

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wissenschaftlichen Grundlagen der Arbeit erläutert. Hierfür werden vier Bereiche behandelt.

Zunächst wird ein Überblick über das Forschungsfeld der Virtuellen Rehabilitation gegeben. Anhand einer Begriffsbestimmung, der Vorstellung einiger Beispiele, der Erläuterung wesentlicher Merkmale und einer Diskussion von Übersichtsarbeiten wird der aktuelle Stand der Forschung in diesem Feld deutlich gemacht. Zudem werden Therapiesysteme beschrieben, die einen ähnlichen Ansatz verfolgen, wie diese Arbeit.

Der zweite Bereich befasst sich mit den neurologischen Grundlagen des motorischen Lernens, der Schlaganfalltherapie und den kognitiven Prozessen bei der visuellen Wahrnehmung von Bewegungen. Hierfür wurde eine anwendungsorientierte Perspektive eingenommen und es werden nur solche Aspekte behandelt, die für die Gestaltung und Anwendung des Therapiesystems wesentlich erschienen.

Danach erfolgt eine Einführung in die Forschung zum Thema Präsenz in virtueller Realität. Diese betrachtet die Interaktionsprozesse mit Computertechnologie und untersucht die subjektiven Eindrücke, die aus der Auseinandersetzung mit dem Medium resultieren. Im Zentrum steht die Wahrnehmung virtueller Sinnesreize als nicht medienvermittelt, was zur Konstitution eines Gefühls der Anwesenheit in einer virtuellen Umgebung führen kann. Aus den vorgestellten Ergebnissen dieses Forschungsfeldes werden Hinweise gewonnen, welche für den Ansatz des motorischen Lernens durch visuelle Informationen bedeutsam sind. Diese Hinweise leiteten die Gestaltung des Therapiesystems.

Abschließend werden relevante Aspekte der Interaktionsgestaltung im Kontext virtueller Realität vorgestellt. Es werden psychologische Vorgänge der Wahrnehmung, sowie Theorien menschlichen Handelns

eingeführt, die für ein Verständnis der Interaktionsprozesse notwendig sind. Dann folgt eine Auseinandersetzung mit der als Gamification bezeichneten Integration von spielerischen Elementen in produktive Anwendungen. Abschließend wird die für diese Arbeit besonders wichtige Technik der Visualisierung vorgestellt.

2.1 Virtuelle Rehabilitation - Stand der Forschung

Therapeutische Übungen für die motorische Rehabilitation zeichnen sich durch häufige Repetition, hohe Intensität und Monotonie aus und TherapeutInnen ist bewusst, wie schwer es ist, die PatientInnen zur Mitarbeit zu motivieren [207, S. 233]. Macht man sich auf der anderen Seite ein Bild der heute verfügbaren bewegungsbasierten Computerspiele, dann wird schnell klar, dass hier vergleichbare Übungen durchgeführt werden, mit dem Unterschied, dass den BenutzerInnen diese Tätigkeit offenbar Spaß macht. Eine Übertragung der Prinzipien von Computerspielen auf das Gebiet der motorischen Rehabilitation erscheint vor diesem Hintergrund vielversprechend.

Seit dem ersten „International Workshop on Virtual Rehabilitation“ in Zürich, Schweiz im Jahr 2002 wird der Einsatz von virtueller Realität und Computerspielen zur Unterstützung von Physio- und Ergotherapie unter dem Stichwort *Virtuelle Rehabilitation* (engl. *Virtual Rehabilitation* oder *Virtual Reality Rehabilitation*) untersucht [26].

2.1.1 Begriffsbestimmung

Virtuelle Rehabilitation bezeichnet den Einsatz von virtueller Realität zum Zweck der Rehabilitation bestimmter Krankheitsbilder, insbesondere motorischer und kognitiver Defizite¹. Ein Teil der mit PatientInnen durchgeführten Therapie findet in der Interaktion mit der

¹Unter dem Begriff wird außerdem der Einsatz der Technologie für psychologische und soziale Störungen sowie für die Schmerztherapie untersucht. Der genannte Schwerpunkt kann aus den verfügbaren Forschungsarbeiten abgeleitet werden.

