wie die Ergotherapeuten."

P10: "Nichts."

P11: "Nein, nichts. Auch wenn ich schlechter geworden bin, dann war es aber auch nachvollziehbar."

A.6 Ergebnisse Akzeptanzfragebogen: Relative Häufigkeiten der Antworten

		Relative Häufigkeit der Antworten über alle Patienten				
Item	Aussage	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	Weiß nicht	stimme eher zu	e stimme komplett zu
Ängstlichkeit						
ANX1	Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst, mit diesem Fehler zu machen.	73%	9%	18%		
ANX2	Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst etwas zu beschädigen.	55%	27%		18%	
ANX3	Ich finde den Roboter gruselig.	73%	18%	9%		
ANX4	Ich finde den Roboter einschüchternd.	91%		9%		
Attitüde						
ATT1	Ich denke, es ist eine gute Idee, den Roboter zu nutzen.			9%	36%	55%
ATT2	Der Roboter würde das Leben interessanter machen.	9%			36%	55%
ATT3	Es ist gut, den Roboter zu nutzen.				27%	73%
Erleichternde Faktoren						
FC1	Ich habe alles, um den Roboter zu nutzen.		18%		36%	45%
FC2	Ich weiß genug über den Roboter, um ihn benutzen zu können.	9%	9%	18%	27%	36%
Nutzungsabsicht						
ITU1	Ich denke, ich werde den Roboter in den nächsten Tagen verwenden.		9%		27%	64%
ITU2	Ich werde den Roboter sicher in den nächsten Tagen verwenden.				27%	73%
ITU3	Ich plane, den Roboter in den nächsten Tagen zu verwenden.		9%		18%	73%
Wahrgenommene Adaptivität						
PAD1	Ich denke, der Roboter kann sich an da anpassen, was ich brauche.	9%		36%	18%	36%
PAD2	Ich denke, der Roboter wird nur das tun, was ich für diesen bestimmten Moment brauche.			18%	18%	64%
PAD3	Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	18%	9%		45%	27%
Wahrgenommene Freude						
PENJ1	Ich genieße es, wenn der Roboter zu mir spricht.	9%		27%	18%	45%
PENJ2	Ich mache gerne Dinge mit dem Roboter.			27%	18%	45%
PENJ3	Ich finde den Roboter angenehm.			9%	55%	36%

A.6 Ergebnisse Akzeptanzfragebogen: Relative Häufigkeiten der Antworten

PENJ4	ich finde den Roboter faszinierend.	18%		27%	27%	45%
PENJ5	Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	45%	36%	9%		9%
Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit						
PEOU1	Ich denke, ich werde schnell wissen, wie man den Roboter benutzt.		18%	27%	36%	18%
PEOU2	Ich finde, der Roboter ist einfach zu benutzen.		18%	36%	27%	18%
PEOU3	Ich denke, ich kann den Roboter ohne Hilfe benutzen.	55%	18%	9%	9%	9%
PEOU4	Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn jemand da ist, um mir zu helfen.			9%	27%	64%
PEOU5	Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn ich eine gute Gebrauchsanweisung habe.	9%	9%	9%	36%	36%
Wahrgenommene Geselligkeit						
PS1	Ich halte den Roboter für einen angenehmen Gesprächspartner.	9%	9%		36%	45%
PS2	Ich finde es angenehm, mit dem Roboter zu interagieren.			18%	45%	36%
PS3	Ich habe das Gefühl, der Roboter versteht mich.	18%	9%	9%	36%	27%
PS4	Ich denke, der Roboter ist nett.	9%		27%	27%	36%
Wahrgenommene Nützlichkeit						
PU1	Ich denke, der Roboter ist nützlich für mich.		9%		9%	82%
PU2	Es wäre praktisch für mich, den Roboter zu haben.	27%	9%	18%	18%	27%
PU3	Ich denke, der Roboter kann mir bei vielen Dingen helfen.	9%	9%	9%	27%	45%
Sozialer Einfluss						
SI1	Ich glaube, das Personal möchte, dass ich den Roboter benutze.			18%	27%	55%
SI2	Ich denke, es würde einen guten Eindruck machen, wenn ich den Roboter verwende.	9%	9%	27%	18%	36%
Soziale Präsenz						
SP1	Als ich mit dem Roboter interagierte, fühlte ich mich so, als ob ich mit einer realen Person sprechen würde.	9%	9%	9%	9%	55%
SP2	Manchmal fühlte es sich so an, als ob der Roboter mich wirklich ansieht.	9%	9%	9%	9%	55%
SP3	Ich kann mir vorstellen, dass der Roboter ein Lebewesen ist.	45%	9%	9%	9%	27%
SP4	Ich denke oft, dass der Roboter keine echte Person ist.		9%	18%	27%	45%
SP5	Manchmal scheint der Roboter echte Gefühle zu haben.	27%	27%	18%	18%	9%

Vertrauen					
Trust1	Ich würde dem Roboter vertrauen, wenn er mir Ratschläge geben würde.	9%	9%	45%	36%
Trust2	Ich würde dem Rat folgen, den der Roboter mir gibt.	18%		36%	45%

Tabelle A.12: Deskriptive Statistik pro Konstrukt

A.7 Ergebnisse Akzeptanzfragebogen: Deskriptive Statistiken zwischen den Therapien

Item	Aussage	ABT		NVT		ST	
		$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
Ängstlichkeit							
ANX1	Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst, mit diesem Fehler zu machen.	1,75	0,96	1,33	0,82	1,00	-
ANX2	Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst etwas zu beschädigen.	1,75	0,50	2,00	1,55	1,00	-
ANX3	Ich finde den Roboter gruselig.	1,25	0,50	1,50	0,84	1,00	-
ANX4	Ich finde den Roboter einschüchternd.	1,00	0,00	1,33	0,82	1,00	-
Attitüde							
ATT1	Ich denke, es ist eine gute Idee, den Roboter zu nutzen.	4,75	0,50	4,50	0,55	3,00	-
ATT2	Der Roboter würde das Leben interessanter machen.	4,75	0,50	3,83	1,47	4,00	-
ATT3	Es ist gut, den Roboter zu nutzen.	4,75	0,50	4,67	0,52	5,00	-
Erleichternde Faktoren							
FC1	Ich habe alles, um den Roboter zu nutzen.	3,00	1,15	4,67	0,52	5,00	-
FC2	Ich weiß genug über den Roboter, um ihn benutzen zu können.	2,50	1,29	4,33	0,82	5,00	-
Nutzungsabsicht							
ITU1	Ich denke, ich werde den Roboter in den nächsten Tagen verwenden.	4,50	0,58	4,33	1,21	5,00	-
ITU2	Ich werde den Roboter sicher in den nächsten Tagen verwenden.	4,50	0,58	4,83	0,41	5,00	-
ITU3	Ich plane, den Roboter in den nächsten Tagen zu verwenden.	4,00	1,41	4,83	0,41	5,00	-
Wahrgenommene Adaptivität							
PAD1	Ich denke, der Roboter kann sich an das anpassen, was ich brauche.	4,00	0,82	3,67	1,63	3,00	-
PAD2	Ich denke, der Roboter wird nur das tun, was ich für diesen bestimmten Moment brauche.	4,00	1,15	4,67	0,52	5,00	-
PAD3	Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	3,75	1,26	3,83	1,47	1,00	-

A.7 Ergebnisse Akzeptanzfragebogen: Deskriptive Statistiken zwischen den Therapien

Wahrgenommene Freude							
PENJ1	Ich genieße es, wenn der Roboter zu mir spricht.	4,25	0,96	3,83	1,60	3,00	-
PENJ2	Ich mache gerne Dinge mit dem Roboter.	3,75	0,96	4,67	0,52	3,00	-
PENJ3	Ich finde den Roboter angenehm.	4,50	0,58	4,00	0,63	05,00	-
PENJ4	Ich finde den Roboter faszinierend.	4,00	1,15	3,33	1,97	5,00	-
PENJ5	Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	1,50	0,58	2,33	1,51	1,00	-
Wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit							
PEOU1	Ich denke, ich werde schnell wissen, wie man den Roboter benutzt.	3,25	0,96	3,83	1,17	3,00	-
PEOU2	Ich finde, der Roboter ist einfach zu benutzen.	3,25	0,96	3,67	1,21	3,00	-
PEOU3	Ich denke, ich kann den Roboter ohne Hilfe benutzen.	1,75	0,96	2,33	1,75	1,00	-
PEOU4	Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn jemand da ist, um mir zu helfen.	4,25	0,96	4,83	0,41	4,00	-
PEOU5	Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn ich eine gute Gebrauchsanweisung habe.	3,00	1,83	4,50	0,55	3,00	-
Wahrgenommene Geselligkeit							
PS1	Ich halte den Roboter für einen angenehmen Gesprächspartner.	4,75	0,50	3,50	1,64	4,00	-
PS2	Ich finde es angenehm, mit dem Roboter zu interagieren.	4,25	0,96	4,17	0,75	4,00	-
PS3	Ich habe das Gefühl, der Roboter versteht mich.	4,00	0,82	3,33	1,86	2,00	-
PS4	Ich denke, der Roboter ist nett.	3,75	0,96	4,00	1,55	3,00	-
Wahrgenommene Nützlichkeit							
PU1	Ich denke, der Roboter ist nützlich für mich.	4,00	1,41	5,00	-	5,00	-
PU2	Es wäre praktisch für mich, den Roboter zu haben.	3,00	0,82	3,50	1,97	5,00	-
PU3	Ich denke, der Roboter kann mir bei vielen Dingen helfen.	4,00	0,82	4,33	1,21	1,00	-
Sozialer Einfluss							
SI1	Ich glaube, das Personal möchte, dass ich den Roboter benutze.	4,25	0,96	4,33	0,82	5,00	-
SI2	Ich denke, es würde einen guten Eindruck machen, wenn ich den Roboter verwende.	3,00	0,82	4,17	1,60	3,00	-
Soziale Präsenz							
SP1	Der Roboter gibt mir das Gefühl, dass jemand anwesend ist.	4,25	0,96	4,33	1,21	1,00	-
SP2	Ich denke, der Roboter gibt mir das Gefühl, dass jemand da ist.	4,50	1,00	4,17	1,17	1,00	-
SP3	Ich denke, der Roboter gibt mir das Gefühl, dass jemand da ist.	2,75	1,71	4,17	1,17	1,00	-
SP4	Ich denke oft, dass der Roboter keine echte Person ist.	3,25	1,26	4,50	0,55	5,00	-
SP5	Manchmal scheint der Roboter echte Gefühle zu haben.	2,25	1,1,25	3,00	1,41	1,00	-
Vertrauen							
Trust1	Ich würde dem Roboter vertrauen, wenn er mir Ratschläge geben würde.	4,00	0,82	4,50	0,55	2,00	-
Trust2	Ich würde dem Rat folgen, den der Roboter mir gibt.	3,50	1,73	4,50	0,55	4,00	-

Tabelle A.13: Deskriptive Statistik nach Therapie

A.8 Leistungswerte einzelner Neglect-Training Patienten

Hier werden die Leistungswerte ausgewählter Patienten präsentiert, um die individuellen Leistungsunterschiede und Bedarf der Hilfestellungen zu verdeutlichen. Die Nummerierung Patient 1 und 2 wurde zur besseren Übersicht ausgewählt. Die Nummerierung hat keinen Bezug für diejenige zu den offenen Fragen und Usability-Interviews in Anhangsabschnitt A.4.

A.8.1 Patient 1

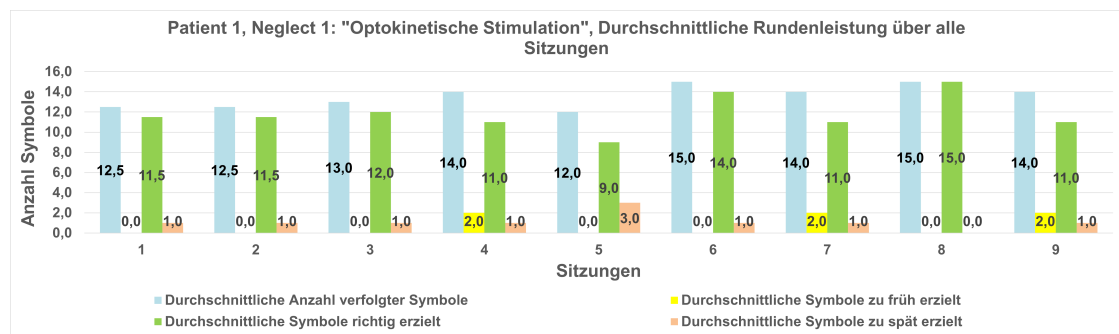
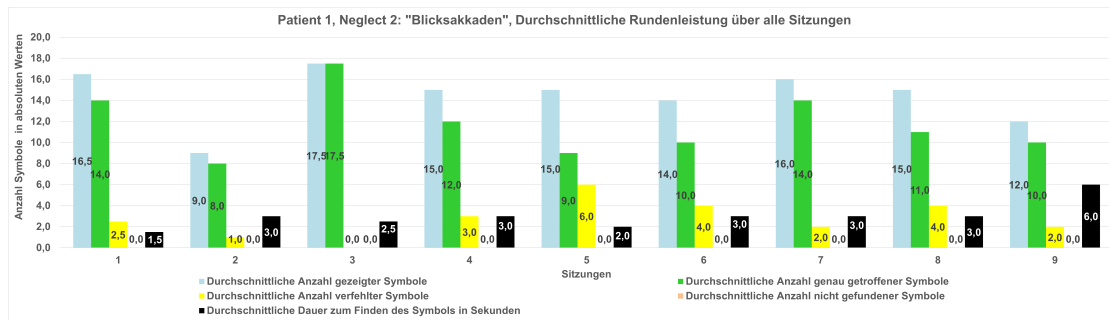
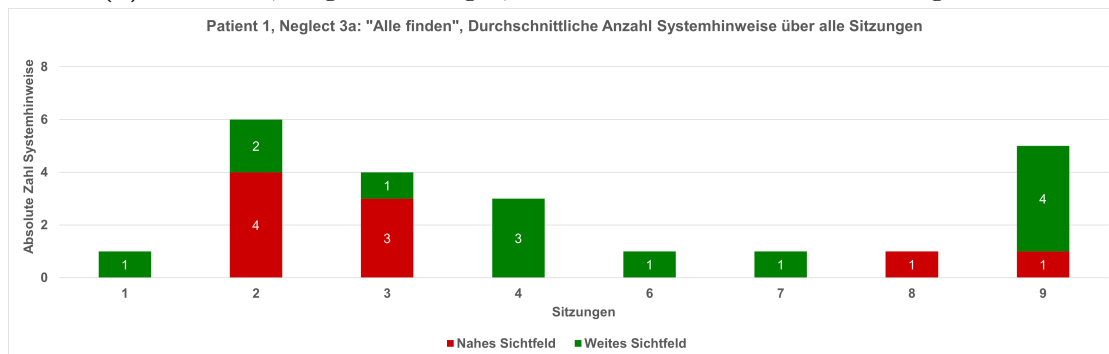


Abbildung A.1: Patient 1, Neglect Übung 1

A.8 Leistungswerte einzelner Neglect-Training Patienten

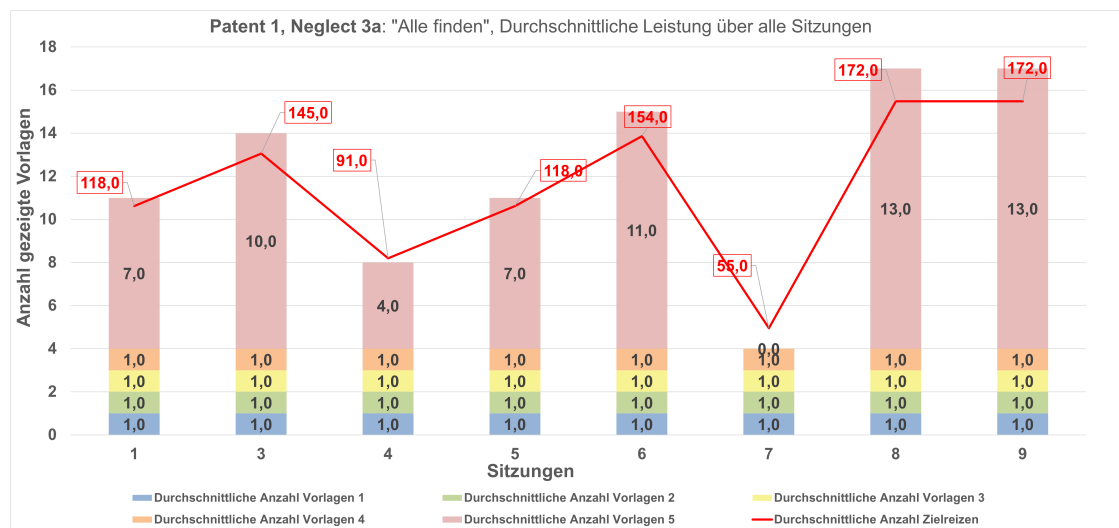


(a) Patient 1, Neglect Übung 2, Durchschnittliche Runden-Übungswerte

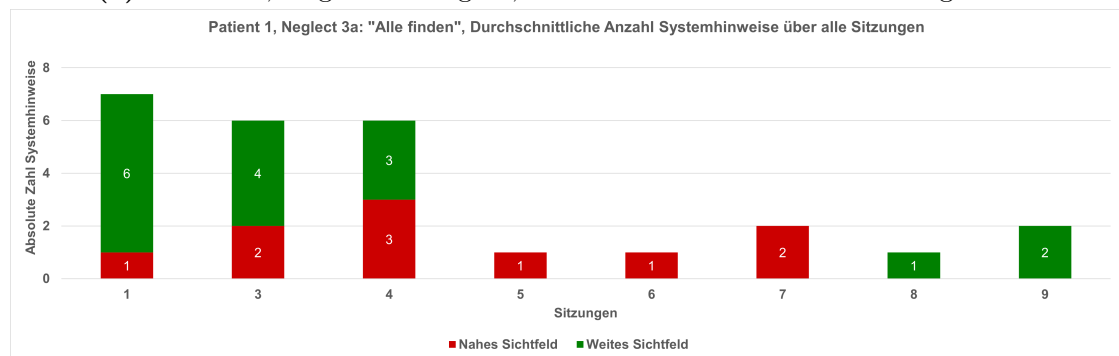


(b) Patient 1, Neglect Übung 2, Gesamtzahl Hilfestellungen über alle Sitzungen. Konfiguration: 2 Übungsrunden in den Sitzungen 1-3, 1 Übungsrunde in den Sitzungen 4-9

Abbildung A.2: Patient 1, Neglect Übung 2, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen



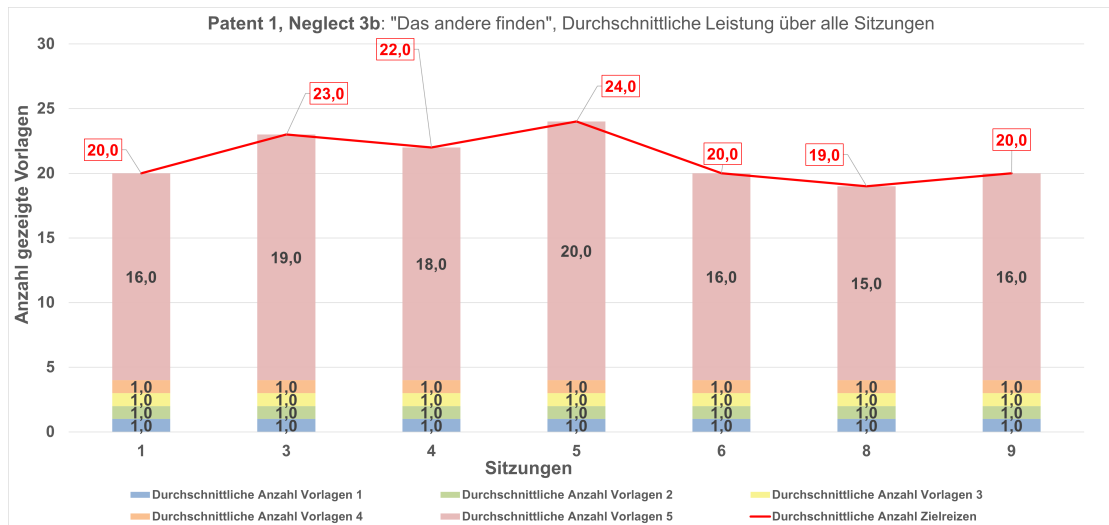
(a) Patient 1, Neglect Übung 3a, Durchschnittliche Runden-Übungswerte



