

RehaInteract – Entwicklung einer multimodalen Gangschule zur Aktivierung der unteren Extremitäten

Dr. Gerd Kock, Dr. Michael John, Benny Häusler
alle Fraunhofer FOKUS, Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin, gerhard.kock@fokus.fraunhofer.de

Anne Grohnert
Technische Universität Berlin, Einsteinufer 17, 10587 Berlin, anne.grohnert@tu-berlin.de

Jana Liebach, Mirko Wolschke, Andreas Smurawski
alle Reha-Zentrum Lübben, Postbautenstraße 50, 15907 Lübben, j.liebach@rehazentrum.com

Kurzfassung

Schwerstgeschädigte Patienten wie nach einem Schlaganfall oder einer Rückenmarksverletzung müssen meist grundlegende Bewegungen wie Gehen wieder neu erlernen. Um rehabilitative Maßnahmen auch nach dem Klinikaufenthalt attraktiv zu gestalten und dem Patienten eine zeit- und ortsunabhängige Versorgung anzubieten sowie Fernbetreuung durch den Therapeuten zu gewährleisten, wurde im Projekt RehaInteract eine Gangschule entwickelt, die in ein multimodales, interaktives Therapieumfeld integriert ist. Auf Basis von spezieller Sensorik und mit einem spielerischen Übungscharakter kann der Patient sein regelmäßiges Training auch im häuslichen Umfeld fortsetzen. Eine personalisierte Bewegungsanalyse sowie Feedbackmechanismen unterstützen den Rehabilitanden bei der Übungsausführung. Die zusammenfassende Darstellung der Übungsergebnisse ermöglicht dem Therapeuten das Training entsprechend anzupassen. In dem Konferenzbeitrag werden der entwickelte Prototyp sowie erste Ergebnisse des Anwendertests im Reha-Zentrum Lübben vorgestellt. Sie geben erste Hinweise über die Akzeptanz des RehaInteract-Systems.

Abstract

After severe injuries or diseases like stroke and spinal cord trauma patients need to train fundamental movements like walking. The project RehaInteract aims at providing attractive rehabilitation measures after hospitalization by developing a gait training that is integrated into a multimodal, interactive therapy environment. The telemedical system RehaInteract offers time and location independent opportunities for patients and ensures remote supervision by therapists and physicians. Combining special sensors and motivating gaming aspects the patient continues his therapy at home. A personalized motion analysis and real time feedback support the patient during training execution. A summary of the exercises results allow the physician to adapt the therapy plan accordingly. In this paper we describe the developed prototype of the gait training and first results of the recently conducted user tests at the Rehabilitation Centre in Lübben. The results provide first information on the acceptance of the RehaInteract-system.

1 Einleitung

In der Schlaganfall-Nachsorge oder bei Rückenmarksverletzungen nach einem schweren Unfall ist die rehabilitative Therapie nach Beendigung eines stationären Aufenthaltes noch lange nicht abgeschlossen [1]. Die Durchführung nachstationärer Trainings-Maßnahmen ist jedoch an entsprechende Einrichtungen gebunden, zu denen sich der Rehabilitand begeben muss. Insbesondere in ländlichen Gegenden ist für immobile und schwerstbetroffene Patienten der Zugang zu medizinischen Versorgung aufgrund langer Anfahrtswege mitunter schwierig [2]. Im Projekt RehaInteract wurde daher ein interaktiver und sensorbasierter Therapieraum entwickelt, der therapeutische Maßnahmen zur Aktivierung der unteren wie auch der oberen Extremitäten im häuslichen Umfeld eröffnet und somit eine Möglichkeit schafft, zeit- und ortsunabhängig rehabilitative Therapiemaßnahmen zur Verfügung zu stellen.