Technologie statt. Hierfür können unterschiedliche Varianten der virtuellen Realität (z.B. Computerspiele, Visualisierungen, Simulationen) sowie verschiedene Ein- und Ausgabegeräte (z.B. Motion-Tracking Hardware, Head-Mounted Displays, Bildschirme) eingesetzt werden.

Eine Klassifikation verschiedener Einsatzformen ist möglich über die zwei Dimensionen der virtuellen Umgebung und der Steuerung des Therapieablaufs durch die TherapeutInnen (siehe Abbildung 2.1 und vgl. [26]): Die virtuelle Umgebung kann im Sinne eines Computerspiels umfassend gestaltet sein und die volle Aufmerksamkeit der PatientInnen auf sich ziehen, oder sie kann nur bestimmte Aspekte einer ansonsten herkömmlich durchgeführten Therapie durch z.B. Visualisierung unterstützen. Gleichzeitig kann der Einsatz des Systems die ständige therapeutische Anleitung erfordern oder z.B. im Heimtraining durch die PatientInnen eigenständig erfolgen. Dabei sind Mischformen möglich. Beispielsweise kann ein System angeboten werden, das sowohl in der ambulanten Versorgung in einer Praxis unter Anleitung durchgeführt, als auch zu Hause für das Training zwischen den Terminen eingesetzt wird.

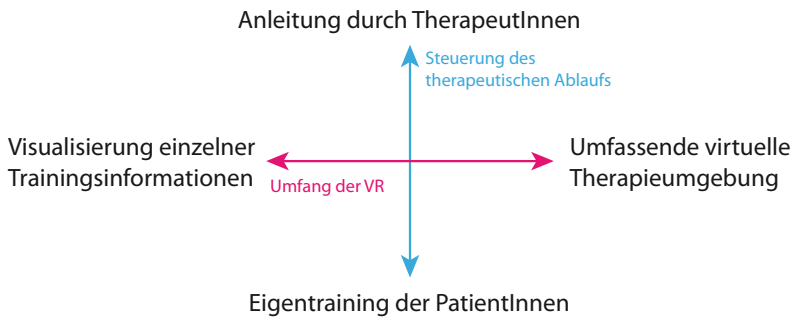


Abbildung 2.1: Spektrum der Einsatzformen Virtueller Rehabilitation.

Ein anderer Weg der Klassifikation bezieht sich auf die spezifische Zielgruppe und den zugrunde liegenden therapeutischen Ansatz der Systeme [26]. So gibt es beispielsweise Systeme für Schlaganfallpati-

entInnen, PatientInnen mit Parkinson, Kinder mit Zerebralparese² oder SchmerzpatientInnen (siehe Abschnitt 2.1.2). Diese trainieren bestimmte Muskelgruppen, unterstützen das motorische Lernen oder tragen zur Schmerzlinderung bei.

Die Virtuelle Rehabilitation fokussiert den therapeutischen Einsatz der Technologie und sie kann damit von allgemeinen Bewegungsspielen abgegrenzt werden. Letztere haben in den vergangenen Jahren durch die Einführung der Nintendo Wii Konsole und der Microsoft Kinect für die Xbox zunehmende Popularität erreicht. Die Verwendung solcher Spiele bspw. zur Bewegungsmotivation in Altersheimen wurde unter anderem durch die Wii-Bowling-Seniorenmeisterschaft bekannt gemacht [5] und heute finden sich Spielekonsolen in vielen Betreuungseinrichtungen und Kliniken wieder. Für den unspezifischen Einsatz der Technologie zur allgemeinen Bewegungsmotivation wurde der Begriff *Exergames* gefunden - eine Zusammensetzung aus den Worten Exercise und Videogames. Die Virtuelle Rehabilitation verfolgt demgegenüber konkretere Rehabilitationsziele.

In der Literatur haben sich weitere Begriffe etabliert, die ähnliche Ansätze beschreiben. Der Begriff *Cybertherapy* wird synonym verwendet, wobei hier jedoch der Einsatz der Technologie für die psychologische Rehabilitation im Vordergrund steht. Die *Telerehabilitation* bezeichnet die technologievermittelte Therapie bei räumlicher und/oder zeitlicher Distanz zwischen TherapeutIn und PatientIn. Die Bezeichnungen *Medical/Clinical Virtual Reality* werden als Oberbegriffe für den Einsatz der Technologie in klinischen Bereichen verwendet, was auch Schulungs- und Trainingszwecke umfasst, sowie die Unterstützung televermittelter Chirurgie.