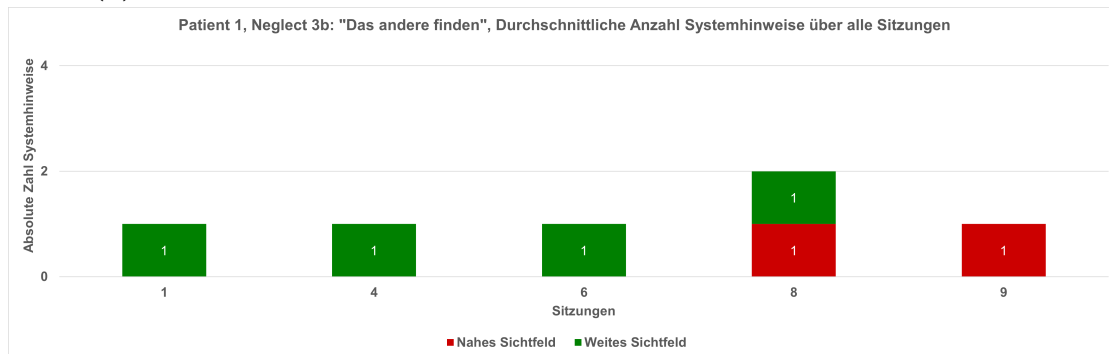
(b) Patient 1, Neglect Übung 3a, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Abbildung A.3: Patient 1, Neglect-Training Übung 3a: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

A.8 Leistungswerte einzelner Neglect-Training Patienten

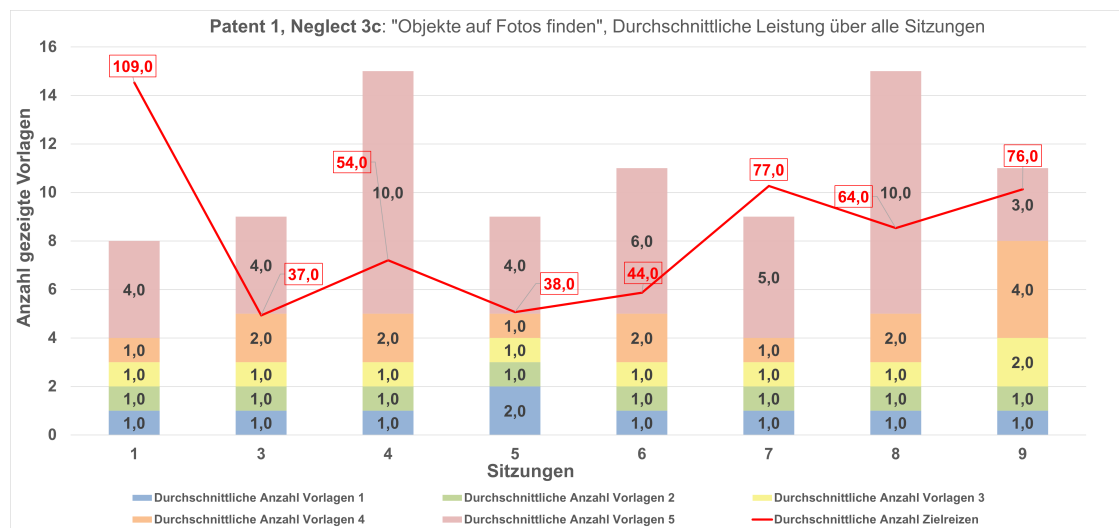


(a) Patient 1, Neglect Übung 3b, Durchschnittliche Runden-Übungswerte

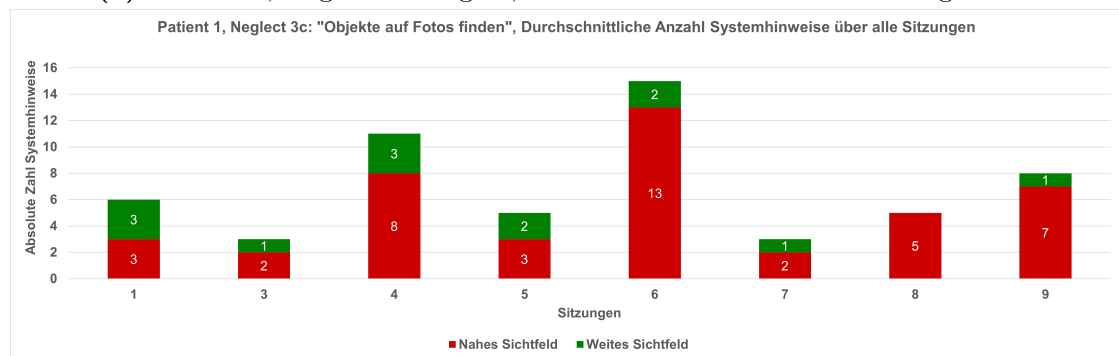


(b) Patient 1, Neglect Übung 3b, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Abbildung A.4: Patient 1, Neglect-Training Übung 3b: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen



(a) Patient 1, Neglect Übung 3c, Durchschnittliche Runden-Übungswerte



(b) Durchschnittliche Hilfestellungen

Abbildung A.5: Patient 1, Neglect Übung 3c, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

A.8 Leistungswerte einzelner Neglect-Training Patienten

A.8.2 Patient 2

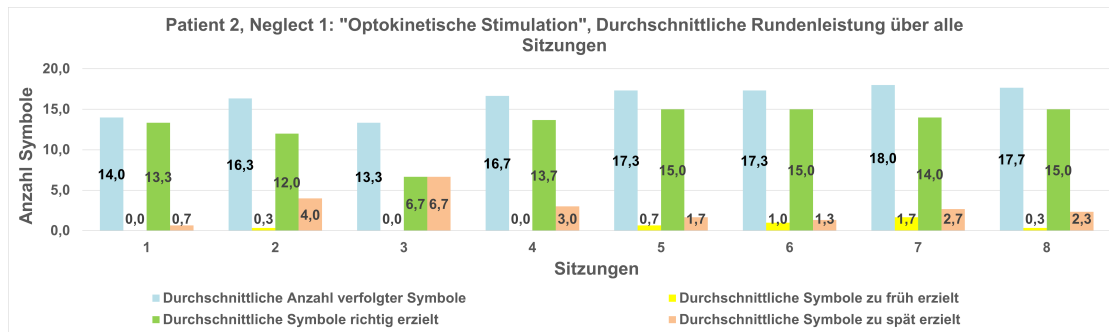
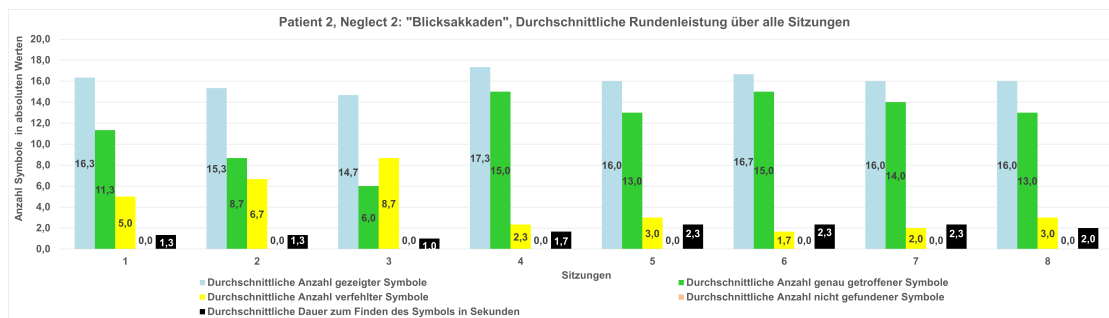
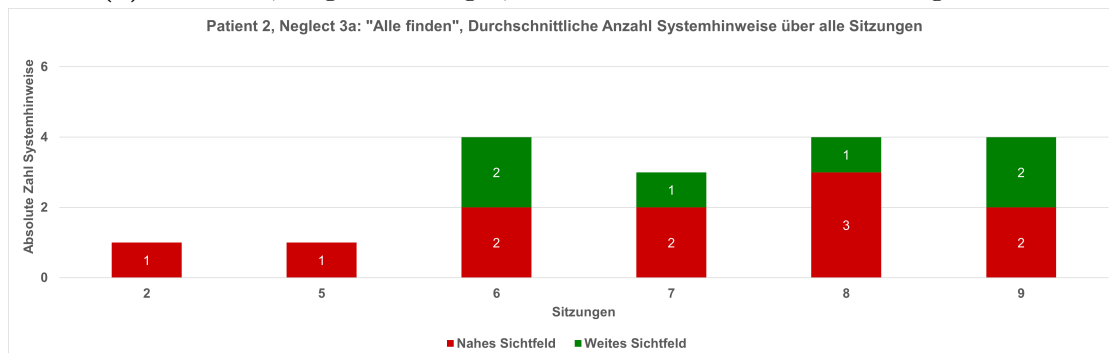


Abbildung A.6: Patient 2, Neglect Übung 1

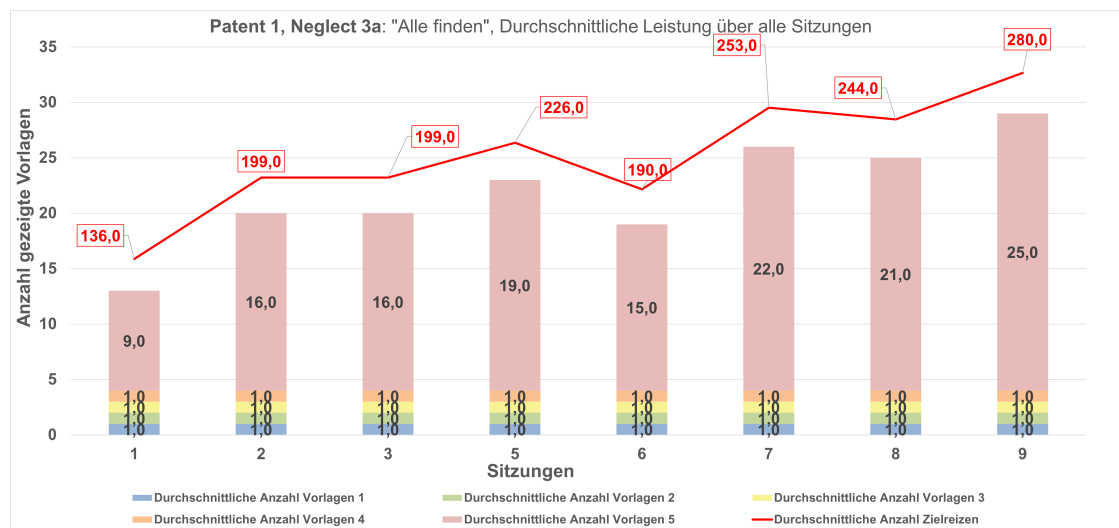


(a) Patient 2, Neglect Übung 2, Durchschnittliche Runden-Übungswerte

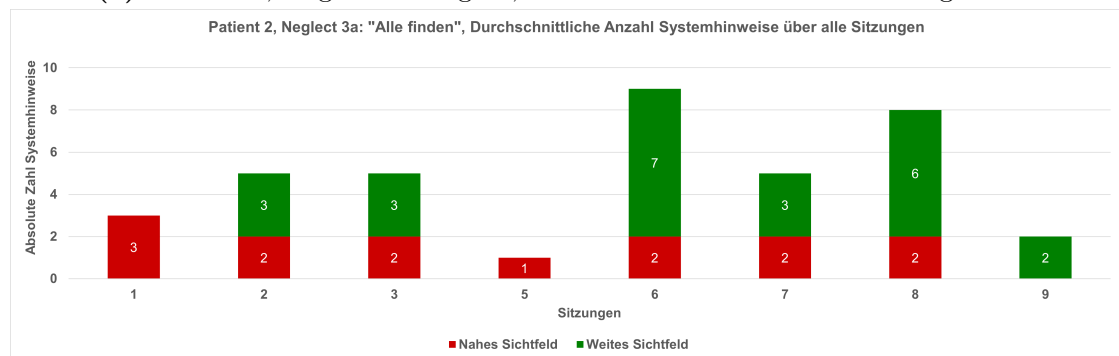


(b) Patient 2, Neglect Übung 2, Gesamtzahl Hilfestellungen über alle Sitzungen. Konfiguration: 3 Übungsrunden für alle Sitzungen

Abbildung A.7: Patient 2, Neglect Übung 2, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen



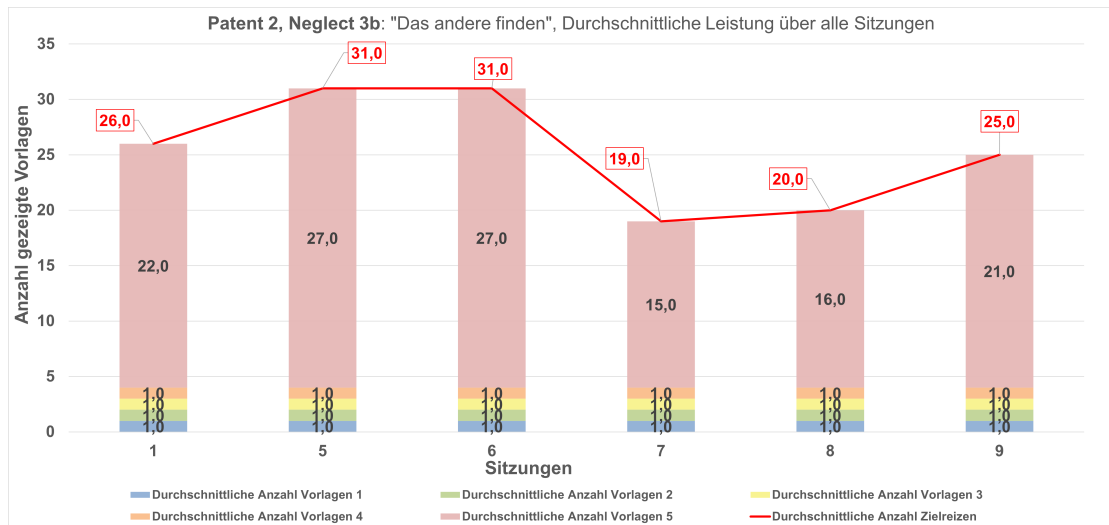
(a) Patient 2, Neglect Übung 3a, Durchschnittliche Runden-Übungswerte



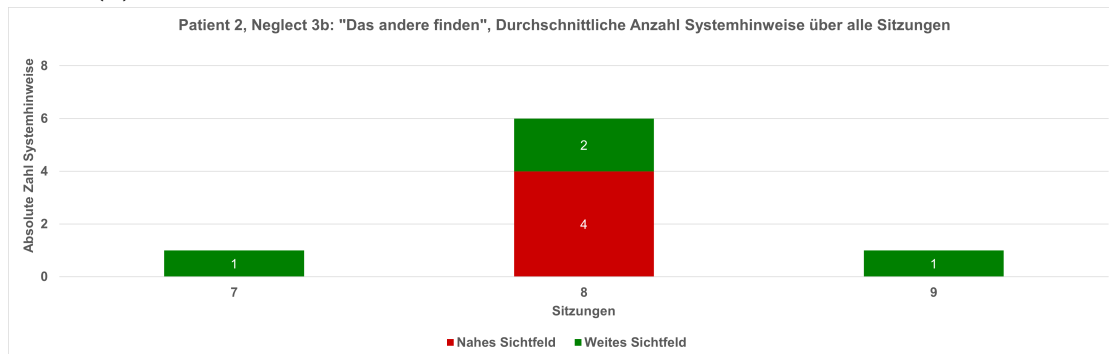
(b) Patient 2, Neglect Übung 3a, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Abbildung A.8: Patient 2, Neglect-Training Übung 3a: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

A.8 Leistungswerte einzelner Neglect-Training Patienten

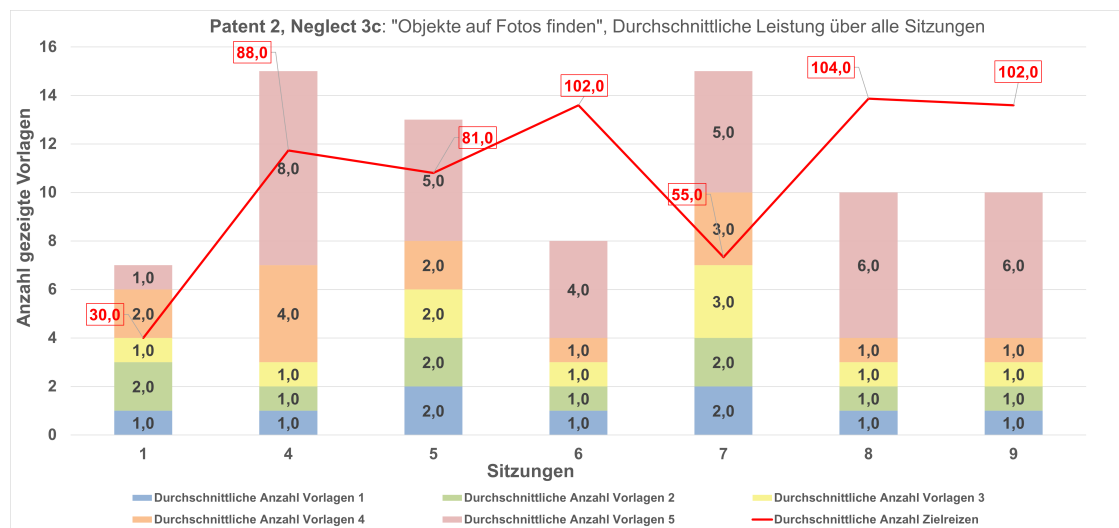


(a) Patient 2, Neglect Übung 3b, Durchschnittliche Runden-Übungswerte

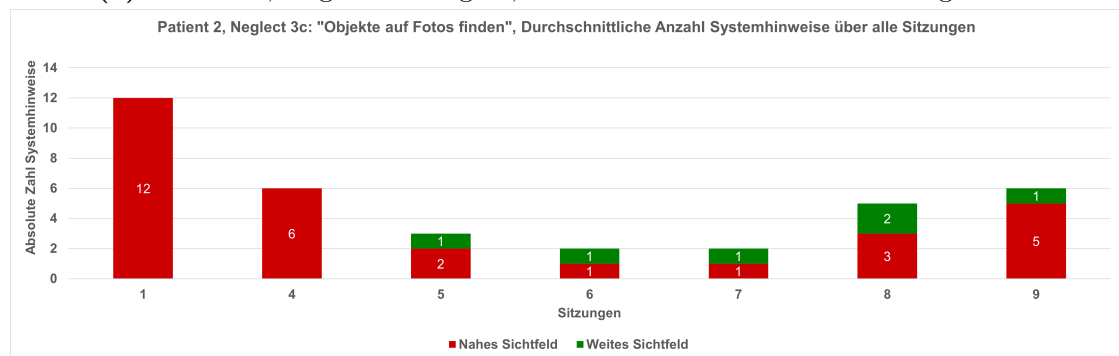


(b) Patient 2, Neglect Übung 3b, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

Abbildung A.9: Patient 2, Neglect-Training Übung 3b: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen



(a) Patient 2, Neglect Übung 3c, Durchschnittliche Runden-Übungswerte



(b) Durchschnittliche Hilfestellungen

Abbildung A.10: Patient 2, Neglect Übung 3c, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen

A.9 E-BRAiN technischer Fragebogen



Fragebogen zur Einschätzung des Therapiesystems durch Nutzer

Sehr geehrte E-BRAiN Studienteilnehmerin, sehr geehrter Studienteilnehmer,

vielen Dank, dass Sie sich die Zeit nehmen, diesen Fragebogen auszufüllen. Die Ergebnisse dieses Fragebogens werden dabei helfen, den Roboter und die E-BRAiN-Therapie weiter zu verbessern.

Das E-BRAiN System wurde entwickelt, um Therapien für Schlaganfall-Betroffene mit einem humanoiden Roboter als Therapieassistenten zu unterstützen. Wir sind weltweit die erste Langzeitstudie mit Robotern für diese Art von Therapien. Auch wenn wir uns die größtmögliche Mühe gegeben haben, damit Sie eine erfolgreiche Therapie haben, gibt es immer Punkte, die wir besser machen können.

Ihr Feedback werden wir nutzen, um die nächste Version des Systems zu verbessern und die Therapiesitzung für Patienten angenehmer zu gestalten. Diese Verbesserungen werden auch dabei helfen, die Patienten dazu zu motivieren, die Therapie weiterzuverfolgen - jede absolvierte Therapiestunde hilft auf dem Weg der Rehabilitation.

Ihr Feedback ist uns also sehr wichtig!

1. Datum, Personenidentifikation und durchgeführte Therapie

Datum:

Personenidentifikation (Studiennummer):

Durchgeführte Therapie:

Hinweis: In den Fragen werden Aussagen über „den Roboter“ und „das System“ gemacht. Hiermit meinen wir das **gesamte E-BRAiN Therapiesystem**, den **Roboter**, das **Tablet** und die **anderen Komponenten**, mit denen Sie die Therapiesitzungen absolviert haben.