Im Laufe des Rehabilitationsprozesses nutzt der Patient das System zunächst in der Klinik, bevor er die Therapieumgebung in der nachstationären Behandlungsphase als neuartigen Therapieraum in sein häusliches Umfeld integriert. Kliniken bietet das Projekt einen neuartigen Ansatz, um ihre bestehenden Therapieräume mit vernetzten und interaktiven Therapieobjekten und -geräten aufzuwerten und den Patienten bereits im stationären Behandlungsalltag eine attraktive und motivierende Form der Rehabilitation zu ermöglichen. Die betreuenden Therapeuten können mit dem System auch im Anschluss an die stationäre Behandlung den Kontakt zu Patienten aufrechterhalten und individuell über räumliche Entfernungen hinweg zusätzliche Betreuungsdienstleistungen anbieten

2 Projektziele

Ziel von RehaInteract ist die Integration multimodaler Sensorsysteme und Feedbackmechanismen in therapeutische Heil- und Hilfsmittel, um stark in ihrem Bewegungsradius eingeschränkten Menschen ein motivationales Umfeld für das tägliche Bewegungstraining zu schaffen. Das Projekt trägt dazu bei, die nachstationäre Versorgung im häuslichen Umfeld mit Hilfe einer Fernbetreuung durch Therapeuten zu verbessern, indem die Ausführung von Bewegungsübungen im häuslichen Umfeld mittels innovativer Informations- und Kommunikationstechnik, Sensorik und Motivationsmethodik so unterstützt wird, dass ein nachhaltiger, medizinischen Kriterien genügender Übungserfolg gewährleistet wird. Zur Erreichung dieses Ziels wurde ein Verbundprojekt durchgeführt, in dem medizinische Expertise (Reha-Zentrum Lübben), interdisziplinäre, anwendungsnahe IKT-Forschungskompetenz (Fraunhofer FOKUS), Entwicklungs- und Produktionserfahrung bezüglich Sensorik (Xybermind GmbH), langjährige Erfahrung in der Umsetzung in 2- und 3-dimensionalen Multimediaanwendungen auf Basis komplexer User-Interfaces (Nuromedia GmbH) sowie Grundlagenwissen im Bereich medizinischer Sensornetze (TU Berlin) zusammen kamen.

RehaInteract kombiniert körpernahe und optische Sensorsysteme zur Messung und Bewertung therapierelevanter Bewegungsabläufe. Die Analyse der Bewegungen basiert auf Druck-, Lage- und Beschleunigungssensorik, die in einer Sohle und einem Wandschienenensystem integriert sind. Die optische Sensorik dient der verfeinerten Auswertung der Körperhaltung und trägt dazu bei, fehlerhafte Bewegungsausführungen zu vermeiden. Eine einfach zu bedienende Benutzeroberfläche motiviert den Rehabilitanden individualisiertes Training in spielerischer Form durchzuführen. Durch Feedback-Mechanismen wird der Patient in Echtzeit angeleitet gegebenenfalls sofortige Korrekturen einer Bewegung vorzunehmen. Für die Aktivierung der unteren Extremitäten wurde in dem Projekt prototypisch eine Gangschule entwickelt, die es erlaubt, anhand von individuell einstellbaren, medizinisch validen Übungsparametern wie z. B. Schrittlänge ein personalisiertes Training durchzuführen. Das entwickelte System basiert auf kostengünstigen Technologiekomponenten, die sowohl in der Klinik wie auch im häuslichen Umfeld eingesetzt werden können.

3 Therapiekonzept zur Aktivierung der unteren Extremitäten

Für den Übungskatalog wurden insgesamt 12 Übungen zur Kräftigung und Stabilisierung erstellt, die sowohl für die oberen wie auch unteren Extremitäten therapeutisch wirksam sind. Die Gangschule umfasst derzeit 8 Übungen zur Aktivierung der unteren Extremitäten. Es werden Rumpfaktivität und -stabilität sowie einzelne Aktivitäten

der Unter- und Oberschenkel und das Abrollverhalten der Füße berücksichtigt.

Folgende Übungen sind Bestandteil des Übungskataloges.

- Ausfallschritt in U-Halte
- Hockstreckballenstand (Ballenstand)
- Fußgymnastik (Stand/Sitz)
- Beinschwung
- Der Dreizack
- Der Steiger
- Der Bein Ab-Adduktor
- Der Dreizack Mobile
- Beinpendel an der Wollie-Action
- Vorwärts-/Rückwärtsgehen - Gangschule
- Seitwärtsgehen
- Kniehub an der Wollie-Action

Für den Patienten und Therapeuten sind Informationen über Fußstellung, Beinachse, Schrittlänge, Bewegungsausmaß, Gelenkstabilität und Gewichtsverlagerung wichtig. Um die Motivation der Patienten zu steigern, finden diese Übungen in einer spielerischen Umgebung statt.