Die Virtuelle Rehabilitation ist ein junges Forschungsfeld, das erst in den vergangenen zehn Jahren Bedeutung erhalten hat. Im Jahr 2009 wurde die „International Society for Virtual Rehabilitation“ [84] gegründet, um die Forschung in diesem Bereich zu stärken und Ergebnisse zu bündeln. Zwar gab es bereits in den 1990er Jahren Untersuchungen

²Die infantile Zerebralparese ist eine Bewegungsstörung, die in Folge einer Schädigung des zentralen Nervensystems in der frühen Kindheit auftritt [156, S. 2].

mit dem Ziel, motorische und kognitive Rehabilitation durch virtuelle Umgebungen zu unterstützen [211, 102], allerdings fehlte damals die zuverlässige und kostengünstige Hardware, um entsprechende Systeme in die praktische Anwendung zu bringen. Auch heute ist dies erst ansatzweise gelungen, denn trotz der mittlerweile beachtlichen Anzahl von Studien und entwickelten Systemen³ steht die Durchdringung des therapeutischen Alltags weiterhin aus.

2.1.2 Erläuterung anhand von Beispielen

Zur näheren Illustration des Forschungsfeldes werden in diesem Abschnitt einige Beispiele für Therapiesysteme von verschiedenen Arbeitsgruppen gegeben. Es werden drei Systeme näher erläutert, welche die motorische Rehabilitation der oberen Extremitäten und des Oberkörpers von neurologischen PatientInnen zum Ziel haben. Dieser Bereich ist für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung. Der Einsatz von virtuellen Realitäten wird jedoch auch mit anderen Zielgruppen untersucht. Vorab werden deshalb einige Verweise auf Arbeiten gegeben, welche Systeme für das Training der unteren Extremitäten, die kognitive Rehabilitation, die psychologische Therapie, die Behandlung von sozialen Störungen und die Schmerzlinderung vorstellen.

Für das Training der unteren Extremitäten sind häufig Trainingsgeräte wie Laufbänder oder Orthesen notwendig. Seit einigen Jahren sind diese Geräte zunehmend mit Sensoren und computergesteuerten Aktuatoren ausgestattet, weshalb ihr therapeutischer Einsatz auch als Roboter-assistierte Therapie bezeichnet wird. Mit Hilfe der Sensoren können virtuelle Umgebungen durch Gangbewegungen gesteuert werden, um der Eintönigkeit des Laufbandtrainings entgegen zu wirken. Dies wurde unter Verwendung des *Lokomat* Gangtrainers für SchlaganfallpatientInnen [131], ParkinsonpatientInnen [132] und Kinder mit neurologischen Störungen umgesetzt [23].

³Eine Suche in der Datenbank *pubmed* [140] ergab 675 Veröffentlichungen in medizinischen Fachzeitschriften, welche im Titel Kombinationen der Worte „virtual“, „VR“ oder „video/computer gam(e,es,ing)“ mit den Worten „rehabilitation“ oder „therapy“ bzw. die Begriffe „cybertherapy“ oder „telerehabilitation“ enthielten.

Die kognitive Rehabilitation hat das (Wieder-)Erlernen komplexer alltäglicher Aktivitäten, wie die Zubereitung von Mahlzeiten, die tägliche Hygiene oder die sichere Teilnahme am öffentlichen Leben zum Ziel. Die Verwendung virtueller Umgebungen ermöglicht das Training komplexer Aufgaben in einem geschützten Raum und mit anpassbarem Schwierigkeitsgrad. Es gibt unter anderem Systeme mit denen das sichere Überqueren einer Straße [91, 96], der Einkauf in einem Supermarkt [160] oder die Zubereitung eines heißen Getränks geübt wird [51].