2. Fragen zum Roboter (nach Heerink et al., 2010; deutsche Übersetzung A. Bunea & T. Platz)

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Ich weiß nicht	Stimme zu	Stimme komplett zu
Wenn ich den Roboter benutzen sollte, hätte ich Angst, mit diesem Fehler zu machen.	☐	☐	☐	☐	☐
Wenn ich den Roboter benutze sollte, hätte ich Angst, etwas zu beschädigen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde den Roboter gruselig.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde den Roboter einschüchternd.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, es ist eine gute Idee, den Roboter zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐
Der Roboter würde das Leben interessanter machen.	☐	☐	☐	☐	☐
Es ist gut, den Roboter zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe alles, um den Roboter zu nutzen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich weiß genug über den Roboter, um ihn benutzen zu können.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, ich werde den Roboter in den nächsten Tagen verwenden.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich werde den Roboter sicher in den nächsten Tagen verwenden.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich plane, den Roboter in den nächsten Tagen zu verwenden.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, der Roboter kann sich an das anpassen, was ich brauche.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, der Roboter wird nur das tun, was ich für diesen bestimmten Moment brauche.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, der Roboter wird mir helfen, wenn ich es für notwendig halte.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich genieße es, wenn der Roboter zu mir spricht.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich mache gerne Dinge mit dem Roboter.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde den Roboter angenehm.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde den Roboter faszinierend.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde den Roboter langweilig.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, ich werde schnell wissen, wie man den Roboter benutzt.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde der Roboter ist einfach zu benutzen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, ich kann den Roboter ohne Hilfe benutzen.	☐	☐	☐	☐	☐

3. Fragen zum Roboter (Fortsetzung) (nach Heerink et al., 2010; deutsche Übersetzung A. Bunea & T. Platz)

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Ich weiß nicht	Stimme zu	Stimme komplett zu
Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn jemand da ist, um mir zu helfen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, ich kann den Roboter benutzen, wenn ich eine gute Gebrauchsanweisung habe.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich halte den Roboter für einen angenehmen Gesprächspartner.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich finde es angenehm, mit dem Roboter zu interagieren.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe das Gefühl, der Roboter versteht mich.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, der Roboter ist nett.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, der Roboter ist nützlich für mich.	☐	☐	☐	☐	☐
Es wäre praktisch für mich, den Roboter zu haben.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, der Roboter kann mir bei vielen Dingen helfen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich glaube, das Personal möchte, dass ich den Roboter benutze.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, es würde einen guten Eindruck machen, wenn ich den Roboter verwende.	☐	☐	☐	☐	☐
Als ich mit dem Roboter interagierte, fühlte ich mich so, als ob ich mit einer realen Person sprechen würde.	☐	☐	☐	☐	☐
Manchmal fühlte es sich an, als ob der Roboter mich wirklich ansieht.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich kann mir vorstellen, dass der Roboter ein Lebewesen ist.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke oft, dass der Roboter keine echte Person ist.	☐	☐	☐	☐	☐
Manchmal scheint der Roboter echte Gefühle zu haben.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich würde dem Roboter vertrauen, wenn er mir Ratschläge geben würde.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich würde dem Rat folgen, den der Roboter mir gibt.	☐	☐	☐	☐	☐

4. Allgemeines zum System

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Ich weiß nicht	Stimme zu	Stimme komplett zu
Ich denke, es ist eine gute Idee, einen Roboter in der Schlaganfalltherapie einzusetzen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich denke, es macht Sinn, diese Therapie mit dem Roboter als Ergänzung zu meiner Therapie einzusetzen.	☐	☐	☐	☐	☐
Eine Therapiesitzung mit dem Roboter macht Spaß.	☐	☐	☐	☐	☐

5. Offene Fragen

Was hat Ihnen bei diesem System (und Ihrer Therapie) am besten gefallen?

Was hat Ihnen an diesem System (und Ihrer Therapie) am wenigsten gefallen?

Wenn Sie eine Sache an diesem System ändern oder hinzufügen könnten, was wäre das?

Bitte denken Sie nun über Ihre Erfahrung mit dem E-BRAiN System insgesamt nach:
Wie fanden Sie die Therapie mit dem Roboter?
Was denken Sie über den Roboter als Therapeuten?

6. Persönliches Feedback (Freitext)

Gibt es etwas, was Sie uns noch über das System sagen wollten?

Vielen Dank für Ihre Beantwortung unserer Fragen!

A.10 Usability-Testguide

Testguide Usability-Interview

1. Ziel und Umfang

Ziel der Usability ist die allgemeine Feststellung der Meinung der Patienten und eine Messung, wie zufrieden die Patienten mit der Durchführung des Systems sind. Da die Zeit der Patienten und des Interviews begrenzt ist, beschränkt sich die Studie des E-BRAiN Systems bis zum Ende der 1. Übung.

2. Szenarien, Aufgaben und Kriterien für den Erfolg

Die gemeinsame Wiedergabe und Betrachtung läuft so ab, dass der Roboter gestartet wird und bis zum Ende der 1. Übung mit einem Beispielpatienten abläuft. Zwischendurch wird das System pausiert, so dass für den Patient Zeit bleibt, auf Fragen zu antworten.

Als Aufgabe hat der Patient dem Robotersystem zu folgen und lediglich seine Meinung und Eindrücke über das System mitzuteilen.

Als Erfolg wird das System betrachtet, wenn die am Ende gefragte allgemeine Zufriedenheit des Systems zumindest mit 3 von 5 bewertet wird und ein qualitativ positiver Eindruck des Systems vom Patienten empfunden wird.

3. Test Guide

3.1 Einleitungstext und persönliche Fragen

- Sehr geehrte/r Frau/Herr X, in den nächsten Minuten führen wir Nutzbarkeitsstudie durch. Das Ziel von diesem Experiment ist die Untersuchung wie gut das System benutzt werden kann. Sie selbst werden dabei nicht getestet. Es geht genau darum, wie Sie als tatsächlicher Nutzer dieses Systems mit dem Roboter arbeiten. Dieses Feedback benötigen wir, damit wir den Roboter an die Bedürfnisse der Patienten anpassen können. Damit wir solch ein Feedback sammeln können, wäre es gut, wenn Sie von sich aus „laut denken“. Wir werden den Roboter starten und Sie teilen mir ihre Gedanken, was Sie dabei denken. Gutes wie Schlechtes. Manchmal werde ich Ihnen Fragen stellen, wie Sie ganz bestimmte Sachen wahrgenommen haben. In jedem Fall danken wir Ihnen für ihre Unterstützung!

3.2 Zeitplan

- **Einleitung (Einleitungstext + persönliche Fragen)**

- **1. Starten des Roboters von Anfang bis zum Ende der 1. Aufgabe**

1. Was denken Sie, wenn Sie das fertige System vor sich haben?
2. Wie wirkt der Einführungstext des Roboters auf Sie?
3. Wenn der Roboter Ihnen Fragen stellt, wie können Sie diese auf dem Tablet beantworten?
4. Wie finden Sie die Fragen zur Motivation?

- **2. Zum Start der Erklärung der Übung:**

1. Was denken Sie über die einzelnen Erklärungsschritte der Übung?
2. Wie finden Sie die Präsentation der Übungserklärung ?
3. Schauen Sie eher auf den Roboter oder Tablet?

- **3. Während der Übung:**

1. Wie verhält sich das System während der Übungsausführung?

- **4. Nach Ende der Übung:**

1. Wie empfanden Sie es, mit dem E-BRAiN System diese Aufgabe durchzuführen?

- **5. Am Ende:**

1. Auf einer Skala von 1-5: Wie zufrieden sind Sie mit dem E-BRAiN System für die Therapie?
2. Wie beschreiben Sie ihre Erfahrungen mit dem System?
3. Wie fanden Sie die genutzte Sprache des Roboters ?
4. Was sind ihre Gedanken zum Design und Layout des Tablets und des Roboters?
5. Was gefällt ihnen am meisten?
6. Was gefällt ihnen am wenigsten?
7. Gibt es etwas, was Sie überrascht hat?
8. Gibt es etwas, was bei Ihnen Frustration ausgelöst hat?

A.11 Studienprotokoll für die Ethikkommission: Study protocol for an observational pilot study

Study protocol for an observational pilot study

„Preliminary assessment of acceptance and usability of the therapeutic system E-BRAiN (Evidence-based Robot Assistance in Neurorehabilitation) as experienced by stroke survivors currently receiving therapy with the system“

Associated project with the clinical trial

E-BRAiN - EVIDENZ-BASIERTE ROBOT-ASSISTENZ IN DER NEUROREHABILITATION

at the UMG (Protocol-Code: 202101E-BRAiN; EUDAMED-Nummer: CIV-21-01-035629; LKP Thomas Platz)

Responsibilities

Principal investigator:

Prof. Dr. Thomas Platz
Universitätsmedizin Greifswald
AG Neurorehabilitation
Fleischmannstraße 44
17475 Greifswald
Telefon: +49 3834 871-490
Fax: +49 3834-871-302
Email: thomas.platz@uni-greifswald.de

und Studienzentrumsleiter für das beteiligte Studienzentrum BDH-Klinik

Prof. Dr. med. Thomas Platz
Ärztlicher Direktor Forschung
BDH-Klinik Greifswald
Institut für Neurorehabilitation und Evidenzbasierung,
An-Institut der Universität Greifswald
Karl-Liebknecht-Ring 26a
D-17491 Greifswald
Email t.platz@bdh-klinik-greifswald.de
Telefon: 03834 871-490 (Skr. -201)

Researcher in collaboration:

Alexandru-Nicolae Bunde, M.Sc.
Universität Rostock
Institut für Informatik
Albert-Einstein-Straße 22, Zimmer 272
18059 Rostock
Telefon: +49 381-498 7625
Fax: +49 381-498 7622
Email: alexandru-nicolae.bunde@uni-rostock.de

Content

Study protocol for an observational pilot study „Preliminary assessment of acceptance and usability of the therapeutic system E-BRAiN (Evidence-based Robot Assistance in Neurorehabilitation) as experienced by stroke survivors currently receiving therapy with the system“	1
Associated project with the clinical trial	1
Responsibilities.....	1
Zusammenfassung auf Deutsch.....	3
Abstract.....	3
Background.....	4
The E-BRAiN system and characteristics	4
Medical specifications.....	4
Technology set-up	4
Assessment of technology acceptance, users' intention to use a therapeutic robot system, and its constituents.....	5
Usability tests with interviews and system-specific user feedback	6
Methods.....	6
Study type.....	6
Participants.....	6
Outcome measures	7
Study procedures	9
Legal aspects, reimbursement, safety, and insurance aspects	9
Statistical analyses	9
Part I	10
Part II	10
Data management	10
Relevance.....	11
Unterschrift und Erklärung.....	11
References	12
Supporting material	12

Zusammenfassung auf Deutsch

Rationale: Da das Therapiesystem E-BRAiN erst seit kurzem bei Schlaganfall-Betroffenen eingesetzt wird und da ähnliche Technologie bislang nicht verfügbar war, ist es aus klinischer und informationstechnologischer Sicht wichtig, früh zumindest erste systematische, wenn auch noch vorläufige Erkenntnisse über patientenseitige Erfahrungen und Bewertungen zu erlangen.

Zielsetzung: Erstes (vorläufiges) Assessment der Akzeptanz und der Nutzbarkeit des Therapiesystems E-BRAiN (Evidenz-basierte Robot Assistance in der Neurorehabilitation) wie von Schlaganfall-Betroffenen bewertet, die Therapie mit dem System erhalten, mittels eines Erhebungsinstrumentes für patienten-seitige Erfahrungen („Patient Reported Experience Measure, PREM“).

Methoden: Das Assessment basiert auf einem Fragebogen („Fragebogen zur Einschätzung des Therapiesystems durch Nutzer“), der (I) die Nutzungsabsicht und ihre konstituierenden Aspekte wie wahrgenommene Möglichkeit der Adaptierung (an individuelle Belange), Freude bei der Nutzung, Leichtigkeit der Nutzung, Nützlichkeit des Systems und Vertrauen in das System erhebt sowie ferner (II) mit weiteren offenen und geschlossenen Fragen die Nutzererfahrungen erfragt. Zu diesem Zweck werden 10 Schlaganfall-Betroffenen, die Therapie mit dem System E-BRAiN erhalten, eingeschlossen, ihre Erfahrungen und Bewertungen mittels des PREM erfasst und mit deskriptiver Statistik analysiert bzw. qualitativ bewertet.

Schlussfolgerung: Die zu erhebenden Daten werden eine erste Orientierung geben können, wie das System von den Nutzern erlebt und wahrgenommen wird, und, wie solche Aspekte die Intention das System weiter zu nutzen beeinflussen. Ferner werden die Studienergebnisse aufzeigen, wo weitere Anpassungen des Systems zur Verbesserung von Akzeptanz und subjektiver Nützlichkeit des Systems im Rahmen der weiteren Entwicklung angezeigt sind. Der Vorteil der schnellen Informationsgewinnung (niedrige Fallzahl) überwiegt den Nachteil der limitierten Repräsentativität der Daten im gegebenen Forschungskontext.

Abstract

Rationale: Since the newly developed therapeutic system E-BRAiN has been started to be used in clinical practice only recently and since similar systems are not yet available for neurorehabilitation it is important from both the clinical and the information technology point of view to gain early preliminary insights in user experience and evaluation based on their recent experience made with the system.

Objective: First preliminary assessment of acceptance and usability of the therapeutic system E-BRAiN (Evidence-based Robot Assistance in Neurorehabilitation) by stroke survivors currently receiving therapy with the system using a Patient Reported Experience Measure, PREM.

Methods: The assessment is based on a questionnaire („Fragebogen zur Einschätzung des Therapiesystems durch Nutzer“) addressing (I) intention to use and its constituents, e.g. perceived adaptiveness, enjoyment, ease of use, usefulness, and trust, and (II) addressing user experience in terms of usability with further closed and open questions. For this purpose, a group of 10 stroke survivors being treated with the system will be enrolled, descriptive statistics for the constructs assessed determined and qualitative data collated and summarized using a narrative approach.

Conclusions: The data generated will provide a first orientation how the system is perceived by users and how such perceived qualities translate into an intention to use such a system further. Equally, the results of the observation will point to areas of concern where perceived qualities of the system warrant further development within an iterative therapy system development strategy. The advantage of rapid information generation outweighs the disadvantage of limited representativeness in the given research context.

Background

The E-BRAiN system and characteristics

The E-BRAiN system is a prototype system to enable and perform post-stroke therapies with a social robot as an instructor (www.ebrain-science.de).

The system was developed with the patient at the center. The patient sits in front of the respective therapy material during therapy sessions, and the humanoid robot guides the patient through the therapy, tablets are used as an interface. Patients' experience is primarily based on the training task and material together with the humanoid robot having an active role as "therapist".



Abb. 1 Humanoid Robot „Pepper“ (SoftBank Robotics) as used in the project E-BRAiN.

This intuitive scenario is made possible by information technology that uses embedded therapeutic knowledge, knowledge about a patient's condition, individualized pre-defined therapy content, and information about the ongoing therapeutic progress during and across sessions.

Medical specifications

Medical professionals decide on the type of therapy, specific training tasks to be selected as well as any repetitions (in advance) and can thus control the course of the therapies and of exercises. The robot has no inner intelligence in the sense that it makes decisions autonomously. It does, however, take into account all individualizations specified by medical professionals in advance and the therapeutic progress as assessed by the system within and across the therapeutic sessions. In addition, the dialogue contents in terms of welcome and good-bye, provision of information and feedback as well as the therapeutic interaction to support work alliance all are programmed in a way to resemble human therapeutic interaction (Platz et al., 2021).

Technology set-up

Technically speaking, the therapies follow – individualized - an almost completely fixed program with pre-programmed decision nodes and responses that structure therapeutic sessions and their dialogue from beginning to end (Forbrig et al., 2020b; Forbrig et al., 2020a; Forbrig et al., 2021). All text, speech, sound, images and video content are either already determined as options to be used in the therapy program script or are created procedurally (e.g. patient's performance diagram) and are then shown on the devices (e.g., tablets). During therapy, the patient's direct inputs are processed and stored. As equipment Android tablets (Samsung Tab S7+) and the social robot "Pepper" (Softbank Robotics) are used. The entire system operates in an isolated WLAN environment that for data protection purposes is not connected to the internet. The therapy is started via a local computer in the same room and can also

be monitored and controlled via it. This computer is also used to store all software functionality and patient data (encrypted).

In summary, the therapeutic system uses complex, yet formally weak artificial intelligence that creates therapeutic sessions where a humanoid robot in diverse ways, comprehensively and human-like acts in a similar way as therapists and does so in a manner that is individualized and adapted to a patient's therapeutic needs and training progress.

Within the context of the project E-BRAiN, both knowledge about acceptance and detailed knowledge about the usability of the system are important for further information technology development cycles and system improvement.

Assessment of technology acceptance, users' intention to use a therapeutic robot system, and its constituents

Exploring the acceptance of users towards a new technology is a common way to detect approval and predict future use of that technology. Thus, user acceptance is crucial for the successful application of any new technology (Taherdoost, 2019). Each technology has its unique features, which ultimately will decide if an individual may want to use it or not. Knowing what the patients' perception towards the E-BRAiN system is, may help to increase the growth of the application of social robots in neurorehabilitative scenarios.

According to Taherdoost (Taherdoost, 2019), social robot implementations might be considered “successfully developed” in information technology development environment when tested with healthy users, but if intended users, i.e. real patients do not want to get involved and do not want to use them, an implementation would nevertheless have failed. Recognizing user acceptance and any factors that reduce acceptance are important steps for iterative development cycles to increase technology use and adoption. One of the beneficial outcomes of a high degree of user acceptance of healthcare technology could be to mitigate the shortage of healthcare staff in different clinical and care settings (Ke et al., 2020).

Examples of such influencing factors might be introduced to illustrate the approach. E.g., it was shown, that confidence in the use of technology can lead to enhanced personal control flexibility and competent use of the information (Durodolu, 2016). On the other hand, an inability to control and accept the new technology may overwhelm users. This can lead to a level of anxiety, negatively influencing a patient's experience with the system and accordingly her or his willingness to work with a (future) robot system. Thus, exploring the acceptance of the current (first) clinical implementation of the therapeutic system E-BRAiN is important to detect the flaws and attractive aspects of the current system from the user perspective (i.e. by patients).

Researching technology acceptance has often been done using an approach called Technology Acceptance Modeling (TAM) (Davis, 1989). It maps the influences on users' intention to use the technology and the actual use of it (Taherdoost, 2019). Thereby, it can approximate how well a system will be accepted by certain users or groups. The original TAM and the questionnaire developed for that purpose have already widely been applied. The questionnaire asks questions to record the individuals' opinion of certain constructs like “Perceived Usefulness” and “Perceived Ease of Use” of a technology. Over time modifications became available. In 2003, the approach was enhanced with the model “Unified Theory of Acceptance and Use of Technology” (UTAUT) (Venkatesh et al., 2003) which added more constructs. The goal was to expand the model to reach a broader application area. After this model, Heering and co-workers proposed the ALMERE-model in 2010 (Heerink et al. 2010). It was particularly designed to test the acceptance of social agents by elderly users. For the purpose of this project, it is the most sophisticated model available to date to incorporate information about patients' attitudes relevant for the use of the technology assessed and consequently to model the patients' technology acceptance. The ALMERE-model and the questionnaire associated with it were therefore selected for the observational study.

Usability tests with interviews and system-specific user feedback

Testing the usability of a system is different from the measurement of the technology acceptance of the system. Modelling the technology acceptance in the UTAUT context serves to understand the user intentions to use an information system and predict subsequent usage behavior. Because of this goal, the technology acceptance model uses abstract constructs to explain behavior between subjects, and as already stated to predict future use.

The results from the technology acceptance models are, however, not designed to determine precise changes that could be made for the system to increase its usability. Accurate suggestions for improvement require other methods, such as usability testing.

The purpose of usability tests is to find problematic issues and to make specific recommendations to improve the utility of a system in its design (Lee, 1999). According to the ISO Norm 9241-11:2018 usability is defined as “the extent to which a system, product or service can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use”. Here we want to collect feedback that can be implemented as precisely as possible on what could be changed in the therapies from the patient's point of view.

Testing the usability of a computer system typically follows a certain method and data collection method. Here, we plan to use a “pluralistic walkthrough” (Lee, 1999), which means to evaluate a system from the perspective of the end-user (patient). It is easy to apply and is suited for iterative testing, intended for a future update of the social robot system. For the method of data collection, we intend to use an interview after the patients gathered practical experience with the therapy system E-BRAiN and to schedule the interview after a therapeutic session.