Bei den Übungen für die unteren Extremitäten wird das Hauptaugenmerk auf starke Einschränkungen im Gangverhalten gelegt. Hierfür wurden folgende Übungen konzipiert: der Ausfallschritt, Beinschwung, Bein Ab-Adduktor, Vorwärts-/Rückwärtsgehen, Seitwärtsgehen, der Kniehub, Hockstreckballenstand und die Fußgymnastik sind indikationsspezifisch speziell für die unteren Extremitäten ausgelegt. Über das Wandschienenensystem erfolgt eine Kontrolle der Stabilisierungshilfe durch die Hand indem ein Gleichgewicht von Druck und Zug gemessen werden kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Qualität der Bewegungsausführung. Um die Bewegungskontrolle zu gewährleisten, sind die Gelenkstellung, die Schrittlänge und die Position der Gelenke wichtige physiologische Parameter, die von dem RehaInteract-System erfasst und analysiert werden müssen.

Bei der Übung Vorwärts-/Rückwärtsgehen (siehe **Bild 1**) muss der Patient sich mit einer Hand an der Wollie-Action fixieren und beim Laufen möglichst wenig Druck oder Zug auf die Handschlaufe bringen. Er geht dann mit einer optimalen Abrollbewegung in einer gleichmäßigen Geschwindigkeit über die in der Benutzeroberfläche vorgegebenen Steine vorwärts. Wenn der Patient den Fluss überquert hat, geht er rückwärts an seinen Ausgangspunkt. Er muss dabei auf die vorgegebenen Steine achten und seine vorgegebene Schrittlänge halten.



Bild 1 Vorwärts-/Rückwärtsgehen „Fluß überqueren“

Beim Beinschwung steht der Patient seitlich am Schienensystem und fixiert seine Hand an der Wollie-Action. Er muss sein Körpergewicht auf ein Bein verlagern und versucht mit dem anderen Bein beim Auftauchen einer Blume vorn die Ferse aufzusetzen und mit der Ferse zu berühren. Beim Auftauchen einer Blume hinten, setzt er die Fußspitze auf und berührt die Blume mit dem Ballen. Dabei muss er darauf achten, dass die Hand in der Schlaufe so wenig wie möglich Druck oder Zug ausübt.

Beim Dreizack (siehe **Bild 2**) steht der Patient rückengerecht in leichter Grätschstellung mit Blick zum Schienensystem. Er fixiert beide Hände in den Schlaufen der Wollie-Action in Schulterhöhe und hält die Arme in U-Halte. Er versucht durch Druck oder Zug in den Handschlaufen den Drachenflieger durch die Ringe zu steuern. Hierdurch entsteht ein geschlossenes System (Füße, obere Extremitäten) das hilft, die Standfestigkeit zu verbessern und somit die unteren Extremitäten des Patienten zu kräftigen.

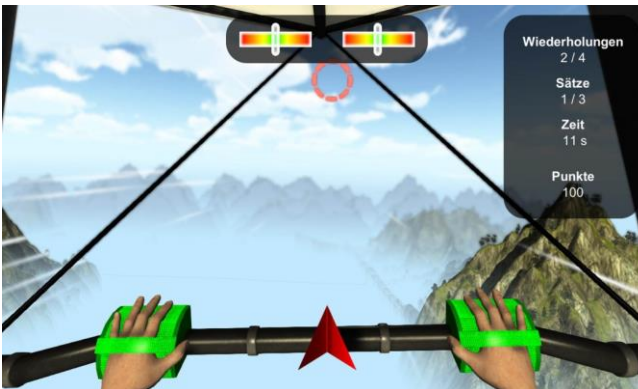


Bild 2 Isometrische Übung „Dreizack“

Bei einem regelmäßigen Training mit diesem System kann der Patient sein optimales Gangbild wiedererlangen und den Muskelstatus auf Grund der unterschiedlichsten muskulären Kontraktionsarten verbessern. Der motivationale Charakter dieses Systems soll dem Patienten ermöglichen, auch noch nach längeren Trainingsphasen mit Freude zu üben.