In usability research, the “thinking aloud” method is frequently used (Nielsen, 1993). With that procedure, representative users are invited to perform representative work/tasks with a system to be evaluated and let them speak what the users are doing either during or after the tasks. However, it had been shown, that speaking aloud during the time of working with a system can have negative effects on the execution of the actual tasks (van den Haak et al., 2003), an effect that is not desirable for stroke patients performing their rehabilitation training. Thus, we select here the method of “retrospective interviews” after a therapy session. When possible in organizational terms, interviews might be held in the same therapy room or be supported by video recordings of a therapeutic session to promote “re-experiencing” the therapy session as recommended in the literature (Rubin, 1994). Such circumstances might help to prompt patients to remember and talk about how they felt during certain parts of their session; during the interviews, patients are, however, not asked to perform any exercises.

Methods

Study type

Observational pilot study planned as a first assessment of acceptance and usability of the therapeutic system E-BRAiN (Evidence-based Robot Assistance in Neurorehabilitation) as experienced by stroke survivors currently receiving therapy with the system.

The observational study is an associated project with the clinical trial E-BRAiN - EVIDENZ-BASIERTE ROBOT-ASSISTENZ IN DER NEUROREHABILITATION at the UMG (Protocol-Code: 202101E-BRAiN; EUDAMED-Nummer: CIV-21-01-035629; LKP Thomas Platz).

As such, the observational pilot study is part of the collaborative research of the E-BRAiN consortium (www.ebrain-science.de).

Participants

Participants are stroke survivors participating in the clinical trial **E-BRAiN - EVIDENZ-BASIERTE ROBOT-ASSISTENZ IN DER NEUROREHABILITATION** conducted at the UMG and BDH-Klinik

Greifswald (Protocol-Code: 202101E-BRAiN) who are willing to participate in the additional assessment of acceptance and usability of the therapeutic system E-BRAiN during their phase of robot training of the clinical trial. Eligible are thus stroke survivors with either arm paresis or neglect receiving robot therapy with the E-BRAiN system.

A total of 10 consecutive patients will be recruited for the assessment of acceptance and usability, preferably receiving diverse forms of training-based therapy (across subjects) as offered by the expert therapy system (i.e. arm ability training, arm basis training, mirror therapy, and neglect therapy).

Outcome measures

All participants receive a questionnaire („Fragebogen zur Einschätzung des Therapiesystems durch Nutzer“) that had been purpose built based on the literature cited above. The 5-page questionnaire has two parts, a first part with 41 questions addressing aspects of technology acceptance, coded as 5 points Likert scale part (part I, sections 2 & 3 of the purpose built questionnaire), and a second part with (a.) 3 questions addressing aspects of technology acceptance for the specific therapeutic expert system experienced, again coded as 5 points Likert scale, and (b.) 5 open question addressing the system's usability (subjective user experience) to be applied in the context of an interview (a. & b.: part II, sections 4 & 5 of the purpose built questionnaire).

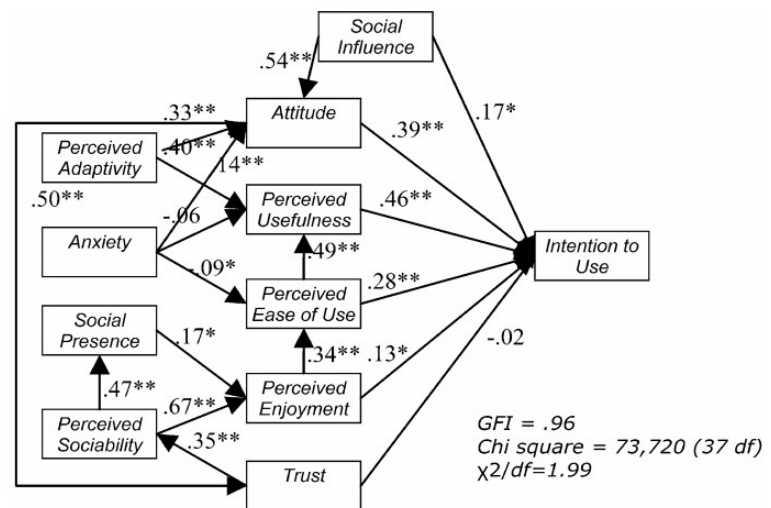
The 41 questions in part I of the questionnaire addressing aspects of technology acceptance are taken from Heerink et al., (2010). “Table 1” from Heerink et al., (2010) presents the constructs assessed and their definition, “table 2” the questions (items) used to assess these constructs (translated in German for the purpose of this observational study), and “fig. 8” the model concerning the interrelation of the constructs presented (table 1) and assessed (table 2) together with the empirically established model path estimates.

Code	Construct	Definition
ANX	Anxiety	Evoking anxious or emotional reactions when it comes to using the system
ATT	Attitude towards technology	Positive or negative feelings about the appliance of the technology
FC	Facilitating conditions	Factors in the environment that facilitate use of the system
ITU	Intention to Use	The intention to use the system over a longer period in time
PAD	Perceived adaptiveness	The perceived ability of the system to adapt to the needs of the user
PENJ	Perceived Enjoyment	Feelings of joy/pleasure associated with the use of the system
PEOU	Perceived Ease of Use	The degree to which one believes that using the system would be free of effort
PS	Perceived Sociability	The perceived ability of the system to perform sociable behavior
PU	Perceived Usefulness	The degree to which a person believes that the system would be assistive
SI	Social Influence	The persons perception that people who are important to him think he should or should not use the system
SP	Social Presence	The experience of sensing a social entity when interacting with the system
Trust	Trust	The belief that the system performs with personal integrity and reliability
Use	Use	The actual use of the system over a longer period in time

Table 2 Used questionnaire

ANX	If I should use the robot, I would be afraid to make mistakes with it
	If I should use the robot, I would be afraid to break something
	I find the robot scary
	I find the robot intimidating
ATT	I think it's a good idea to use the robot
	The robot would make life more interesting
	It's good to make use of the robot
FC	I have everything I need to use the robot
	I know enough of the robot to make good use of it
ITU	I think I'll use the robot during the next few days
	I'm certain to use the robot during the next few days
	I plan to use the robot during the next few days
PAD	I think the robot can be adaptive to what I need
	I think the robot will only do what I need at that particular moment
	I think the robot will help me when I consider it to be necessary
PENJ	I enjoy the robot talking to me
	I enjoy doing things with the robot
	I find the robot enjoyable
	I find the robot fascinating
	I find the robot boring
PEOU	I think I will know quickly how to use the robot
	I find the robot easy to use
	I think I can use the robot without any help
	I think I can use the robot when there is someone around to help me
	I think I can use the robot when I have a good manual
PS	I consider the robot a pleasant conversational partner
	I find the robot pleasant to interact with
	I feel the robot understands me
	I think the robot is nice
PU	I think the robot is useful to me
	It would be convenient for me to have the robot
	I think the robot can help me with many things
SI	I think the staff would like me using the robot
	I think it would give a good impression if I should use the robot
SP	When interacting with the robot I felt like I'm talking to a real person
	It sometimes felt as if the robot was really looking at me
	I can imagine the robot to be a living creature
	I often think the robot is not a real person
	Sometimes the robot seems to have real feelings
Trust	I would trust the robot if it gave me advice
	I would follow the advice the robot gives me

Fig. 8 Final model path estimates (* $p < 0.05$, ** $p < 0.005$)



Study procedures

Participants of the clinical trial E-BRAiN will be informed about the acceptance and usability study and invited to participate. For those who provide informed consent to participate, a single assessment and interview session will be scheduled on one of the days of their experimental therapy (with the robot system) during which the participants receive the questionnaire and are offered help for understanding the questions addressed in case needed.

The session will be scheduled not earlier than after at least 3 training sessions with the E-BRAiN system to ensure user sufficient experience, and no later than 2 days before the final session with the E-BRAiN session to guarantee further experience with the robot to come and hence a valid background to assess the willingness to use the system again.

The single assessment and interview session lasts about 1 to 1.5 hours and will be planned to fit with the participant's daily schedules.

Legal aspects, reimbursement, safety, and insurance aspects

The collaborating partner had signed a treaty for the collaborative research related to E-BRAiN. In addition, they signed a “Joint controller” memorandum that regulates shared responsibilities and measures to be taken to protect personal data effectively. The collaborating parties understand that those regulations apply to the observational study described here, being part of the agreed research work.

Participants are not reimbursed for their participation.

Since no specific risks are associated with the observational study, no specific insurance coverage is indicated.

Statistical analyses

The study population will be described by sociodemographic and stroke-related characteristics, and the therapy received (mean/s.d. or count/relative frequency as appropriate).

Questionnaire

All Likert-scaled variables will be recoded numerically with “1” indicating strong disagreement (totally disagree [“Stimme überhaupt nicht zu”]) and “5” strong agreement (totally agree [“Stimme komplett zu”]).

Part I

Variables from the 41 items (questions of the questionnaire's part I) will be mapped onto the 13 constructs assessed by generating the average across items subserving the assessment of each corresponding construct. Thereby, all construct-related statistics (secondary variables) will range from 1 to 5 (like the items themselves) independent of the number of items being mapped to a construct and hence their scale become comparable.

Mean and 95% confidence intervals for the construct-related statistics (secondary variables) will be used to generate a technology acceptance profile (resembling estimates for the constructs assessed).

A grand average across all 41 items will be used as overall measure of acceptability (as patient-reported experience measure).

With the restrictions given by the small study sample the data will tentatively be explored (hypothesis generating) as to which clinical variables (e.g. age, sex, severity of stroke) might modify acceptability as patient-reported experience and the aspects assessed.

The model of "intention to use" and its constituents presented above will primarily be used as additional aid to interpret the data. It had not been established with stroke survivors receiving rehabilitation training using technology, and hence the estimates presented for the model path might not apply (be valid) for the user scenario in the context of this observational study.

Part II

Variables from the 3 items using a Likert scale (questions of the questionnaire's part II) will be analysed using descriptive statistics, i.e. mean and 95% confidence intervals, minimum, maximum.

Qualitative data resulting from the open questions (interview) will be used to describe in a narrative way:

- Strengths of the systems as experienced by stroke survivors as users for their rehabilitation therapy,
- its weaknesses,
- areas where modifications are suggested by users,
- and overall users' subjective assessment.

Data management

For this observational study, all data will be collected using the single purpose built questionnaire („Fragebogen zur Einschätzung des Therapiesystems durch Nutzer“) and using a pseudonymisation code of the clinical trial “E-BRAiN”. In case data would have to be corrected or deleted personal identification remains possible using the patient-identification log of the trial. Sociodemographic and clinical data (study population description) will be used from the clinical trial data.

Signed written informed consent will be archived at the recruiting institution, e.g. the BDH-Klinik Greifswald for participants of the E-BRAiN clinical trial being recruited for the observational pilot study there.

Each questionnaire will be screened for formal correctness by the AG Neurorehabilitation of the UMG (quality check) before it is archived in the AG Neurorehabilitation of the UMG for 10 years together with (integrated into) study participant files of the clinical trial.

Numerical data of the questionnaire will be transferred into a digital database for statistical analyses; text (part II of the questionnaire) will be collated in text files using the headings of the open questions and the list of aspects addressed as given above. After its transfer, all data will be double-checked for correctness to ensure data quality of the digital entries before it will be used for further analyses.

The digital database and text files will be stored in either a password-protected OwnCloud of the UMG and/or Veracrypt-encoded password-protected external memory devices used by the collaborating institutions as technical organisational measures to protect the data from unauthorised use.

Relevance

The data generated will provide a first orientation how the system is perceived by users and how such perceived qualities translate into an intention to use such a system further.

Equally, the results of the observation will point to areas of concern where perceived qualities of the system warrant further development within an iterative therapy system development strategy.

The advantage of rapid information generation outweighs the disadvantage of limited representativeness in the given research context.

Unterschrift und Erklärung

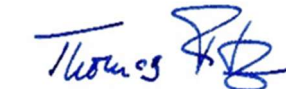
Der Projektleiter und der Kooperationspartner bestätigen mit der Unterschrift,

- dass auch bei einer positiven Beurteilung des Vorhabens durch die Ethikkommission an der Universitätsmedizin Greifswald die ärztliche und juristische Verantwortung uneingeschränkt bei dem Projektleiter, seinen Mitarbeiter/innen und dem eingangs genannten Kooperationspartner verbleibt.
- die Richtigkeit und Vollständigkeit dieses Antrages.

Rostock, 15.07.2022


Alexandru-Nicolae Bundea

Greifswald, 15.07.2022


Prof. Dr. Thomas Platz

References

Davis FD. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*. 1989;13(3):319. doi:10.2307/249008.

Durodolu OO. Technology Acceptance Model as a predictor of using information system' to acquire information literacy skills; 2016.

Forbrig P, Platz T. Supporting the Arm Ability Training of Stroke Patients by a Social-Humanoid Robot. In: Ahram T, Taiar R, Gremeaux-Bader V, Aminian K, eds. *Human Interaction, Emerging Technologies and Future Applications II: Proceedings of the 2nd International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies: Future Applications (IHET – AI 2020)*, April 23-25, 2020, Lausanne, Switzerland. 1st ed. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer; 2020a.

Forbrig P, Bunea A, Pedersen A, Platz T. Digitalization of Training Tasks and Specification of the Behaviour of a Social Humanoid Robot as Coach. In: Bernhaupt R, Ardito C, Sauer S, eds. *Human-Centered Software Engineering*. Cham: Springer International Publishing; 2020b. p. 45–57. doi:10.1007/978-3-030-64266-2_3.

Forbrig P, Bunea A, Platz T. Assistance App for a Humanoid Robot and Digitalization of Training Tasks for Post-stroke Patients. In: Zimmermann A, Howlett RJ, Jain LC, eds. *Human Centred Intelligent Systems: Proceedings of KES-HCIS 2020 Conference*. Singapore: Springer; 2021. p. 41–51. doi:10.1007/978-981-15-5784-2_4.

Heerink M, Kröse B, Evers V et al. Assessing Acceptance of Assistive Social Agent Technology by Older Adults: the Almere Model. *Int J of Soc Robotics* 2010; 2: 361–375. doi:10.1007/s12369-010-0068-5

Ke C, Lou VW-Q, Tan KC-K, Wai MY, Chan LL. Changes in technology acceptance among older people with dementia: the role of social robot engagement. *Int J Med Inform*. 2020;141:104241. doi:10.1016/j.ijmedinf.2020.104241.

Lee SH. Usability Testing for Developing Effective Interactive Multimedia Software: Concepts, Dimensions, and Procedures. *Journal of Educational Technology & Society*. 1999;2(2).

Nielsen J. Usability engineering. Cambridge, Mass.: AP Professional; 1993.

Platz T, Seidel J, Müller A, Goldmann C, Pedersen AL. THERapy-Related InterACTION (THER-I-ACT) in Rehabilitation-Instrument Development and Inter-Rater Reliability. *Front Neurol*. 2021;12:716953. doi:10.3389/fneur.2021.716953.

Rubin J. Handbook of usability testing: How to plan, design, and conduct effective tests. New York, Chichester: Wiley; 1994.

Taherdoost H. Importance of Technology Acceptance Assessment for Successful Implementation and Development of New Technologies. *GJES*, 2019. doi:10.33552/GJES.2019.01.000511.

van den Haak M, Jong M de, Jan Schellens P. Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: Testing the usability of an online library catalogue. *Behaviour & Information Technology*. 2003;22(5):339–51. doi:10.1080/0044929031000.

Venkatesh V, Morris M, Davis G, Gordon F. User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*. 2003;27(3):425. doi:10.2307/30036540.

Supporting material

- Purpose-built questionnaire („Fragebogen zur Einschätzung des Therapiesystems durch Nutzer“)
- Patienten/Probanden-Information und Einwilligungserklärung mit Datenschutzerklärung

A.12 Vorlage zur Studieneinwilligung

Einwilligungserklärung

„Erfahrungen mit dem Therapiesystem mit humanoidem Roboter“

Untersuchungsleiter:

Prof. Dr. med. Thomas Platz
Ärztlicher Direktor Forschung
BDH-Klinik Greifswald
Institut für Neurorehabilitation und Evidenzbasierung,
An-Institut der Universität Greifswald
Karl-Liebknecht-Ring 26a
D-17491 Greifswald
Email t.platz@bdh-klinik-greifswald.de
Telefon: 03834 871-490 (Schr. -201)

In Zusammenarbeit mit:

Alexandru-Nicolae Bunea, M.Sc.
Universität Rostock
Institut für Informatik
Albert-Einstein-Straße 22
18059 Rostock
Email: alexandru-nicolae.bunea@uni-rostock.de
Telefon: +49 381-498 7625

Name des Patienten in Druckbuchstaben: Geb.Datum:.....

Patient-Nr.: (in der Beobachtungsstudie).

Ich willige freiwillig in die Teilnahme an der oben genannten Beobachtungsstudie für meine Person ein.

Ich bin in einem persönlichen Gespräch durch ausführlich und verständlich über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie aufgeklärt worden. Ich hatte die Gelegenheit in einem Beratungsgespräch über die sonstigen Bedingungen der Durchführung der Studie zu sprechen. Alle meine Fragen wurden zufrieden stellend beantwortet. Ich habe darüber hinaus den Text der Patientenaufklärung gelesen und verstanden. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden.

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie zurückziehen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir daraus Nachteile für meine Behandlung entstehen.

Datenschutz

Mir ist bekannt, dass bei dieser Studie personenbezogene Daten, u.a. auch medizinische Befunde über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an der Beobachtungsstudie folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, das heißt ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der Studie teilnehmen.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie personenbezogene Daten, insbesondere Angaben über meine Gesundheit und meine Erfahrungen und Einschätzungen des Therapiesystems mit dem humanoiden Roboter in der BDH-Klinik Greifswald erhoben und in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern aufgezeichnet werden. In pseudonymisierter Form (verschlüsselt) dürfen die Daten vom Studienleiter und dem kooperierenden Wissenschaftler der Universität Rostock zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung verwertet und längerfristig aufbewahrt werden.

Die für die Datenverarbeitung verantwortliche Personen sind der Studienleiter Professor Platz und der Wissenschaftler Herr Bunde (Kontaktdaten s.o.).

Ich bin auf das Beschwerderecht bei einer Datenschutzaufsichtsbehörde hingewiesen worden. Die Datenschutz-Aufsichtsbehörde ist:

Der Landesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit Mecklenburg-Vorpommern

Werderstraße 74a, 19055 Schwerin

Telefon: 0385 59494 0

Telefax: 0385 59494 58

E-Mail: info@datenschutz-mv.de

Webseite: www.datenschutz-mv.de; www.informationsfreiheit-mv.de

Der Datenschutzbeauftragte der BDH-Klinik Greifswald ist:

Rolf-Dietrich Berndt

Infokom – Informations- und Kommunikationsgesellschaft mbH

Johannesstraße 8a

17034 Neubrandenburg

Telefon: 0395 430520

Telefax: 0395 4305249

E-Mail: datenschutz@infokom.de

Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich die Teilnahme an der Studie jederzeit und ohne Angabe von Gründen gegenüber dem Studienleiter oder seinem Personal widerrufen kann. Im Falle des Widerrufs werden meine Daten gelöscht.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten nach Beendigung oder Abbruch der Studie mindestens zehn Jahre aufbewahrt werden.

Ich habe vom datenschutzrechtlichen Einsichts- und Korrekturrecht bezüglich meiner personenbezogenen Daten Kenntnis genommen. Ich bin auf das Recht hingewiesen worden, Auskunft (einschließlich kostenfreier Überlassung einer Kopie) über mich betreffende personenbezogene Daten zu erhalten sowie ggf. deren Berichtigung oder Löschung zu verlangen.

Schließlich erkläre ich auch meine Einwilligung für die wissenschaftliche Veröffentlichung der Forschungsergebnisse unter Beachtung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen.

Möglichkeit zur Dokumentation zusätzlicher Fragen seitens des Patienten oder sonstiger Aspekte des Aufklärungsgesprächs:

Ein Exemplar der Patienteninformation und der Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Ein Exemplar der unterschriebenen Einwilligungserklärung verbleibt im Prüfzentrum.

.....
(Ort, Datum und Unterschrift des Patienten)

.....
(ggf. Ort, Datum, Vor- und Zuname und Unterschrift des gesetzl. Betreuers)

Ich habe das Aufklärungsgespräch geführt und die Einwilligung des Patienten eingeholt.