4 Prototyp einer häuslichen Gangschule

Das Gesamtsystem von RehaInteract besteht aus einer multimodalen, interaktiven Übungsumgebung für Patienten um das häusliche Training auszuführen und einer webbasierten Umgebung für Therapeuten, um die Fernbetreuung des Trainings zu gewährleisten [3]. Anhand der Sensordaten wird für alle Übungen erfasst, wie flüssig und sicher der Patient einzelne Schritte ausführt. Ebenso wird die Schrittweite gemessen und anhand der speziell entwickelten Übungen trainiert. Neben der Erfassung des Gangbildes ist die Erkennung möglicher Ausgleichsbewegungen aus therapeutischer Sicht wichtig. Die Hinweise im Programm erfolgen über Audio- und Texthinweise sowie über Feedbackmechanismen, die in die spielerische Übungsumgebung integriert wurden. Zur Interaktion steht sowohl den Patienten als auch den Therapeuten eine visuelle Benutzeroberfläche zur Verfügung.

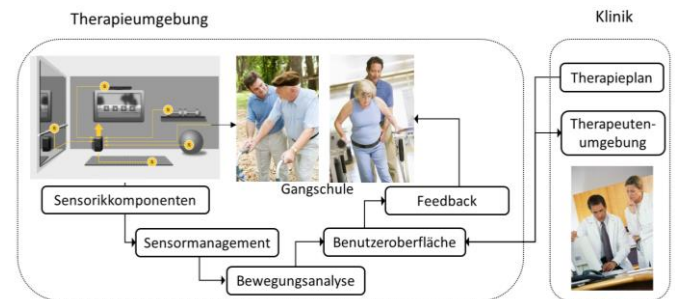


Bild 3 Überblick Systemarchitektur

Bild 3 stellt eine typische Kommunikation der einzelnen Systemkomponenten bei der Nutzung der RehaInteract-Anwendung vor. Der von den Therapeuten angelegte und im Verlauf der Therapie angepasste Trainingsplan eines Patienten wird über den vorhandenen Therapiesserver in die Übungsumgebung des Patienten übertragen, wodurch die Gangschule mit individuellen Trainingsparametern personalisiert wird. Die notwendige Sensorik wird durch das Sensormanagement integriert [4]. Während der Übungsdurchführung werden die erfassten Daten aus den unterschiedlichen Sensoren der Bewegungsanalyse zur Verfügung gestellt. Nach Auswertung der Daten in Echtzeit werden über verschiedene Feedbackmechanismen (visuell, akustisch) fehlerhafte Ausführungen zur sofortigen Korrektur dem Patienten mitgeteilt sowie nach Beendigung des Trainings die Ergebnisse in aufbereiteter Form in die Therapeutenumgebung übertragen, sodass medizinisches Fachpersonal Einsicht nehmen und gegebenenfalls den Therapieplan entsprechend adaptieren kann.

Übungsparameter der Gangschule setzen sich zusammen aus motorischen Fähigkeiten bestehend aus Gleichgewicht sowie Reaktion und gangspezifischen Eigenschaften wie der richtigen Abrollbewegung bei der Ausführung eines Schrittes und der Schrittweite. Zur Auswertung dieser

Kenngrößen werden in **Bild 4** drei Sensoriktypen dargestellt eingesetzt, die in der Gangschule eingesetzt werden.



Bild 4 Hardware-Komponenten KINECT, Schuh und sensorbestückte Sohle, Handsensor „Wollie-Action“ an Schiene

Der im Projekt entwickelte Handsensor, genannt „Wollie-Action“, wird an einem Wandschienen-system befestigt und kann neben Druck- auch Zugkraft messen. Der Rehabilitand führt den Wollie bei Übungsausführung mit sich und anhand der einwirkenden Kraft werden Aussagen über das Gleichgewicht des Patienten getroffen. Das Abrollverhalten der Füße wird auf Basis der Daten der Sensorsohlen ausgewertet. Dazu wurde der Fuß in die drei Bereiche (medial, lateral und Ferse) eingeteilt und die Sohle entsprechend mit Drucksensorik ausgestattet. Die 3D Bilddaten aus dem KINECT-Sensor werden genutzt, um Körperhaltung (z. B. Gleichgewichtsstörungen oder Instabilitäten im Oberkörper) und Schrittweite des Patienten zu analysieren.

5 Bewegungsanalyse und Nutzer-feedback

Die Arbeitsweise der Bewegungsanalyse wird bestimmt durch den in Bild 5 dargestellten endlichen Automaten. Dieser Automat wird von der Benutzeroberfläche gesteuert. Nach Auswahl einer Trainingseinheit durch den Rehabilitanden wechselt der Zustand der Bewegungsanalyse vom „idleState“ in den „loadExerciseState“. Der individuelle Trainingsplan wird gelesen und Übungen personalisiert. Im darauf folgenden Zustand „checkInitialPostureState“ wird überprüft, ob die für eine Übung definierte Ausgangsposition durch den Trainierenden eingenommen wurde (z.B. parallele Anordnung der Füße und gerade Körperhaltung im Kontext der Gangschule). Die Klassifizierung und Analyse einer Bewegung innerhalb einer Übung wird im Zustand „checkExerciseState“ durchgeführt und die daraus resultierenden Auswertungen als Trainingsergebnisse im „rateExerciseState“ zusammengefasst.

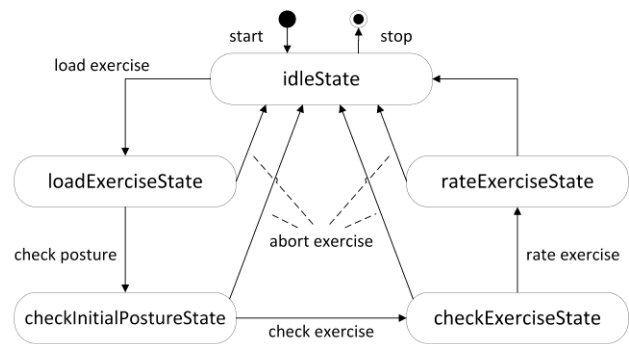


Bild 5 Die Bewegungsanalyse von RehaInteract

In den entsprechenden Zuständen der Bewegungsanalyse werden aktuelle Sensordaten im Abstand von 50 msec ausgewertet. Um die dynamische Entwicklung der Daten analysieren zu können und somit den aktuellen Bewegungsausschnitt in Abhängigkeit zur Vergangenheit zu klassifizieren, werden die durch die Kinect gemessenen Positionswerte in einem Puffer vorgehalten. Das Ergebnis einer Analyse – das vorliegende Ereignis und zugehörige ausführliche Informationen – werden der Benutzeroberfläche zur Darstellung und zur Feedbackgebung mitgeteilt.

Die Hauptaufgaben der Bewegungsanalyse lassen sich wie folgt beschreiben:

- (1) Sensorische Konfigurationen des Systems werden durch die Bewegungsanalyse ermittelt und mit dem Sensormangement ausgehandelt (verfügbare Sensoren, Konfiguration von Sensoren).
- (2) Die verschiedenen Sensordaten werden akkumuliert und qualitative Aussagen über die aktuellen (Bewegungs-)Vorgänge ermittelt (Vorwärts-/Rückwärtsschritt, Schrittweiten, Mittelwerte und Varianzen von Druckmessungen).
- (3) Die Bewegungen werden klassifiziert, die Qualität der Bewegungsausführung sowie die Sensordaten werden an die Benutzeroberfläche zur Feedbackgenerierung und zur geeigneten grafischen Darstellung übergeben (vgl. Darstellungen von Druck und Zug im Bild 1 auf einer Farbskala).

In der Gangschule wird der Handsensor Wollie-Action für den Benutzer durch ein Seil simuliert. Die Qualität einer Ausführung wird dem Rehabilitanden gleich einem Ampelsystem angezeigt. Wird das Gleichgewicht gehalten, bleibt das Seil grün eingefärbt. Zulässige Kräfteinwirkungen, definiert im personalisierten Trainingsplan, werden durch gelb dargestellt. Sind die Grenzen des erlaubten Drucks oder Zugs überschritten, wird das Seil rot koloriert. Schrittweiten werden durch die Abstände der Steine im Fluss dargestellt. Die Farbe des Steins sagt aus wie qualitativ entsprechend der Einstellungen im Trainingsplan ein Schritt ausgeübt wurde. Die Druckintensitäten der Fußbereiche werden durch Farbverläufe der visuellen Sohlenelemente angezeigt (vgl. Bild 1 links oben) und geben di-

rektes Feedback über die Abrollbewegung bei der Ausführung eines Schrittes. Begibt sich der Rehabilitand in eine ungesunde Körperhaltung, wird er zusätzlich mittels akustischem Signal darauf hingewiesen um verletzende Ausführungen zu vermeiden. Die Bewertungen der einzelnen Übungsparameter sowie die zusammengefasste Beschreibung der Bewegungsausführungen (z. B. Anzahl Schritte, Ausführungsdauer) werden dem behandelnden Therapeuten über die Therapeutenumgebung zur Verfügung gestellt, sodass eine zeit- und ortsunabhängige medizinische Betreuung gewährleistet wird.