.....,

Name (Druckb.)	(Ort, Datum und Unterschrift)
----------------	-------------------------------

A.13 Patienteninformationen zur Studienteilnahme

Patienteninformation

„Erfahrungen mit dem Therapiesystem mit humanoidem Roboter“

Untersuchungsleiter:

Prof. Dr. med. Thomas Platz
Ärztlicher Direktor Forschung
BDH-Klinik Greifswald
Institut für Neurorehabilitation und Evidenzbasierung,
An-Institut der Universität Greifswald
Karl-Liebknecht-Ring 26a
D-17491 Greifswald
Email t.platz@bdh-klinik-greifswald.de
Telefon: 03834 871-490 (Schr. -201)

In Zusammenarbeit mit:

Alexandru-Nicolae Bunea, M.Sc.
Universität Rostock
Institut für Informatik
Albert-Einstein-Straße 22
18059 Rostock
Email: alexandru-nicolae.bunea@uni-rostock.de
Telefon: +49 381-498 7625

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

Ihr Arzt¹ hat festgestellt, dass Sie eine Roboter-Therapie zur Behandlung von Störungen nach einem Schlaganfall erhalten sollen. Im Rahmen dieser Behandlung werden bei Ihnen Gesundheitsdaten erhoben, die wir gerne begleitend wissenschaftlich auswerten wollen. Insbesondere wollen wir Sie zu Ihren persönlichen Eindrücken und Bewertungen bei der Therapie mit dem humanoiden Roboter fragen. Damit wollen wir die weitere technische Entwicklung eng an Erfahrungen der Nutzer orientieren.

Die klinische Begleitforschung (Studie), die wir Ihnen hier vorstellen, wurde von einer Ethikkommission der Universitätsmedizin Greifswald zustimmend beraten. Die Studie wurde vom Studienleiter Professor Dr. med. Thomas Platz veranlasst. Sie wird in der BDH-Klinik Greifswald durchgeführt; es sollen insgesamt 10 Personen daran teilnehmen.

Ihre Teilnahme an dieser Befragung ist freiwillig. Sie werden in diese Befragung also nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der Befragung teilnehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, erwachsen Ihnen daraus keine Nachteile für Ihre Behandlung.

Ihre Behandler haben Ihnen bereits eine Reihe von Informationen zu der geplanten Befragung gegeben. Der nachfolgende Text soll Ihnen weitere Details zu den Zielen und zum Ablauf erläutern. Anschließend wird jemand aus dem Behandlungsteam ein weiteres Gespräch mit Ihnen führen. Bitte zögern Sie nicht, alle Punkte anzusprechen, die Ihnen unklar sind. Sie werden danach ausreichend Bedenkzeit erhalten, um über Ihre Teilnahme zu entscheiden.

1. Warum wird diese Befragung durchgeführt?

Das Therapiesystem E-BRAiN mit dem humanoiden Roboter wird erst seit kurzem bei Schlaganfall-Betroffenen eingesetzt. Da ähnliche Technologie bislang nicht verfügbar war, ist es wichtig, möglichst früh erste, wenn auch noch vorläufige Erkenntnisse über Erfahrungen, die Patienten damit machen, zu gewinnen. Fällt das Training mit dem Roboter leicht, machte es Spaß mit dem Roboter zu trainieren,

¹ Bezeichnungen in der männlichen Form schließen die weibliche Form mit ein.

vertrauen Sie dem Roboter, wenn er mit Ihnen trainiert? Diese und ähnliche Fragen wollen wir Ihnen gerne stellen. Auch möchten wir in Erfahrung bringen, was Patienten an dem Therapiesystem mit dem humanoiden Roboter besonders schätzen und welche Verbesserungsvorschläge sie haben. Dieses Wissen kann uns helfen, die Therapie zukünftig noch stärker an den Bedürfnissen der Betroffenen auszurichten.

2. Erhalte ich die Roboter-Therapie auf jeden Fall?

Ja, denn im Rahmen dieser klinischen „Beobachtungs“-Studie (Befragung) werden nur Patienten eingeschlossen, die an der klinischen Prüfung zur Therapie mit dem humanoiden Roboter teilnehmen.

3. Wie ist der Ablauf der Befragung und was muss ich bei Teilnahme beachten?

Bei der Befragung erhalten Sie einen Fragebogen mit ca. 50 Fragen. Die meisten können durch Ankreuzen einer zutreffenden Antwort beantwortet werden. Wenige Fragen sind so genannte „offene Fragen“, bei denen Sie ganz frei Ihre Antworten eintragen können bzw. wir Sie mit einem Interview unterstützen. Die Befragung dauert etwa 1 bis 1 ½ Stunden. Sie erhalten den Fragebogen und werden gebeten, diesen auszufüllen; ein Mitarbeiter aus dem Studienteam steht Ihnen bei der Bearbeitung des Fragebogens zur Klärung etwaiger Fragen zur Verfügung. Den Termin für die Befragung passen wir so an, dass Sie bereits etwas Erfahrung mit dem humanoiden Roboter gesammelt haben und dass der Termin auch in Ihren sonstigen Tagesablauf passt.

Zusätzlich werden medizinische Daten aus der klinischen Prüfung zur Therapie mit dem humanoiden Roboter verwendet wie z.B. Ihr Alter, die Schwere Ihres Schlaganfalles, die Therapieart, um die Ergebnisse der Befragung damit in Beziehung setzen zu können.

4. Welchen persönlichen Nutzen habe ich von der Teilnahme an der Studie?

Ihre Teilnahme an der Studie mit der Therapie mit dem humanoiden Roboter kann dazu beitragen, dass Ihre aus dem Schlaganfall resultierenden Funktionsstörungen sich verbessern. Durch die ergänzende Teilnahme an der Befragung haben Sie selbst keinen persönlichen Nutzen. Sie helfen uns, das System an den Bedürfnissen der Betroffenen orientiert weiterzuentwickeln, und damit künftigen Patienten, die mit dem System trainieren werden.

5. Welche Risiken sind mit der Teilnahme an der Studie verbunden?

Zusätzliche Risiken entstehen für Sie bei dieser Befragung nicht, da lediglich Fragen zur Therapie mit dem humanoiden Roboter und Ihren Eindrücken dabei gestellt und Ihre Antworten mit einem Fragebogen dokumentiert werden.

6. Wer darf an dieser klinischen Studie teilnehmen?

Patienten, die nach Schlaganfall an der klinischen Prüfung mit dem humanoiden Roboter teilnehmen.

7. Entstehen für mich Kosten durch Teilnahme an der klinischen Studie? Erhalte ich eine Aufwandsentschädigung?

Durch Ihre Teilnahme an dieser Befragung entstehen für Sie keine zusätzlichen Kosten, aber es ist auch keine Aufwandsentschädigung vorgesehen.

8. Besteht während der klinischen Studie eine Versicherung?

Da bei dieser Befragung keine gesonderten Maßnahmen erfolgen, sondern lediglich Ihre Eindrücke aus der Therapie erhoben werden, besteht kein zusätzliches Risiko, für das eine Versicherung abgeschlossen werden könnte.

9. Wer trifft die Entscheidung, ob ich aus der klinischen Studie ausscheide?

Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahme beenden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile für Ihre weitere Behandlung entstehen.

Unter gewissen Umständen ist es aber auch möglich, dass das Studienteam entscheidet, Ihre Teilnahme an der Befragung vorzeitig zu beenden, ohne dass Sie auf die Entscheidung Einfluss haben. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Ihre weitere Teilnahme an der Befragung ist medizinisch nicht mehr vertretbar;
- b) die gesamte Beobachtungsstudie mit Befragung wird abgebrochen.

Ein Mitglied des Studienteams wird mit Ihnen besprechen, wie im speziellen Falle vorzugehen ist.

10. Was geschieht mit den Daten?

Während der Beobachtungsstudie mit Befragung werden medizinische Befunde und persönliche Informationen von Ihnen erhoben, niedergeschrieben und elektronisch gespeichert.

Die für die Beobachtungsstudie mit Befragung wichtigen Daten werden in pseudonymisierter Form gespeichert und ausgewertet. Pseudonymisiert bedeutet, dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein Nummern- oder Buchstabencode.

Die gesetzlichen Bestimmungen enthalten nähere Vorgaben für den erforderlichen Umfang der Einwilligung in die Datenerhebung und -verwendung. Einzelheiten entnehmen Sie bitte der Einwilligungserklärung, von der Sie eine Kopie erhalten.

11. Wer steht für weitere Fragen zur Verfügung?

Sie haben stets die Gelegenheit zu weiteren Beratungsgesprächen mit den an der Studie beteiligten Personen für weitere Fragen im Zusammenhang mit der klinischen Studie. Auch Fragen, die Ihre Rechte und Pflichten als Patient und Teilnehmer an der klinischen Studie betreffen, werden gerne beantwortet.

Telefon Studienleiter: 03834 871490

Abbildungsverzeichnis

3.1	Darstellung der Spiegeltherapie mit der rechten Hand.	18
3.2	ABT-Beispielübungen aus dem E-BRAiN Projekt	19
3.3	AFT Aufgaben-Überblick, vgl. [88]	22
3.4	Darstellung einer Neglect-Störung im Sichtfeld [101]	24
3.5	Beispielhaftes Bildmaterial zu Trainingsübungen für einen visuellen Neglect	26
4.1	Screenshot aus dem Therapiemanagement-Interface: Allgemeine Patientenattribute	51
4.2	Screenshot aus dem Therapiemanagement-Interface: Klinische Patientenattribute	51
4.3	Screenshot aus dem Therapiemanagement-Interface: Konfiguration der Therapien	52
5.1	Schematische Darstellung der Systementwicklung	55
5.2	Beispielhafter, modifizierter Ausschnitt eines Therapiemanuals zum Neglect-Training in Microsoft Word (im Ansichtsmodus "Änderungen verfolgen")	57
5.3	Übersicht über die verwendeten Hard- und Software des E-BRAiN Robotersystems	62
5.4	Pepper-Roboter: Konzept der Pepper-Hardwareaustattung [167]	65
5.5	Größendimensionen des "Pepper" Roboters, Angaben in Millimeter [74] .	66
5.6	Konzept der Interaktionsmodellierung und Darstellung auf dem Tablet .	67
5.7	Eine beispielhafte Interaktionsnachricht im E-BRAiN System.	68
5.8	Tablet-Darstellung Konzept des "media_text" Layouts. Hier am Beispiel der Vorbereitung der Spiegeltherapie.	69
5.9	Verkürztes UML-Datenbankschema	71
5.10	Startbildschirm nach dem Aufrufen der App	72
5.11	Beispielhafter Überblick der Therapie im "virtuellen Roboter" für das Monitoring der Sitzung.	74
5.12	Ein Beispiel der hinterlegten RosaeNLG Textvorlage.	75
5.13	Startbildschirm für Patienten	79
5.14	Darstellung der 1. Motivationsfrage	80
5.15	Beispielhafte Darstellung der Systemvorbereitung für die 1. Aufgabe der AFT "Zielen"	81
5.16	Genereller Therapie-Ablauf und AFT-Ablauf	82
5.17	Spezifisches Ablaufschema einer beispielhaften ABT-Sitzung.	85

5.18	Konzept des spezifischen Übungsablaufes der Spiegeltherapie	87
5.19	Nachbildung einer Neglect-Trainingssitzung	88
5.20	Konzeptioneller Übungsablauf des Neglect Trainings mit der (1) optokinetischen Stimulation und (2) Blicksakkaden	90
5.21	Konzept des Übungsablaufes für die Aufgaben der visuellen Exploration (3a, 3b, 3c)	91
5.22	Bildschirmausschnitt einer OKS-Vorlage	92
5.23	Beispielhafte Ergebnisdiagramme für die Neglect-Training Übung 1: "optokinetische Stimulation"(OKS)	93
5.24	Bildmaterial für Neglect-Training Übung 2: "Blicksakkaden"	95
5.25	Beispielhafte Ergebnis-Diagramme für die Neglect-Training Übung 2 "Blicksakkaden"	96
5.26	Schematische Darstellung des Hilfemodus-Feedbacks und kompensatorischer Suchstrategie.	97
5.27	Bildmaterial für die Übung 3a "Visuelle Exploration: Alle finden"	99
5.28	Ergebnisdiagramme für die Übungen 3a, 3b und 3c der "visuellen Exploration"	99
5.29	Explorationsvorlagen für NVT Übung 3b "Das andere finden"	101
5.30	Bildmaterial für die Übung 3c "Visuelle Exploration: Objekte auf Fotos finden".	103
6.1	Gegenüberstellung der Modellkonstrukte der TAM, UTAUT und "Almere" Technologieakzeptanz-Modelle [185].	113
6.2	Gegenüberstellung der Modellkonstrukte der TAM, UTAUT und "Almere" Modelle [185]. Jedes Modell hat eine unterschiedliche Zusammensetzung, wie sie die Technologie-Akzeptanz beschreiben und bestimmen.	117
6.3	Die Ergebnisse des "User Satisfaction Evaluation Questionnaire" von der sozialen Roboterstudie von Feingold-Polak et al. [20]	149
6.4	AFT alle Übungen: Durchschnittliche Zeit für jede Übung über alle Patienten und Sitzungen hinweg. Zahlenwerte sind auf ganze Sekunden gerundet.	155
6.5	AFT Verlauf von Patient 1	156
6.6	AFT Verlauf von Patient 2	157
6.7	NVT Übung 1 "Optokinetische Stimulation": Leistungsdiagramm aller Übungsrunden über alle Sitzungen hinweg.	160
6.8	Neglect-Training Übung 2 "Blicksakkaden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	162
6.9	Neglect-Training Übung 3a "Alle finden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	164
6.10	Neglect-Training Übung 3b "Das andere finden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	166
6.11	Neglect-Training Übung 3c "Objekte auf Fotos finden": Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	168

6.12	NVT3c "Objekte auf Fotos finden": Vergleich der Fotoserien hinsichtlich der Zahl der Zielreize über alle Schwierigkeitsstufen	170
7.1	Bildmaterial für den Prototyp der digitalen "Zielen" Übung der AFT . .	180
7.2	Bildmaterial für den Prototyp der digitalen "Durchstreichen" Übung der AFT.	181
7.3	Bildmaterial für den Prototyp der digitalen "Labyrinth" Übung der AFT.	182
A.1	Patient 1, Neglect Übung 1	234
A.2	Patient 1, Neglect Übung 2, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	235
A.3	Patient 1, Neglect-Training Übung 3a: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	236
A.4	Patient 1, Neglect-Training Übung 3b: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	237
A.5	Patient 1, Neglect Übung 3c, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	238
A.6	Patient 2, Neglect Übung 1	239
A.7	Patient 2, Neglect Übung 2, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	239
A.8	Patient 2, Neglect-Training Übung 3a: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	240
A.9	Patient 2, Neglect-Training Übung 3b: Durchschnittliche Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	241
A.10	Patient 2, Neglect Übung 3c, Durchschnittliche Runden-Übungswerte über alle Sitzungen und Hilfestellungen	242

Tabellenverzeichnis

4.1	50 Ergebnis-Konstrukte aus den RG-Interviews zur Nutzermodellierung von Patienten	37
4.2	20 Ergebnis-Konstrukte aus den RG-Interviews zur Nutzermodellierung von Therapeuten	39
4.3	Vergleich der Übereinstimmung der RG-Konstrukte und den vorgegebenen, therapeutischen Attribute.	46
5.1	Benötigte Schritte zur Therapiesitzungsvorbereitung	78
5.2	Grobe Dialogstruktur zum Sitzungsverlauf gemäß dem allgemeinen E-BRAiN Dialogskript	79
5.3	Darstellung der Explorationsvorlagen nach Stufen der Aufgabe 3a "Alle finden"	98
5.4	Darstellung der Explorationsvorlagen nach Stufen der Aufgabe 3b "Das andere finden".	100
6.1	Konstrukte des Almere-Modells (der übersetzte Fragebogen befindet sich im Anhang A.9)	119
6.2	Aufbau des Fragebogens	125
6.3	Aufbau des Usability-Testbogens	129
6.4	Deskriptive Statistik pro Konstrukt	133
6.5	Deskriptive Statistik Almere Technologieakzeptanz: Durchschnittliche Werte über alle Patienten	137
6.6	Deskriptive Statistik der ergänzenden Fragen über alle Patienten	138
7.1	Beispielhafte Roboteraktionen während einer Therapie im Kontext des "interactive machine learning".	185
7.3	Beispielhaftes vollständiges Framework zur Regelung von spontanem Feedback mittels "Interactive machine learning"	187
A.1	Das verwendete Patientenmodell im E-BRAiN System	197
A.2	Das verwendete AFT-Ergebnis-Schema im E-BRAiN System	197
A.3	Das verwendete Therapeuten-Schema im E-BRAiN System	197
A.4	Das verwendete Sitzungs-Schema im E-BRAiN System	198
A.5	Das verwendete Übungskonfigurationsschema im E-BRAiN System	201
A.6	Das verwendete Sitzung-Schema im E-BRAiN System	201

Tabellenverzeichnis

A.7	Das verwendete Neglect Übung 1 "OKS"-Schema im E-BRAiN System .	202
A.8	Das verwendete Neglect Übung 2 "Blicksakkaden"-Schema im E-BRAiN System	203
A.9	Das verwendete Neglect Übung 3a/3b/3c Schema im E-BRAiN System .	205
A.10	Das verwendete Neglect Übung 3c Fotostatistiken Datenbankschema im E-BRAiN System	206
A.11	Auflistung der Inhalte zur Robotersystementwicklung	216
A.12	Deskriptive Statistik pro Konstrukt	232
A.13	Deskriptive Statistik nach Therapie	233

Literatur

- [1] Hansol Woo u. a. „The use of social robots in classrooms: A review of field-based studies“. In: *Educational Research Review* 33 (2021), S. 100388. ISSN: 1747938X. DOI: 10.1016/j.edurev.2021.100388.
- [2] Daniel P. Davison u. a. „Working with a Social Robot in School“. In: *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Hrsg. von Tony Belpaeme u. a. New York, NY, USA: ACM, 2020, S. 63–72. ISBN: 9781450367462. DOI: 10.1145/3319502.3374803.
- [3] Norina Gasteiger, Mehdi Hellou und Ho Seok Ahn. „Deploying social robots in museum settings: A quasi-systematic review exploring purpose and acceptability“. In: *International Journal of Advanced Robotic Systems* 18.6 (2021), S. 172988142110667. ISSN: 1729-8814. DOI: 10.1177/17298814211066740.
- [4] Wee-Ching Pang, Choon-Yue Wong und Gerald Seet. „Exploring the Use of Robots for Museum Settings and for Learning Heritage Languages and Cultures at the Chinese Heritage Centre“. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 26.4 (2017), S. 420–435. DOI: 10.1162/PRES-00306.
- [5] Felix Carros u. a. „Exploring Human-Robot Interaction with the Elderly“. In: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Hrsg. von Regina Bernhaupt u. a. New York, NY, USA: ACM, 2020, S. 1–12. ISBN: 9781450367080. DOI: 10.1145/3313831.3376402.
- [6] J. Broekens, M. Heerink und H. Rosendal. „Assistive social robots in elderly care: a review“. In: *Gerontechnology* 8.2 (2009). ISSN: 1569-1101. DOI: 10.4017/gt.2009.08.02.002.00.
- [7] Sandra Bedaf u. a. „A multi-perspective evaluation of a service robot for seniors: the voice of different stakeholders“. In: *Disability and rehabilitation. Assistive technology* 13.6 (2018), S. 592–599. DOI: 10.1080/17483107.2017.1358300.
- [8] Robert Koch-Institut. *Wie steht es um unsere Gesundheit?* 2015. DOI: 10.17886/rkipubl-2015-003-2.
- [9] Stefan Knecht, Stefan Hesse und Peter Oster. „Rehabilitation after stroke“. In: *Deutsches Arzteblatt international* 108.36 (2011), S. 600–606. DOI: 10.3238/arztebl.2011.0600.
- [10] Michael Unrath, Marianne Kalic und Klaus Berger. „Who receives rehabilitation after stroke?: Data from the quality assurance project "Stroke Register Northwest Germany"“. In: *Deutsches Arzteblatt international* 110.7 (2013), S. 101–107. DOI: 10.3238/arztebl.2013.0101.
- [11] Kristine K. Miller u. a. „Exercise after Stroke: Patient Adherence and Beliefs after Discharge from Rehabilitation“. In: *Topics in stroke rehabilitation* 24.2 (2017), S. 142–148. DOI: 10.1080/10749357.2016.1200292.
- [12] Teresa M. Damush u. a. „Barriers and facilitators to exercise among stroke survivors“. In: *Rehabilitation nursing : the official journal of the Association of Rehabilitation Nurses* 32.6 (2007), S. 253–60, 262. ISSN: 0278-4807. DOI: 10.1002/j.2048-7940.2007.tb00183.x.
- [13] Michael T. Jurkiewicz, Susan Marzolini und Paul Oh. „Adherence to a home-based exercise program for individuals after stroke“. In: *Topics in stroke rehabilitation* 18.3 (2011), S. 277–284. DOI: 10.1310/tsr1803-277.
- [14] Boling Yang u. a. *Motivating Physical Activity via Competitive Human-Robot Interaction*. 2022. DOI: 10.48550/ARXIV.2202.07068.
- [15] Luise Sussenbach u. a. „A robot as fitness companion: Towards an interactive action-based motivation model“. In: (2014), S. 286–293. DOI: 10.1109/ROMAN.2014.6926267.
- [16] Xipei Ren u. a. „Effects of Social Robotics in Promoting Physical Activity in the Shared Workspace“. In: *Sustainability* 14.7 (2022), S. 4006. DOI: 10.3390/su14074006.

Literatur

- [17] Mingyang Shao u. a. „Long-Term Exercise Assistance: Group and One-on-One Interactions between a Social Robot and Seniors“. In: *Robotics* 12.1 (2023), S. 9. DOI: 10.3390/robotics12010009.
- [18] Giulia Belgiovine u. a. „A Humanoid Social Agent Embodying Physical Assistance Enhances Motor Training Experience“. In: (2020), S. 553–560. DOI: 10.1109/R0-MAN47096.2020.9223335.
- [19] Jing Shen u. a. „Artificial intelligence-powered social robots for promoting physical activity in older adults: A systematic review“. In: *Journal of sport and health science* (2025), S. 101045. DOI: 10.1016/j.jshs.2025.101045.
- [20] Ronit Feingold-Polak, Oren Barzel und Shelly Levy-Tzedek. „A robot goes to rehab: a novel gamified system for long-term stroke rehabilitation using a socially assistive robot-methodology and usability testing“. In: *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 18.1 (2021), S. 122. DOI: 10.1186/s12984-021-00915-2.
- [21] Nathalia Céspedes u. a. „A Socially Assistive Robot for Long-Term Cardiac Rehabilitation in the Real World“. In: *Frontiers in neurorobotics* 15 (2021), S. 633248. ISSN: 1662-5218. DOI: 10.3389/fnbot.2021.633248.
- [22] E-BRAiN-Forschungsverbund. *Forschungsverbund E-BRAiN: Evidenz-basierte Robot-Assistenz in der Neurorehabilitation*. 2023. URL: <https://www.ebrain-science.de/de/home/>.
- [23] Denniss Raigoso u. a. „A Survey on Socially Assistive Robotics: Clinicians’ and Patients’ Perception of a Social Robot within Gait Rehabilitation Therapies“. In: *Brain sciences* 11.6 (2021). ISSN: 2076-3425. DOI: 10.3390/brainsci11060738.
- [24] D. Feil-Seifer und M. J. Mataric. „Socially Assistive Robotics“. In: *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005*. IEEE, 2005, S. 465–468. ISBN: 0-7803-9003-2. DOI: 10.1109/ICORR.2005.1501143.
- [25] Niall Maclean u. a. „The concept of patient motivation: a qualitative analysis of stroke professionals’ attitudes“. In: *Stroke* 33.2 (2002), S. 444–448. DOI: 10.1161/hs0202.102367.
- [26] N. Maclean. „Qualitative analysis of stroke patients’ motivation for rehabilitation“. In: *BMJ* 321.7268 (2000), S. 1051–1054. ISSN: 09598138. DOI: 10.1136/bmj.321.7268.1051.
- [27] Sara Cooper u. a. „ARI: the Social Assistive Robot and Companion“. In: *2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*. IEEE, 2020, S. 745–751. ISBN: 978-1-7281-6075-7. DOI: 10.1109/R0-MAN47096.2020.9223470.
- [28] Joshua Wainer u. a. „The role of physical embodiment in human-robot interaction“. In: *The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2006*. Piscataway, NJ: IEEE, 2006, S. 117–122. ISBN: 1-4244-0564-5. DOI: 10.1109/ROMAN.2006.314404.
- [29] Wilma A. Bainbridge u. a. „The effect of presence on human-robot interaction“. In: *The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2008*. Piscataway, NJ: IEEE, 2008, S. 701–706. ISBN: 978-1-4244-2212-8. DOI: 10.1109/ROMAN.2008.4600749.
- [30] Maja J. Matrić und Brian Scassellati. „Socially Assistive Robotics“. In: *Springer handbook of robotics*. Hrsg. von Bruno Siciliano und Oussama Khatib. Springer Handbooks. Berlin: Springer, 2016, S. 1973–1994. ISBN: 978-3-319-32550-7. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1{\textunderscore}73.
- [31] Juan Fasola und Maja Mataric. „A Socially Assistive Robot Exercise Coach for the Elderly“. In: *Journal of Human-Robot Interaction* 2.2 (2013). DOI: 10.5898/JHRI.2.2.Fasola.
- [32] Jamy Li u. a. „Social robots and virtual agents as lecturers for video instruction“. In: *Computers in Human Behavior* 55 (2016), S. 1222–1230. ISSN: 07475632. DOI: 10.1016/j.chb.2015.04.005.
- [33] Timothy W. Bickmore und Rosalind W. Picard. „Establishing and maintaining long-term human-computer relationships“. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 12.2 (2005), S. 293–327. ISSN: 1073-0516. DOI: 10.1145/1067860.1067867.
- [34] C. D. Kidd und C. Breazeal. „Robots at home: Understanding long-term human-robot interaction“. In: *IEEE. IEEE / Institute of Electrical and Electronics Engineers Incorporated*, 2008, S. 3230–3235. ISBN: 978-1-4244-2057-5. DOI: 10.1109/IR08.2008.4651113.
- [35] Valentina Vasco u. a. „Train with Me: A Study Comparing a Socially Assistive Robot and a Virtual Agent for a Rehabilitation Task“. In: *Social Robotics*. Hrsg. von Miguel A. Salichs u. a. Bd. 11876. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2019, S. 453–463. ISBN: 978-3-030-35887-7. DOI: 10.1007/978-3-030-35888-4{\textunderscore}42.

- [36] Raihah Aminuddin, Amanda Sharkey und Liat Levita. „Interaction with the Paro robot may reduce psychophysiological stress responses“. In: *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. IEEE, 2016, S. 593–594. ISBN: 978-1-4673-8370-7. DOI: 10.1109/HRI.2016.7451872.
- [37] Mingyang Shao u. a. „You Are Doing Great! Only One Rep Left: An Affect-Aware Social Robot for Exercising“. In: *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. [Piscataway, New Jersey]: [IEEE], 2019, S. 3811–3817. ISBN: 978-1-7281-4569-3. DOI: 10.1109/SMC.2019.8914198.
- [38] Nathalia Cespedes u. a. „Social Human-Robot Interaction for Gait Rehabilitation“. In: *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 28.6 (2020), S. 1299–1307. DOI: 10.1109/TNSRE.2020.2987428.
- [39] Haibin Yan, Marcelo H. Ang und Aun Neow Poo. „A Survey on Perception Methods for Human–Robot Interaction in Social Robots“. In: *International Journal of Social Robotics* 6.1 (2014), S. 85–119. ISSN: 1875-4791. DOI: 10.1007/s12369-013-0199-6.
- [40] Juan S. Lara u. a. „Human-robot sensor interface for cardiac rehabilitation“. In: *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings]* 2017 (2017), S. 1013–1018. DOI: 10.1109/ICORR.2017.8009382.
- [41] David Estévez u. a. „A Case Study of a Robot-Assisted Speech Therapy for Children with Language Disorders“. In: *Sustainability* 13.5 (2021), S. 2771. DOI: 10.3390/su13052771.
- [42] Amal Alabdulkareem, Noura Alhakbani und Abeer Al-Nafjan. „A Systematic Review of Research on Robot-Assisted Therapy for Children with Autism“. In: *Sensors* 22.3 (2022). ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22030944.
- [43] José-Antonio Gil-Gómez u. a. „USEQ: A Short Questionnaire for Satisfaction Evaluation of Virtual Rehabilitation Systems“. In: *Sensors* 17.7 (2017). ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s17071589.
- [44] Heather E. Douglas u. a. „Improving our understanding of multi-tasking in healthcare: Drawing together the cognitive psychology and healthcare literature“. In: *Applied ergonomics* 59.Pt A (2017), S. 45–55. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.08.021.
- [45] Nathalia Céspedes u. a. „Long-Term Social Human-Robot Interaction for Neurorehabilitation: Robots as a Tool to Support Gait Therapy in the Pandemic“. In: *Frontiers in neurorobotics* 15 (2021), S. 612034. ISSN: 1662-5218. DOI: 10.3389/fnbot.2021.612034.
- [46] Katie Winkle. „Expert-Informed Design and Automation of Persuasive, Socially Assistive Robots“. Diss. Bristol: The University of Bristol, 2020. URL: <https://research-information.bris.ac.uk/en/studentTheses/expert-informed-design-and-automation-of-persuasive-socially-assi>.
- [47] Katie Winkle u. a. „Couch to 5km Robot Coach: An Autonomous, Human-Trained Socially Assistive Robot“. In: 2020, S. 520–522. DOI: 10.1145/3371382.3378337. URL: https://www.researchgate.net/publication/340369304_Couch_to_5km_Robot_Coach_An_Autonomous_Human-Trained_Socially_Assistive_Robot.
- [48] José Carlos González, José Carlos Pulido und Fernando Fernández. „A three-layer planning architecture for the autonomous control of rehabilitation therapies based on social robots“. In: *Cognitive Systems Research* 43 (2017), S. 232–249. ISSN: 13890417. DOI: 10.1016/j.cogsys.2016.09.003.
- [49] Nicole Salomons u. a. „The Impact of an In-Home Co-Located Robotic Coach in Helping People Make Fewer Exercise Mistakes“. In: *2022 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*. IEEE, 2022, S. 149–154. ISBN: 978-1-7281-8859-1. DOI: 10.1109/RO-MAN53752.2022.9900722.
- [50] José Carlos Pulido, José Carlos González Dorado und Fernando Fernández. „NAOTherapist: Autonomous Assistance of Physical Rehabilitation Therapies with a Social Humanoid Robot“. In: 2016.
- [51] Michalis Foukarakis u. a. „A Robot-based Application for Physical Exercise Training“. In: *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 4/21/2016 - 4/22/2016, S. 45–52. ISBN: 978-989-758-180-9. DOI: 10.5220/0005800300450052.
- [52] Binnur Görür, Albert Ali Salah und H. Levent Akin. „An autonomous robotic exercise tutor for elderly people“. In: *Autonomous Robots* 41.3 (2017), S. 657–678. ISSN: 0929-5593. DOI: 10.1007/s10514-016-9598-5.

Literatur

- [53] Richelle A. C. M. Olde Keizer u. a. „Using socially assistive robots for monitoring and preventing frailty among older adults: a study on usability and user experience challenges“. In: *Health and Technology* 9.4 (2019), S. 595–605. ISSN: 2190-7188. DOI: 10.1007/s12553-019-00320-9.
- [54] Isa Halim u. a. „A Review on Usability and User Experience of Assistive Social Robots for Older Persons“. In: *International Journal of Integrated Engineering* 14.6 (2022). ISSN: 2229838X. DOI: 10.30880/ijie.2022.14.06.010.
- [55] Francesca Dino u. a. *Delivering Cognitive Behavioral Therapy Using A Conversational SocialRobot*. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1909.06670.
- [56] Miguel A. Salichs u. a. „Mini: A New Social Robot for the Elderly“. In: *International Journal of Social Robotics* 12.6 (2020), S. 1231–1249. ISSN: 1875-4791. DOI: 10.1007/s12369-020-00687-0.
- [57] Ahmad Lotfi, Caroline Langensiepen und Salisu Yahaya. „Socially Assistive Robotics: Robot Exercise Trainer for Older Adults“. In: *Technologies* 6.1 (2018), S. 32. DOI: 10.3390/technologies6010032.
- [58] Alexander Hong u. a. „A Multimodal Emotional Human-Robot Interaction Architecture for Social Robots Engaged in Bidirectional Communication“. In: *IEEE transactions on cybernetics* 51.12 (2021), S. 5954–5968. DOI: 10.1109/TCYB.2020.2974688.
- [59] Micol Spitale und Hatice Gunes. *Affective Robotics For Wellbeing: A Scoping Review*. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2304.01902.
- [60] Zhen-Tao Liu u. a. „A multimodal emotional communication based humans-robots interaction system“. In: *2016 35th Chinese Control Conference (CCC)*. IEEE, 2016, S. 6363–6368. ISBN: 978-9-8815-6391-0. DOI: 10.1109/ChiCC.2016.7554357.
- [61] Alejandro Martín u. a. „A Framework for User Adaptation and Profiling for Social Robotics in Rehabilitation“. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20.17 (2020). DOI: 10.3390/s20174792.
- [62] José Carlos González Dorado u. a. „Planning, Execution and Monitoring of Physical Rehabilitation Therapies with a Robotic Architecture“. In: *Studies in health technology and informatics* 210 (2015). DOI: 10.3233/978-1-61499-512-8-339.
- [63] Jonathan Casas u. a. „Architecture for a Social Assistive Robot in Cardiac Rehabilitation“. In: *2018 IEEE 2nd Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA)*. IEEE, 2018, S. 1–6. ISBN: 978-1-5386-8464-1. DOI: 10.1109/CCRA.2018.8588133.
- [64] Ross Mead u. a. „An architecture for rehabilitation task practice in socially assistive human-robot interaction“. In: *IEEE RO-MAN, 2010*. Piscataway, NJ: IEEE, 2010, S. 404–409. ISBN: 978-1-4244-7991-7. DOI: 10.1109/ROMAN.2010.5598666.
- [65] Juan Fasola und Maja J. Mataric. „Robot exercise instructor: A socially assistive robot system to monitor and encourage physical exercise for the elderly“. In: *IEEE RO-MAN, 2010*. Piscataway, NJ: IEEE, 2010, S. 416–421. ISBN: 978-1-4244-7991-7. DOI: 10.1109/ROMAN.2010.5598658.
- [66] Roger A Light. „Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol“. In: *The Journal of Open Source Software* 2.13 (2017), S. 265. DOI: 10.21105/joss.00265.
- [67] Jungong Han u. a. „Enhanced computer vision with Microsoft Kinect sensor: a review“. In: *IEEE transactions on cybernetics* 43.5 (2013), S. 1318–1334. DOI: 10.1109/TCYB.2013.2265378.
- [68] Softbank Robotics. *Pepper Developer Guide - Technical Overview - Dimensions: Dimensions / SoftBank Robotics Developer Center*. 2022. URL: <https://developer.softbankrobotics.com/pepper-naoqi-25/pepper-documentation/pepper-developer-guide/technical-overview/dimensions>.
- [69] Esther Ruf, Stephanie Lehmann und Sabina Misoch. „Motivating Older Adults to Exercise at Home: Suitability of a Humanoid Robot“. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2020, S. 113–120. ISBN: 978-989-758-420-6. DOI: 10.5220/0009341001130120.
- [70] Emanuele Antonioni u. a. „Autonomous and Remote Controlled Humanoid Robot for Fitness Training“. In: *Companion Publication of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*. Hrsg. von Khiet Truong u. a. New York, NY, USA: ACM, 10252020, S. 235–239. ISBN: 9781450380027. DOI: 10.1145/3395035.3425301.
- [71] Gergely Magyar u. a. „CoWoOZ — A cloud-based teleoperation platform for social robotics“. In: *2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*. IEEE, 2017, S. 000049–000054. ISBN: 978-1-5090-5655-2. DOI: 10.1109/SAMI.2017.7880361.

- [72] Hamza Mahdi u. a. „A survey on the design and evolution of social robots — Past, present and future“. In: *Robotics and Autonomous Systems* 156 (2022), S. 104193. ISSN: 0921-8890. DOI: 10.1016/j.robot.2022.104193.
- [73] Arkadiusz Gardecki und Michal Podpora. „Experience from the operation of the Pepper humanoid robots“. In: *2017 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*. IEEE, 2017, S. 1–6. ISBN: 978-1-5386-1528-7. DOI: 10.1109/paee.2017.8008994.
- [74] Softbank Robotics. *Pepper le robot humanoïde et programmable / SoftBank Robotics*. 2022. URL: <https://www.softbankrobotics.com/emea/de/pepper>.
- [75] Gantogoo Oyunbat. „User Interface Design of Humanoid Robot at Library: Case of Chemnitz University of Technology“. In: *Embedded Selforganising Systems* 9.3 (2022), S. 12–17.
- [76] Softbank Robotics. *Overview — Aldebaran 2.8.7.4 documentation: SoftBank Robotics documentation*. 2023. URL: <http://doc.aldebaran.com/2-8/index.html>.
- [77] Md Assad-Uz-Zaman u. a. „NAO robot for cooperative rehabilitation training“. In: *Journal of rehabilitation and assistive technologies engineering* 6 (2019), S. 2055668319862151. DOI: 10.1177/2055668319862151.
- [78] Hoang-Long Cao u. a. „A Survey on Behavior Control Architectures for Social Robots in Healthcare Interventions“. In: *International Journal of Humanoid Robotics* 14.04 (2017), S. 1750021. ISSN: 0219-8436. DOI: 10.1142/S0219843617500219.
- [79] „Personality-Based Adaptation of Robot Behaviour: Acceptability Results on Individuals with Cognitive Impairments“. In: *International Journal of Social Robotics* 16.1 (2024), S. 211–226. ISSN: 1875-4791. DOI: 10.1007/s12369-023-01074-1.
- [80] Nikhil Churamani u. a. *Continual Learning for Affective Robotics: A Proof of Concept for Wellbeing*. URL: <http://arxiv.org/pdf/2206.11354v2>.
- [81] Min Hun Lee u. a. „Design, development, and evaluation of an interactive personalized social robot to monitor and coach post-stroke rehabilitation exercises“. In: *User Modeling and User-Adapted Interaction* 33.2 (2023), S. 545–569. ISSN: 0924-1868. DOI: 10.1007/s11257-022-09348-5.
- [82] Min Hun Lee u. a. „Learning to assess the quality of stroke rehabilitation exercises“. In: *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*. Hrsg. von Wai-Tat Fu u. a. New York, NY, USA: ACM, 2019, S. 218–228. ISBN: 9781450362726. DOI: 10.1145/3301275.3302273.
- [83] Emmanuel Senft u. a. „Teaching robots social autonomy from in situ human guidance“. In: *Science robotics* 4.35 (2019). DOI: 10.1126/scirobotics.aat1186.
- [84] Hoang-Long Cao u. a. „Robot-Enhanced Therapy: Development and Validation of Supervised Autonomous Robotic System for Autism Spectrum Disorders Therapy“. In: *IEEE Robotics & Automation Magazine* 26.2 (2019), S. 49–58. ISSN: 1070-9932. DOI: 10.1109/MRA.2019.2904121.
- [85] Wolf Muellbacher. „Neuroplastizität“. In: *Klinische Neuropsychologie*. Hrsg. von Johann Lehrner u. a. Vienna: Springer-Verlag, 2006, S. 513–527. ISBN: 3-211-21336-8. DOI: 10.1007/3-211-32303-1{\\textunderscore}39.
- [86] F. Hamzei und S. Grieshammer. „Die Spiegelneuronen und ihre Rolle in der Neurorehabilitation“. In: *NeuroGeriatric* 2011.2 (2011), S. 51–54.
- [87] Thomas Platz. *Impairment-Oriented Training - Official Homepage*. 5/01/2019 20:22:05. URL: <http://www.iottraining.eu/aft.html>.
- [88] Thomas Platz und Martin Lotze. „Arm Ability Training (AAT) Promotes Dexterity Recovery After a Stroke—a Review of Its Design, Clinical Effectiveness, and the Neurobiology of the Actions“. In: *Frontiers in neurology* 9 (2018), S. 1082. ISSN: 1664-2295. DOI: 10.3389/fneur.2018.01082.
- [89] T. Platz u. a. „Motor learning after recovery from hemiparesis“. In: *Neuropsychologia* 32.10 (1994), S. 1209–1223. ISSN: 0028-3932. DOI: 10.1016/0028-3932(94)90103-1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7845561/>.
- [90] Thomas Platz. *Impairment-Oriented Training - Official Homepage*. 5/01/2019 20:22:05. URL: <http://www.iottraining.eu/aft.html>.
- [91] T. Platz u. a. „Arm ability training for stroke and traumatic brain injury patients with mild arm paresis: a single-blind, randomized, controlled trial“. In: *Archives of physical medicine and rehabilitation* 82.7 (2001), S. 961–968. ISSN: 0003-9993. DOI: 10.1053/apmr.2001.23982.