5 Evaluation im Reha-Zentrum Lübben

Das Gesamtsystem RehaInteract wurde im November im Reha-Zentrum Lübben installiert und anschließend über einen Zeitraum von 3 Monaten evaluiert. Hierbei sollte in erster Linie die Nutzerakzeptanz und Praktikabilität der entwickelten Systemkomponenten Trainingsgerät, spielbasierte Nutzeroberfläche sowie die Qualität der Bewegungskorrektur der entwickelten multimodalen, sensorgestützten Gangschule untersucht werden. Dazu wurden bislang 28 Patienten der orthopädischen Rehabilitation des Reha-Zentrums Lübben als Probanden rekrutiert, die das System anschließend unter Aufsicht des medizinischen Personals testeten (siehe **Bild 6**).



Bild 6 Nutzer während einer Systemtestung

Die Datenerhebung erfolgte durch Fragebögen und Videoaufnahmen, die während der Systemtestung von jedem Probanden angefertigt wurden. Die Fragebögen wurden anschließend mittels des Statistik Programms SPSS ausgewertet, für die Auswertung der Videoaufnahmen wurde ein Categoriesystem entwickelt. Die getestete Stichprobe unterteilte sich in ca. 52% Männer und ca. 48% Frauen. Im Durchschnitt waren die Probanden ca. 42 Jahre alt, wobei die jüngste Probandin 16 Jahre alt war, die älteste 59. Folgende Skalen wurden zur Bewertung des Systems eingesetzt:

stimmt=1; stimmt überwiegend=2; weder/noch=3; stimmt weniger=4; stimmt nicht=5

sehr leicht=1; leicht=2; weder/noch=3; schwierig=4; sehr schwierig=5

Für die Akzeptanztestung wurde die entwickelte, multimodale Gangschule den Probanden zur Anwendung angeboten. Als Testaufgabe sollte eine Spielfigur mit Hilfe der Sensoren und der eigenen Bewegungen durch eine virtuelle Benutzeroberfläche gesteuert werden. Das Gleichgewicht konnte über in der Übungsumgebung dargestelltes ein Seil und Fußsohlen eigenständig von den Probanden kontrolliert werden. Es wurde untersucht, inwieweit diese beiden Feedbackmechanismen, „Seil“ und „Fußsohlen“, dabei halfen, das Gleichgewicht zu halten und die Gewichtsverteilung zu kontrollieren. Ebenso wurde abgefragt, inwieweit das therapeutische Ziel der Gangschule nachvollziehbar ist. Die Fragebogenauswertung ergab folgendes Bild:

Das therapeutische Ziel der Gangschule, die mit der sensorgestützten Technik und der interaktiven Übungsumgebung umgesetzt wurde, konnte von den Probanden überwiegend erkannt werden. Sie antworteten auf diese Frage im Durchschnitt mit *stimmt* (1,25; von *stimmt*=1 bis *stimmt nicht*=5).

Meine erreichte Leistung wurde mir plausibel präsentiert und ich konnte mit der Darstellung etwas anfangen. Darauf antworteten die Probanden im Schnitt mit *stimmt überwiegend* (1,7; von *stimmt*=1 bis *stimmt nicht*=5).

Das virtuelle Seil half mir dabei, meine Gewichtsverteilung permanent zu kontrollieren.

28 Probanden beantworteten diese Frage auf einer 5-stufigen Skala von *stimmt* (1) bis *stimmt nicht* (5) im Durchschnitt mit *stimmt überwiegend* (2,0). Ebenso 28 Probanden antworteten auf die Frage, *Die auf dem Bildschirm sichtbaren Füße nutzte ich, um meine Gewichtsverteilung permanent zu kontrollieren*, mit im Durchschnitt *weder/noch* (2,8; von *stimmt*=1 bis *stimmt nicht*=5).

Die Diskrepanz zwischen den beiden optischen Feedbackmechanismen „Seil“ und „Fußsohlen“ kann damit erklärt werden, dass es ohne Übungseffekte zunächst schwierig für den Anwender ist, sich auf beide Mechanismen gleichzeitig zu konzentrieren. Es kann erwartet werden, dass dieser Unterschied mit zunehmender Übung verschwindet. Das Auswerten der freien Antwortkategorien im eingesetzten Fragebogen ergab zudem Hinweise seitens der Probanden, wie die therapeutische Zielstellung besser erklärt und die Leistungsrückmeldung weiter verbessert werden könnten. Einige Probanden gaben zu Protokoll, dass vor dem Start der Übung ein Sprecher das therapeutische Ziel erklären könnte. Die Leistungsrückmeldung könnte durch farbige Balken ergänzt werden.

Die Auswertung der Gesamtbewertung von Trainingsgerät und interaktiver Trainingsumgebung ergab, dass die Probanden die technische Verwendung von Wandpads und Schuhen mit der verbauten Drucksensorik in den Einlegesohlen von *leicht* (1,8) bis *weder/noch* (2,4) beurteilten (von *sehr leicht*=1 bis *sehr schwierig*=5). Diese Werte können verbessert werden, indem die Sensibilität vor allem der Wandpads weiter verbessert wird, sodass die ausgeübten Druck- und Zugbewegungen auf die Wandpads besser auf die Spielfigur übertragen werden. Auch aus den Videoanalysen geht hervor, dass die Bewegungen nicht immer auch Reaktionen in der Benutzeroberfläche zur Folge hatten (reale Steuerbefehle wurden nicht immer von der Technik erkannt und/oder an die Software weitergegeben). Dies erklärt auch, warum die Probanden die Frage danach, wie leicht sie es technisch fanden, die Spielziele unter Verwendung der Sensorik zu erreichen im Durchschnitt mit *weder/noch* (2,3; von *sehr leicht*=1 bis *sehr schwierig*=5) beurteilten.

Insgesamt kann aber festgehalten werden, dass das entwickelte Gesamtsystem auf Akzeptanz seitens der Nutzer gestoßen ist, die weiter verbessert werden kann, wenn die Hinweise ihren Weg in die technische Weiterentwicklung finden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die Entwicklungsarbeiten sowie die Funktionsweise der multimodalen Gangschule für die Aktivierung der unteren Extremitäten dargestellt. Hierfür wurde das Therapiekonzept mit den einzelnen Übungen erläutert sowie die zu analysierenden Bewegungsabläufe. Ebenso wurde der Programmablauf für die Ausführung einer Übung der Gangschule wiedergegeben und die einzelnen Verarbeitungsschritte der Bewegungsanalyse beschrieben, die zu der Feedbackgebung an den Nutzer führt. Abschließend wurden erste Ergebnisse aus den Akzeptanztestungen im Reha-Zentrum Lübben präsentiert.

Mit den Evaluationen konnte nachgewiesen werden, dass das System bei den Nutzern überwiegend auf Akzeptanz stößt. Einzelne Rückmeldungen der Nutzer bieten gute Hinweise, das Gesamtsystem in Folgeprojekten zu optimieren. Die Projektergebnisse sollen nach der vollständigen Auswertung der Anwendertests an Kostenträger übermittelt werden, mit dem langfristigen Ziel das entwickelte Programm in der Versorgungsstruktur des Gesundheitswesens zu verankern. Die Projektergebnisse sollen Anwendern auch über die Projektlaufzeit hinaus demonstriert werden. Hierfür werden die Projektpartner die entsprechenden Systemaufbauten vorhalten.

7 Literatur

- [1] Welsch, N.: *Leben ohne Tod? Forscher besiegen das Altern*. Berlin, Heidelberg: Springer Spectrum, 2015
- [2] Hamdi, O., Chalouf, M.A., Ouattara, D. & Krief, F.: *eHealth: Survey on research projects, comparative of telemonitoring architectures and main issues*. Elsevier: *Journal of Network and Computer Applications* 46, 2014, S. 100-112
- [3] Grohnert, A., Boelke, A., Haeusler, B., Irmscher, B., John, M., Kliem, A., Kock, G., Piesk, J., Polak, M.: *RehaInterAct - Der sensorbasierte Therapieraum der Zukunft*. De Gruyter Oldenbourg: *Mensch und Computer 2015-Workshopband*. 2015, S. 595-604
- [4] Kliem, A., Boelke, A., Grohnert, A., Traeder, N.: *Self-adaptive middleware for ubiquitous medical device integration*. *Natal: e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, 2014 IEEE 16th International Conference on. 2014, S. 298-304