Literatur

- [92] Thomas Platz, Bernhard Elsner und Jan Mehrholz. „Arm basis training and arm ability training: two impairment-oriented exercise training techniques for improving arm function after stroke“. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews* 17.6 (2015), S. 666. DOI: 10.1002/14651858.CD011854.
- [93] Thomas Platz. *IOT - Impairment-oriented Training: Schädigungs-orientiertes Training ; Theorie und deutschsprachige Manuale für Therapie und Assessment ; Arm-BASIS-Training, Arm-Fähigkeits-Training, Fugl-Meyer-Test (Arm), TEMPA*. 1. Aufl. Baden-Baden: Dt. Wiss.-Verl., 2006. ISBN: 9783935176484. URL: http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2741018&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.
- [94] T. Platz u. a. „Impairment-oriented training or Bobath therapy for severe arm paresis after stroke: a single-blind, multicentre randomized controlled trial“. In: *Clinical rehabilitation* 19.7 (2005), S. 714–724. ISSN: 0269-2155. DOI: 10.1191/0269215505cr904oa.
- [95] Richard A. Schmidt. *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics Books, 1998. ISBN: 087322115X.
- [96] Darren S. J. Ting u. a. „Visual neglect following stroke: current concepts and future focus“. In: *Survey of ophthalmology* 56.2 (2011), S. 114–134. DOI: 10.1016/j.survophthal.2010.08.001.
- [97] G. R. Fink und W. Heide. „Räumlicher Neglect“. In: *Der Nervenarzt* 75.4 (2004), 389–408, quiz: 409–10. DOI: 10.1007/s00115-004-1698-3.
- [98] Georg Kerkhoff, Gilles Rode und Stephanie Clarke. „Treating Neurovisual Deficits and Spatial Neglect“. In: *Clinical Pathways in Stroke Rehabilitation*. Hrsg. von Thomas Platz. Bd. 28. Cham: Springer International Publishing, 2021, S. 191–217. ISBN: 978-3-030-58504-4. DOI: 10.1007/978-3-030-58505-1{\textunderscore}11{\#}DOI.
- [99] G. Kerkhoff und C. Marquardt. „EYEMOVE. Standardisierte Diagnostik und Therapie visueller Explorationsstörungen“. In: *Der Nervenarzt* 80.10 (2009), S. 1190, 1192–4, 1196–204. DOI: 10.1007/s00115-009-2811-4.
- [100] Fiona Rowe u. a. „Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment?“ In: *Age and ageing* 38.2 (2009), S. 188–193. DOI: 10.1093/ageing/afn230.
- [101] Susanne Trauzettel-Klosinski. „Current methods of visual rehabilitation“. In: *Deutsches Arzteblatt international* 108.51-52 (2011), S. 871–878. DOI: 10.3238/arztebl.2011.0871.
- [102] Violeta Dimova u. a. „Eine Therapiestudie zur Behandlung des visuellen Neglekts mittels Prismenadaptation“. In: *Zeitschrift für Neuropsychologie* 20.4 (2009), S. 271–284.
- [103] Gilles Rode u. a. „Bottom-up Effects of Sensory Conflict and Adaptation on Mental Imagery: Sensorimotor Grounds for High Level Cognition?“ In: *In: Mast, F., Jäncke, L. (eds) Spatial Processing in Navigation, Imagery and Perception*. 2007, S. 369–387.
- [104] H. O. Karnath. „Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation“. In: *Brain : a journal of neurology* 117 (Pt 5) (1994), S. 1001–1012.
- [105] Hans-Otto Karnath. „Neglect“. In: *Neuropsychologie*. Hrsg. von H.-O. Karnath & P. Thier. 2003, S. 217–230.
- [106] Georg Kerkhoff. „Modulation and rehabilitation of spatial neglect by sensory stimulation“. In: *Progress in brain research* 142 (2003), S. 257–271.
- [107] Verlag MedCom. *EyeMove: Erfassung und Training von visuellen Explorationsstörungen*. 2022. URL: <https://www.medicalcomputing.de/eyemove/>.
- [108] Anna Gorsler. „Neglect: Therapie von visuell-räumlichen Aufmerksamkeitsstörungen“. In: *Deutschen Hirnstiftung e.V.* (2022). URL: <https://hirnstiftung.org/2022/10/magazin-2-neglect/>.
- [109] G. Kerkhoff u. a. „Repetitive optokinetic stimulation induces lasting recovery from visual neglect“. In: *Restorative neurology and neuroscience* 24.4-6 (2006), S. 357–369.
- [110] Audrey Bowen u. a. „Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke“. In: *The Cochrane database of systematic reviews* 2013.7 (2013), S. CD003586.
- [111] Verity Longley u. a. „Non-pharmacological interventions for spatial neglect or inattention following stroke and other non-progressive brain injury“. In: *The Cochrane database of systematic reviews* 7.7 (2021), S. CD003586.
- [112] Georg Kerkhoff und Thomas Schenk. „Rehabilitation of neglect: an update“. In: *Neuropsychologia* 50.6 (2012), S. 1072–1079.

- [113] Karnath H.-O., Schenk T. et al. *Diagnostik und Therapie von Neglect und anderen Störungen der Raumkognition: Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie*. Hrsg. von Deutsche Gesellschaft für Neurologie. 2023.
- [114] Philipp Mayring. *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 13., überarbeitete Auflage. Weinheim und Basel: Beltz, 2022. ISBN: 9783407258991.
- [115] Udo Kuckartz. *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 3., überarbeitete Aufl. Grundlagentexte Methoden. Weinheim: Beltz, 2016. ISBN: 3779933446. URL: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1117809>.
- [116] Johnny Saldaña. *The coding manual for qualitative researchers*. Los Angeles: SAGE, 2009. ISBN: 978-1-84787-548-8.
- [117] Gerhard Fischer. „User Modeling in Human–Computer Interaction“. In: *User modeling and user-adapted interaction* 11.1/2 (2001), S. 65–86. ISSN: 0924-1868. DOI: 10.1023/A:1011145532042.
- [118] Manel Mezghani u. a. „A user profile modelling using social annotations“. In: *Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web*. Hrsg. von Alain Mille u. a. New York, NY, USA: ACM, 2012, S. 969–976. ISBN: 9781450312301. DOI: 10.1145/2187980.2188230.
- [119] Steve Calde, Kim Goodwin und Robert Reimann. „SHS Orcas“. In: *Case Studies of the CHI2002/AIGA Experience Design FORUM*. Hrsg. von Elizabeth Dykstra-Erickson. New York, NY, USA: ACM, 2002, S. 2–16. ISBN: 9781450373418. DOI: 10.1145/507752.507753.
- [120] Stefan Blomkvist. „Persona - an overview (Extract from the paper The User as a personality. Using Personas as a tool for design. Position paper for the course workshop ”Theoretical perspectives in Human-Computer Interaction” at IPLab, KTH, September 3, 2002)“. In: (2002).
- [121] Kerry-Louise Skillen u. a. „A user profile ontology based approach for assisting people with dementia in mobile environments“. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference* 2012 (2012), S. 6390–6393. DOI: 10.1109/embc.2012.6347456.
- [122] Kerry-Louise Skillen u. a. „Ontological user modelling and semantic rule-based reasoning for personalisation of Help-On-Demand services in pervasive environments“. In: *Future Generation Computer Systems* 34 (2014), S. 97–109. ISSN: 0167739X. DOI: 10.1016/j.future.2013.10.027.
- [123] Jane Billestrup u. a. „Persona Usage in Software Development: Advantages and Obstacles“. In: *Proceedings of ACHI 2014, The Seventh International Conference on Advances in Computer - Human Interactions*. Hrsg. von L. Miller. IARIA XPS Press, 2014. ISBN: 978-1-61208-325-4.
- [124] John Pruitt und Jonathan Grudin. „Personas“. In: *Proceedings of the 2003 conference on Designing for user experiences*. Hrsg. von Jonathan Arnowitz u. a. New York, NY, USA: ACM, 2003, S. 1–15. ISBN: 1581137281. DOI: 10.1145/997078.997089.
- [125] Trenton Schulz und Kristin Skeide Fuglerud. „Creating Personas with Disabilities“. In: *Computers helping people with special needs*. Hrsg. von Klaus Miesenberger. Bd. 7383. Lecture Notes in Computer Science. Berlin und Heidelberg: Springer, 2012, S. 145–152. ISBN: 978-3-642-31533-6. DOI: 10.1007/978-3-642-31534-3{\textunderscore}22.
- [126] T. Clemmensen. „Four approaches to user modelling—a qualitative research interview study of HCI professionals’ practice“. In: *Interacting with Computers* 16.4 (2004), S. 799–829. ISSN: 09535438. DOI: 10.1016/j.intcom.2004.04.009.
- [127] Addie Johnson und Niels Taatgen. „User modeling“. In: *Handbook of human factors in web design*. 2005, S. 424–438.
- [128] George Alexander Kelly. *Clinical diagnosis and psychotherapy*. Reprinted. Bd. / George A. Kelly ; Vol. 2. The psychology of personal constructs. London: Routledge, 2001. ISBN: 978-0415037983.
- [129] Xiangmin Zhang und Hui Han. „An empirical testing of user stereotypes of information retrieval systems“. In: *Information Processing & Management* 41.3 (2005), S. 651–664. ISSN: 03064573. DOI: 10.1016/j.ipm.2004.01.005.
- [130] Alexandru Bunea und Peter Forbrig. „Patient and therapist model attributes for social robot stroke therapies based on implicit knowledge from expert interviews: Accepted“. In: *Smart Innovation, Systems and Technologies* (2022).

Literatur

- [131] Katie Winkle u. a. „Social Robots for Engagement in Rehabilitative Therapies“. In: *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Hrsg. von Takayuki Kanda u. a. New York, NY, USA: ACM, 2262018, S. 289–297. ISBN: 9781450349536. DOI: 10.1145/3171221.3171273.
- [132] Zelai Sáenz-de-Urturi und Olga C. Santos. „User Modelling in Exergames for Frail Older Adults“. In: *Adjunct Publication of the 26th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*. Hrsg. von Tanja Mitrovic u. a. New York, NY, USA: ACM, 7022018, S. 83–86. ISBN: 9781450357845. DOI: 10.1145/3213586.3226199.
- [133] Steven J. Ackerman und Mark J. Hilsenroth. „A review of therapist characteristics and techniques positively impacting the therapeutic alliance“. In: *Clinical Psychology Review* 23.1 (2003), S. 1–33. ISSN: 02727358. DOI: 10.1016/s0272-7358(02)00146-0.
- [134] Scott E. Kasner. „Clinical interpretation and use of stroke scales“. In: *The Lancet. Neurology* 5.7 (2006), S. 603–612. ISSN: 1474-4422. DOI: 10.1016/S1474-4422(06)70495-1.
- [135] K. Berger u. a. „Untersuchung zur Reliabilität von Schlanganfallsskalen. Die deutschen Versionen von NIHSS, ESS und Rankin Scale“. In: *Fortschritte der Neurologie-Psychiatrie* 67.2 (1999), S. 81–93. ISSN: 0720-4299. DOI: 10.1055/s-2007-993985.
- [136] Barbara Singer und Jimena Garcia-Vega. „The Fugl-Meyer Upper Extremity Scale“. In: *Journal of physiotherapy* 63.1 (2017), S. 53. DOI: 10.1016/j.jphys.2016.08.010.
- [137] V. Mathiowetz u. a. „Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity“. In: *The American journal of occupational therapy : official publication of the American Occupational Therapy Association* 39.6 (1985), S. 386–391. ISSN: 0272-9490. DOI: 10.5014/ajot.39.6.386.
- [138] A. Heller u. a. „Arm function after stroke: measurement and recovery over the first three months“. In: *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 50.6 (1987), S. 714–719. ISSN: 0022-3050. DOI: 10.1136/jnnp.50.6.714.
- [139] A. S. Zigmond und R. P. Snaith. „The hospital anxiety and depression scale“. In: *Acta psychiatrica Scandinavica* 67.6 (1983), S. 361–370. ISSN: 0001-690X. DOI: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x.
- [140] Manuela Fels und Edgar Geissner. *Neglect-Test (NET): ein Verfahren zur Erfassung visueller Neglectphänomene; Handanweisung; deutsche überarbeitete Adaption des Behavioural Inattention Test (Wilson, Cockburn & Halligan, 1987)*. Hogrefe, Verlag für Psychologie, 1997.
- [141] Jan Kool. „Assessment: Catherine Bergego Scale - Neglekt im Alltag beurteilen“. In: *ergopraxis* 5.07/08 (2012), S. 22–23. ISSN: 1439-2283. DOI: 10.1055/s-0032-1322781.
- [142] Carlos Leonardo Sacomani Marques u. a. „Validation of the Catherine Bergego Scale in patients with unilateral spatial neglect after stroke“. In: *Dementia & neuropsychologia* 13.1 (2019), S. 82–88. ISSN: 1980-5764. DOI: 10.1590/1980-57642018dn13-010009.
- [143] Elmar Kal u. a. „How physical therapists instruct patients with stroke: an observational study on attentional focus during gait rehabilitation after stroke“. In: *Disability and rehabilitation* 40.10 (2018), S. 1154–1165. DOI: 10.1080/09638288.2017.1290697.
- [144] Louise Johnson, Jane H. Burridge und Sara H. Demain. „Internal and external focus of attention during gait re-education: an observational study of physical therapist practice in stroke rehabilitation“. In: *Physical therapy* 93.7 (2013), S. 957–966. DOI: 10.2522/ptj.20120300.
- [145] Birgit I. Molier u. a. „Nature, timing, frequency and type of augmented feedback; does it influence motor relearning of the hemiparetic arm after stroke? A systematic review“. In: *Disability and rehabilitation* 32.22 (2010), S. 1799–1809. DOI: 10.3109/09638281003734359.
- [146] Kai Notté. *Wissensmanagement im Vertrieb*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013. ISBN: 978-3-658-02699-8. DOI: 10.1007/978-3-658-02700-1.
- [147] Sambamurthy und Subramani. „Special Issue on Information Technologies and Knowledge Management“. In: *MIS Quarterly* 29.1 (2005), S. 1. ISSN: 02767783. DOI: 10.2307/25148665.
- [148] Victor P. Cornet und Richard J. Holden. „Systematic review of smartphone-based passive sensing for health and wellbeing“. In: *Journal of biomedical informatics* 77 (2018), S. 120–132. DOI: 10.1016/j.jbi.2017.12.008.
- [149] Ikujiro Nonaka, Hirotaka Takeuchi und Friedrich Mader. *Die Organisation des Wissens: Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen*. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 1997. ISBN: 3593356430.

- [150] Thomas Platz, Ann Louise Pedersen und Stephanie Bobe. „Feasibility, coverage, and inter-rater reliability of the assessment of therapeutic interaction by a humanoid robot providing arm rehabilitation to stroke survivors using the instrument THER-I-ACT“. In: *Frontiers in robotics and AI* 10 (2023), S. 1091283. DOI: 10.3389/frobt.2023.1091283.
- [151] Michelle Lawton u. a. „Therapeutic Alliances in Stroke Rehabilitation: A Meta-Ethnography“. In: *Archives of physical medicine and rehabilitation* 97.11 (2016), S. 1979–1993. ISSN: 0003-9993. DOI: 10.1016/j.apmr.2016.03.031.
- [152] Adam O. Horvath u. a. „Alliance in individual psychotherapy“. In: *Psychotherapy (Chicago, Ill.)* 48.1 (2011), S. 9–16. DOI: 10.1037/a0022186.
- [153] D. J. Martin, J. P. Garske und M. K. Davis. „Relation of the therapeutic alliance with outcome and other variables: a meta-analytic review“. In: *Journal of consulting and clinical psychology* 68.3 (2000), S. 438–450. ISSN: 0022-006X.
- [154] Jonathan Green. „Annotation: the therapeutic alliance—a significant but neglected variable in child mental health treatment studies“. In: *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines* 47.5 (2006), S. 425–435. ISSN: 0021-9630. DOI: 10.1111/j.1469-7610.2005.01516.x.
- [155] Edward S. Bordin. „A Working Alliance Based Model of Supervision“. In: *The Counseling Psychologist* 11.1 (1983), S. 35–42. ISSN: 0011-0000. DOI: 10.1177/0011000083111007.
- [156] Mianmian Gu u. a. „The prevalence, risk factors, and prognostic value of anxiety and depression in refractory or relapsed acute myeloid leukemia patients of North China“. In: *Medicine* 98.50 (2019). ISSN: 0025-7974. DOI: 10.1097/MD.00000000000018196.
- [157] Richard A. Krueger und Mary Anne Casey. *Focus groups : a practical guide for applied research / Richard A. Krueger, Mary Anne Casey*. Fifth edition. Los Angeles: SAGE, 2014. ISBN: 9781483365237.
- [158] Evangelos Karapanos, Jean-Bernard Martens und Marc Hassenzahl. „Accounting for diversity in subjective judgments“. In: S. 639–648. DOI: 10.1145/1518701.1518801.
- [159] Kevin Daniels, Leslie de Chernatony und Gerry Johnson. „Validating A Method for Mapping Managers’ Mental Models of Competitive Industry Structures“. In: *Human Relations* 48.9 (1995), S. 975–991. ISSN: 0018-7267. DOI: 10.1177/001872679504800901.
- [160] Marc Hassenzahl und Rainer Wessler. „Capturing Design Space From a User Perspective: The Repertory Grid Technique Revisited“. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 12.3-4 (2000), S. 441–459. ISSN: 1044-7318. DOI: 10.1080/10447318.2000.9669070.
- [161] Dudley Mansbridge Yorke. „The repertory grid: a critical appraisal“. Dissertation. Dudley Mansbridge: University of Nottingham. URL: <https://eprints.nottingham.ac.uk/12181/> (besucht am 06.08.2025).
- [162] M. P. Bender. „Provided versus Elicited Constructs: an Explanation of Warr & Coffman’s (1970) Anomalous Finding“. In: *British Journal of Social and Clinical Psychology* 13.3 (1974), S. 329–330. ISSN: 0007-1293. DOI: 10.1111/j.2044-8260.1974.tb00125.x.
- [163] Keith Goffin, Fred Lemke und Ursula Koners. „Repertory grid technique“. In: *Essential Skills for Management Research*. 2002, S. 199–225.
- [164] Samsung Electronics GmbH. *Galaxy Tab S7 | S7+ | Samsung DE*. 2022. URL: <https://www.samsung.com/de/tablets/galaxy-tab-s7/buy/>.
- [165] ViewSonic Europe Ltd. *ViewSonic TD2760 27"-10-Punkt-Touchscreen-Monitor*. 2024. URL: <https://www.viewsonic.com/de/products/lcd/TD2760>.
- [166] Eva Blessing Onyeulo und Vaibhav Gandhi. „What Makes a Social Robot Good at Interacting with Humans?“ In: *Information* 11.1 (2020), S. 43. DOI: 10.3390/info11010043.
- [167] Samer Al Kork u. a. „Pepper Humanoid Robot as a Service Robot: a Customer Approach“. In: 2019.
- [168] Daniel Brand und Pitro Zafiropulo. „On Communicating Finite-State Machines“. In: *Journal of the ACM* 30.2 (1983), S. 323–342. ISSN: 0004-5411. DOI: 10.1145/322374.322380.
- [169] Ferdinand Wagner u. a. *Modeling software with finite state machines: A practical approach*. Estados Unidos: Auerbach Publications, 2006. ISBN: 9780849380860.
- [170] David Harel. „Statecharts: a visual formalism for complex systems“. In: *Science of Computer Programming* 8.3 (1987), S. 231–274. ISSN: 01676423. DOI: 10.1016/0167-6423(87)90035-9.

Literatur

- [171] Felipe Pezoa u. a. „Foundations of JSON Schema“. In: *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web, Montreal, Canada, May 11 - 15, 2016*. Hrsg. von Jacqueline Bourdeau. Geneva: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2016, S. 263–273. ISBN: 9781450341431. DOI: 10.1145/2872427.2883029.
- [172] Saurabh Zunke und Veronica D’Souza. „Json vs xml: A comparative performance analysis of data exchange formats“. In: *IJCSN International Journal of Computer Science and Network* 3.4 (2014), S. 257–261.
- [173] Alan Robertson. „Linux-HA Heartbeat System Design“. In: *Annual Linux Showcase & Conference*. 2000.
- [174] LF AI & Data Foundation. *RosaeNLG Documentation :: RosaeNLG // Docs*. 2025. URL: <https://rosaeNLG.org/rosaeNLG/3.4.0/index.html>.
- [175] Maja Matarić u. a. „Socially assistive robotics for stroke and mild TBI rehabilitation“. In: *Studies in health technology and informatics* 145 (2009), S. 249–262. DOI: 10.3233/978-1-60750-018-6-249.
- [176] Ronit Feingold-Polak u. a. „Differences between young and old users when interacting with a humanoid robot: a qualitative usability study“. In: *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics* 9.1 (2018), S. 183–192. DOI: 10.1515/pjbr-2018-0013.
- [177] Paulette M. van Vliet und Gabriele Wulf. „Extrinsic feedback for motor learning after stroke: what is the evidence?“ In: *Disability and rehabilitation* 28.13-14 (2006), S. 831–840. DOI: 10.1080/09638280500534937.
- [178] Brigitte Eller. *Usability Engineering in der Anwendungsentwicklung*. Wiesbaden: Gabler, 2009. ISBN: 978-3-8349-2114-7. DOI: 10.1007/978-3-8349-8459-3.
- [179] *Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung*. 2013. DOI: 10.14279/depositonce-4461.
- [180] Thomas Petermann und Constanze Scherz. „TA und (Technik-) Akzeptanz (-forschung)“. In: *TATuP-Journal for Technology Assessment in Theory and Practice* 14.3 (2005), S. 45–53.
- [181] Bernd Simon. „Wissensmedien im Bildungssektor. Eine Akzeptanzuntersuchung an Hochschulen“. Diss. Vienna University of Economics and Business, 2001. DOI: 10.57938/93acb55a-5611-4289-bdc6-c399b3b76d4e.
- [182] Fred D. Davis. „Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology“. In: *MIS Quarterly* 13.3 (1989), S. 319. ISSN: 02767783. DOI: 10.2307/249008.
- [183] Fred D. Davis, Richard P. Bagozzi und Paul R. Warshaw. „User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models“. In: *Management Science* 35.8 (1989), S. 982–1003. ISSN: 0025-1909. DOI: 10.1287/mnsc.35.8.982.
- [184] Icek Ajzen und Martin Fishbein. *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Pbk. ed. Princeton, NJ: Recording for Blind & Dyslexic, 1980. ISBN: 0-13-936435-8.
- [185] Marcel Heerink u. a. „Assessing Acceptance of Assistive Social Agent Technology by Older Adults: the Almere Model“. In: *International Journal of Social Robotics* 2.4 (2010), S. 361–375. ISSN: 1875-4791. DOI: 10.1007/s12369-010-0068-5.
- [186] Viswanath Venkatesh u. a. „User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View“. In: *MIS Quarterly* 27.3 (2003), S. 425. ISSN: 02767783. DOI: 10.2307/30036540.
- [187] Viswanath Venkatesh und Hillol Bala. „Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions“. In: *Decision Sciences* 39.2 (2008), S. 273–315. ISSN: 0011-7315. DOI: 10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x.
- [188] Heidrun Becker. „Robotik in der Gesundheitsversorgung: Hoffnungen, Befürchtungen und Akzeptanz aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer“. In: *Pflegroboter*. Hrsg. von Oliver Bendel. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 229–248. ISBN: 978-3-658-22697-8. DOI: 10.1007/978-3-658-22698-5{textunderscore}13.
- [189] Gary C. Moore und Izak Benbasat. „Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting an Information Technology Innovation“. In: *Information Systems Research* 2.3 (1991), S. 192–222. ISSN: 1047-7047. DOI: 10.1287/isre.2.3.192.
- [190] Christopher R. Plouffe, John S. Hulland und Mark Vandenbosch. „Research Report: Richness Versus Parsimony in Modeling Technology Adoption Decisions—Understanding Merchant Adoption of a Smart Card-Based Payment System“. In: *Information Systems Research* 12.2 (2001), S. 208–222. ISSN: 1047-7047. DOI: 10.1287/isre.12.2.208.9697.

- [191] Ronald L. Thompson, Christopher A. Higgins und Jane M. Howell. „Personal Computing: Toward a Conceptual Model of Utilization“. In: *MIS Quarterly* 15.1 (1991), S. 125. ISSN: 02767783. DOI: 10.2307/249443.
- [192] Bernadette Szajna. „Empirical Evaluation of the Revised Technology Acceptance Model“. In: *Management Science* 42.1 (1996), S. 85–92. ISSN: 0025-1909. DOI: 10.1287/mnsc.42.1.85.
- [193] Viswanath Venkatesh. „Determinants of Perceived Ease of Use: Integrating Control, Intrinsic Motivation, and Emotion into the Technology Acceptance Model“. In: *Information Systems Research* 11.4 (2000), S. 342–365. ISSN: 1047-7047. URL: <http://www.jstor.org/stable/23011042>.
- [194] Martina Peris und Markus Nüttgens. *Anwendung der Unified Theory of Acceptance and Use of Technology zur Akzeptanzbestimmung von Web 2.0-Anwendungen in KMU-Netzwerken*. Innsbruck, Austria: 6th Conference on Professional Knowledge Management: From Knowledge to Action, 2011. DOI: 800K.
- [195] Fred D. Davis, Richard P. Bagozzi und Paul R. Warshaw. „Extrinsic and Intrinsic Motivation to Use Computers in the Workplace1“. In: *Journal of Applied Social Psychology* 22.14 (1992), S. 1111–1132. ISSN: 0021-9029. DOI: 10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x.
- [196] Thomas Cheney. „An Acceptance Model for Useful and Fun Information Systems“. In: *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments* 2.2 (2006), S. 225–235. DOI: 10.17011/ht/urn.2006520.
- [197] Heshan Sun und Ping Zhang. „Causal Relationships between Perceived Enjoyment and Perceived Ease of Use: An Alternative Approach“. In: *Journal of the Association for Information Systems* 7.9 (2006), S. 618–645. DOI: 10.17705/1jais.00100.
- [198] van der Heijden. „User Acceptance of Hedonic Information Systems“. In: *MIS Quarterly* 28.4 (2004), S. 695. ISSN: 02767783. DOI: 10.2307/25148660.
- [199] Neziha Akalin, Annica Kristoffersson und Amy Loutfi. „The Influence of Feedback Type in Robot-Assisted Training“. In: *Multimodal Technologies and Interaction* 3.4 (2019), S. 67. DOI: 10.3390/mti3040067.
- [200] Marcel Heerink u. a. „Measuring the influence of social abilities on acceptance of an interface robot and a screen agent by elderly users“. In: *Electronic Workshops in Computing*. BCS Learning & Development, 2009. DOI: 10.14236/ewic/HCI2009.54.
- [201] Jeremy N. Bailenson u. a. „Equilibrium Theory Revisited: Mutual Gaze and Personal Space in Virtual Environments“. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 10 (2001), S. 583–598.
- [202] Jodi Forlizzi. „How robotic products become social products“. In: *Proceeding of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction - HRI '07*. Hrsg. von Cynthia Breazeal u. a. New York, New York, USA: ACM Press, 2007, S. 129. ISBN: 9781595936172. DOI: 10.1145/1228716.1228734.
- [203] Marcel Heerink u. a. „Studying the acceptance of a robotic agent by elderly users“. In: *International Journal of Modelling Identification and Control* 7 (2006), S. 33–43. DOI: JOUR.
- [204] Christoph Bartneck, Juliane Reichenbach und Albert van Breemen. *In Your Face, Robot! The Influence of a Character's Embodiment on How Users Perceive Its Emotional Expressions*. 2017. DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.5160769.
- [205] Boris de Ruyter u. a. „Assessing the effects of building social intelligence in a robotic interface for the home“. In: *Interacting with Computers* 17.5 (2005), S. 522–541. ISSN: 09535438. DOI: 10.1016/j.intcom.2005.03.003.
- [206] Ing-Long Wu und Jian-Liang Chen. „An extension of Trust and TAM model with TPB in the initial adoption of on-line tax: An empirical study“. In: *International Journal of Human-Computer Studies* 62.6 (2005), S. 784–808. ISSN: 10715819. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2005.03.003.
- [207] L. M. Camarinha-Matos und H. Afsarmanesh. „Design of a Virtual Community Infrastructure for Elderly Care“. In: *Collaborative Business Ecosystems and Virtual Enterprises*. Hrsg. von Luis M. Camarinha-Matos. Bd. 85. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Boston, MA: Springer US, 2002, S. 439–450. ISBN: 978-1-4757-4789-8. DOI: 10.1007/978-0-387-35585-6{\\textunderscore}47.
- [208] Richard W. Pew und Susan B. van Hemel, Hrsg. *Technology for Adaptive Aging*. Washington (DC), 2004. ISBN: 0309091160. DOI: 10.17226/10857.
- [209] ISO 9241-11:2018. *Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts*. 2018.

Literatur

- [210] Iroju Olaronke, Ojerinde Oluwaseun und Ikono Rhoda. „State Of The Art: A Study of Human-Robot Interaction in Healthcare“. In: *International Journal of Information Engineering and Electronic Business* 9.3 (2017), S. 43–55. ISSN: 20749023. DOI: 10.5815/ijieeb.2017.03.06.
- [211] Jakob Nielsen. *Usability engineering*. Cambridge, Mass.: AP Professional, 1993. ISBN: 9780080520292. URL: <https://learning.oreilly.com/library/view/-/9780125184069/?ar>.
- [212] Sung Heum Lee. „Usability Testing for Developing Effective Interactive Multimedia Software: Concepts, Dimensions, and Procedures“. In: *Journal of Educational Technology & Society* 2.2 (1999). ISSN: 11763647. URL: <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.2.2.4>.
- [213] Alexandru Umlauf und Peter Forbrig. „Evaluation of a social robot system for performance-oriented stroke therapy“. In: (2023).
- [214] Thomas Platz u. a. „Technology Acceptance and Usability of a Therapy System with a Humanoid Robot Serving as Therapeutic Assistant for Post-Stroke Arm and Neurovisual Rehabilitation—An Evaluation Based on Stroke Survivors’ Experience“. In: *Biomimetics* 10.5 (2025), S. 289. DOI: 10.3390/biomimetics10050289.
- [215] Maaïke van den Haak, Menno de Jong und Peter Jan Schellens. „Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: Testing the usability of an online library catalogue“. In: *Behaviour & Information Technology* 22.5 (2003), S. 339–351. ISSN: 0144-929X. DOI: 10.1080/0044929031000.
- [216] Klaus Backhaus, Bernd Erichson und Rolf Weiber. *Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN: 978-3-662-46086-3. DOI: 10.1007/978-3-662-46087-0.
- [217] Jose M. Cortina. „What is coefficient alpha? An examination of theory and applications“. In: *Journal of Applied Psychology* 78.1 (1993), S. 98–104. ISSN: 0021-9010. DOI: 10.1037/0021-9010.78.1.98.
- [218] Andy Field. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. 5th edition. SAGE edge. Los Angeles u. a.: SAGE, 2018. ISBN: 978-1526419514.
- [219] Michael Häder. *Empirische Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019. ISBN: 978-3-658-26985-2. DOI: 10.1007/978-3-658-26986-9.
- [220] Dieter Urban und Jochen Mayerl. „Erweiterte Regressionsanalyse“. In: *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung*. Hrsg. von Dieter Urban und Jochen Mayerl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2011, S. 275–322. ISBN: 978-3-531-17345-0. DOI: 10.1007/978-3-531-93114-2{textunderscore}5.
- [221] Huiping Wu und Shing-On Leung. „Can Likert Scales be Treated as Interval Scales?—A Simulation Study“. In: *Journal of Social Service Research* 43.4 (2017), S. 527–532. ISSN: 0148-8376. DOI: 10.1080/01488376.2017.1329775.
- [222] Harry Boone und Deborah Boone. „Analyzing Likert Data“. In: *Journal of Extension* 50.2 (2012). ISSN: 0022-0140. DOI: 10.34068/joe.50.02.48.
- [223] Simone Nertinger u. a. „Acceptance of Remote Assistive Robots with and without Human-in-the-Loop for Healthcare Applications“. In: *International Journal of Social Robotics* 16.6 (2024), S. 1131–1150. ISSN: 1875-4791. DOI: 10.1007/s12369-022-00931-9.
- [224] Chenhao Wei und Joseph Finkelstein. „Comparison of Alexa Voice and Audio Video Interfaces for Home-Based Physical Telerehabilitation“. In: *AMIA Joint Summits on Translational Science proceedings. AMIA Joint Summits on Translational Science 2022* (2022), S. 496–503.
- [225] Chancey Wilson. *Interview Techniques for UX Practitioners*. Elsevier, 2014. ISBN: 9780124103931. DOI: 10.1016/C2012-0-06209-6.
- [226] Jean-Pierre Michel und Fiona Ecarnot. „The shortage of skilled workers in Europe: its impact on geriatric medicine“. In: *European geriatric medicine* 11.3 (2020), S. 345–347. ISSN: 1878-7649. DOI: 10.1007/s41999-020-00323-0.
- [227] Nina Reynolds, Adamantios Diamantopoulos und Bodo Schlegelmilch. „Pre-Testing in Questionnaire Design: A Review of the Literature and Suggestions for Further Research“. In: *Market Research Society. Journal*. 35.2 (1993), S. 1–11. ISSN: 0025-3618. DOI: 10.1177/147078539303500202.
- [228] Prof. Sami Haddadin. *Robot Assistant GARMI*. 2021. URL: <https://geriatronics.mirmi.tum.de/en/garmi/>.
- [229] Elena Torta u. a. „Evaluation of a Small Socially-Assistive Humanoid Robot in Intelligent Homes for the Care of the Elderly“. In: *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 76.1 (2014), S. 57–71. ISSN: 0921-0296. DOI: 10.1007/s10846-013-0019-0.

- [230] Joanna Piasek und Katarzyna Wieczorowska-Tobis. „Acceptance and Long-Term Use of a Social Robot by Elderly Users in a Domestic Environment“. In: *2018 11th International Conference on Human System Interaction (HSI)*. IEEE, 2018, S. 478–482. ISBN: 978-1-5386-5024-0. DOI: 10.1109/HSI.2018.8431348.
- [231] Lutz Frölich u. a. „Leichte kognitive Beeinträchtigung (MCI) in der altersmedizinischen Praxis: Patientenorientierung, Diagnostik, Behandlung und Ethik“. In: *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 56.6 (2023), S. 492–497. DOI: 10.1007/s00391-022-02098-4.
- [232] PAL Robotics. *TIAGo - Mobile Manipulator Robot*. 15.10.2024. URL: <https://pal-robotics.com/robot/tiago/>.
- [233] Marcel Heerink. „Exploring the influence of age, gender, education and computer experience on robot acceptance by older adults“. In: *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction*. Hrsg. von Aude Billard. New York, NY: ACM, 2011, S. 147–148. ISBN: 9781450305617. DOI: 10.1145/1957656.1957704.
- [234] Laura Bishop u. a. „Social robots: The influence of human and robot characteristics on acceptance“. In: *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics* 10.1 (2019), S. 346–358. DOI: 10.1515/pjbr-2019-0028.
- [235] Kai Oliver Arras und Daniela Cerqui. „Do we want to share our lives and bodies with robots? A 2000 people survey“. In: *CTIT technical reports series* (2005). URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109472173>.
- [236] Stanislava Naneva u. a. „A Systematic Review of Attitudes, Anxiety, Acceptance, and Trust Towards Social Robots“. In: *International Journal of Social Robotics* 12.6 (2020), S. 1179–1201. ISSN: 1875-4791. DOI: 10.1007/s12369-020-00659-4.
- [237] J. Goetz, S. Kiesler und A. Powers. „Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation“. In: *The 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2003. Proceedings. ROMAN 2003*. IEEE, 2003, S. 55–60. ISBN: 0-7803-8136-X. DOI: 10.1109/ROMAN.2003.1251796.
- [238] Jonathan Waddington u. a. „Evaluation of Eyelander, a Video Game Designed to Engage Children and Young People with Homonymous Visual Field Loss in Compensatory Training“. In: *Journal of Visual Impairment & Blindness* 112.6 (2018), S. 717–730. ISSN: 0145-482X. DOI: 10.1177/0145482X1811200607.
- [239] Zhiqiang Luo u. a. „Gamification of Upper Limb Virtual Rehabilitation in Post Stroke Elderly Using SilverTune- A Multi-sensory Tactile Musical Assistive System“. In: 2021, S. 149–155. DOI: 10.1109/ICVR51878.2021.9483850.
- [240] Arash Sahraie, Nicola Smania und Josef Zihl. „Use of NeuroEyeCoach™ to Improve Eye Movement Efficacy in Patients with Homonymous Visual Field Loss“. In: *BioMed research international* 2016 (2016), S. 5186461. DOI: 10.1155/2016/5186461.
- [241] R. Kizony u. a. *A Short Feedback Questionnaire (SFQ) to enhance client-centered participation in virtual environments*. Canada: Gatineau, 2006.
- [242] Andreas Sonderegger, Sven Schmutz und Juergen Sauer. „The influence of age in usability testing“. In: *Applied ergonomics* 52 (2016), S. 291–300. DOI: 10.1016/j.apergo.2015.06.012.
- [243] Nergiz Turgut u. a. „Adaptive Cueing Treatment of Neglect in Stroke Patients Leads to Improvements in Activities of Daily Living: A Randomized Controlled, Crossover Trial“. In: *Neurorehabilitation and neural repair* 32.11 (2018), S. 988–998. DOI: 10.1177/1545968318807054.
- [244] Marij Middag-van Spanje u. a. „Alpha transcranial alternating current stimulation as add-on to neglect training: a randomized trial“. In: *Brain communications* 6.5 (2024), fcae287. DOI: 10.1093/braincomms/fcae287.
- [245] „Combined repetitive facilitative exercise under continuous neuromuscular electrical stimulation and task-oriented training for hemiplegic upper extremity during convalescent phase after stroke: before-and-after feasibility trial“. In: *Frontiers in neurology* 15 (2024), S. 1356732. ISSN: 1664-2295. DOI: 10.3389/fneur.2024.1356732.
- [246] J. Duncan und G. W. Humphreys. „Visual search and stimulus similarity“. In: *Psychological review* 96.3 (1989), S. 433–458. ISSN: 0033-295X. DOI: 10.1037/0033-295x.96.3.433.
- [247] John D. McCarthy und Phil Reed. „Pop-out effects revisited: Within-array category pop-out and novel pop-out effects with picture stimuli“. In: *PloS one* 19.10 (2024), e0310275. DOI: 10.1371/journal.pone.0310275.

Literatur

- [248] Jeremy M. Wolfe u. a. „Visual search for arbitrary objects in real scenes“. In: *Attention, perception & psychophysics* 73.6 (2011), S. 1650–1671. DOI: 10.3758/s13414-011-0153-3.
- [249] Julian Poschenrieder und Georg Kerkhoff. „Anti-Extinktions-Training: Eine neue Therapie der Visuellen Extinktion“. In: *Zeitschrift für Neuropsychologie* 35.4 (2024), S. 207–221.
- [250] „Virtual Reality and Eye-Tracking Assessment, and Treatment of Unilateral Spatial Neglect: Systematic Review and Future Prospects“. In: *Frontiers in psychology* 13 (2022), S. 787382. ISSN: 1664-1078. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.787382.
- [251] Lina Aimola u. a. „Efficacy and feasibility of home-based training for individuals with homonymous visual field defects“. In: *Neurorehabilitation and neural repair* 28.3 (2014), S. 207–218. DOI: 10.1177/1545968313503219.
- [252] M. J. McEwan u. a. „Quality of life and psychosocial development in adolescents with epilepsy: a qualitative investigation using focus group methods“. In: *Seizure* 13.1 (2004), S. 15–31. ISSN: 1059-1311. DOI: 10.1016/s1059-1311(03)00080-3.
- [253] Anne-Christine Rat u. a. „Content of quality-of-life instruments is affected by item-generation methods“. In: *International journal for quality in health care : journal of the International Society for Quality in Health Care* 19.6 (2007), S. 390–398. ISSN: 1353-4505. DOI: 10.1093/intqhc/mzm040.
- [254] Alexandru Bunea und Peter Forbrig. „User Models for Post-stroke Therapies and Consequences for the Interaction with a Humanoid Robot“. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 28.10.2021 - 29.10.2021, S. 283–290. ISBN: 978-989-758-538-8. DOI: 10.5220/0010722100003060.
- [255] Emmanuel Senft u. a. „Leveraging Human Inputs in Interactive Machine Learning for Human Robot Interaction“. In: *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Hrsg. von Bilge Mutlu u. a. New York, NY, USA: ACM, 2017, S. 281–282. ISBN: 9781450348850. DOI: 10.1145/3029798.3038385.
- [256] Gemeinsamer Bundesausschuss. *Wer wir sind - Gemeinsamer Bundesausschuss*. 5/16/2025. URL: <https://www.g-ba.de/ueber-den-gba/wer-wir-sind/>.