Beispiele für den Einsatz in der Psychotherapie sind die „Virtual Iraq/Afghanistan“ Systeme [169]. Diese werden vom US-amerikanischen Militär für aus Kriegsregionen heimkehrende SoldatInnen angeboten, die unter einer posttraumatischen Belastungsstörung⁴ leiden. Der zentrale Ansatz hierbei ist die Konfrontation der PatientInnen mit der angstausslösenden Erinnerung bzw. Situation in einer geschützten, virtuellen Umgebung, deren Inhalte durch die TherapeutInnen gesteuert werden. Solche Umgebungen können auch für die Therapie von sozialen Angststörungen⁵ [97] und anderen Phobien [145] angewendet werden.

Virtuelle Umgebungen werden außerdem für die Linderung von Schmerzen bspw. bei der Wundbehandlung eingesetzt. Es wird eine verschneite Landschaft angezeigt, die Kälteempfinden hervorruft und dadurch von den Schmerzen des Verbandwechsels ablenkt [77].

Hand- und Fingertraining

Eine der frühesten Untersuchungen auf dem Gebiet der Virtuellen Rehabilitation befasste sich mit dem Hand- und Fingertraining von PatientInnen mit Hemiparese in der chronischen Phase⁶ nach einem

⁴Die posttraumatische Belastungsstörung ist eine Angststörung, die Menschen nach einer typischerweise lebensbedrohlichen Situation (bspw. interpersonelle Gewalt, Umweltkatastrophe, Unfall) entwickeln können. [225]

⁵Soziale Angststörungen sind durch die deutliche Angst vor oder Vermeidung von Situationen gekennzeichnet, in denen eine Person im Zentrum der Aufmerksamkeit einer Gruppe ihrer unbekannten Personen steht. [71, S. 10]

⁶Die Rehabilitation nach einem Schlaganfall wird grob in die drei Phasen akut, subakut und chronisch aufgeteilt (siehe Abschnitt 2.2.2).

Schlaganfall [85, 128]. Eine Arbeitsgruppe der Universitäten in New Jersey entwickelte ein computergestütztes und mobiles System, mit dem therapeutisches Training in hoher Intensität durchgeführt werden kann. Das System stellt den PatientInnen Übungsaufgaben, gibt Instruktionen und Rückmeldungen über den Fortschritt und zeichnet darüber hinaus quantifizierte Messwerte aus der Interaktion auf [128, S. 901]. Perspektivisch soll dieses System im Heimtraining eingesetzt werden können [128, S. 913].

Die entwickelte virtuelle Umgebung bietet vier verschiedene Übungsprogramme für spezifische Fingerbewegungen, die nach einem Schlaganfall trainiert werden müssen: das Beugemaß der Finger, die Geschwindigkeit des Faustschlusses, die Bewegung einzelner Finger unabhängig voneinander, sowie die Kraft der Fingerflexion ([16], siehe Abbildung 2.2 a-d). Die Interaktion mit der Umgebung geschieht bei den ersten drei Trainingsprogrammen mit dem Datenhandschuh *CyberGlove*, sowie bei den Kraftübungen mit dem eigens entwickelten Interaktionsgerät *Rutgers Master II-ND force-feedback glove*. Das System bietet einstellbare Programmabläufe an, in denen die vier Übungen nacheinander entsprechend der Fähigkeiten der PatientInnen durchgeführt werden. Dabei wird die individuelle Trainingsstufe automatisch berechnet [85, S. 311f].

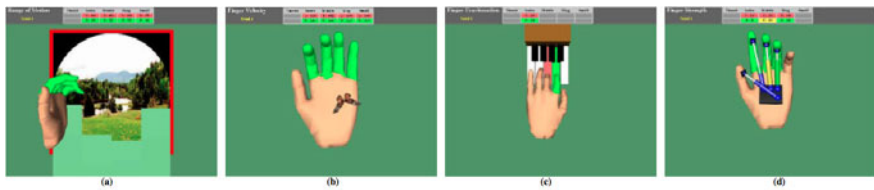


Abbildung 2.2: Vier Trainingsspiele des Therapiesystems der Arbeitsgruppe aus New Jersey. (Grafik aus [16])

Im Rahmen einer ersten Fallstudie erwies sich das System als einsetzbar und es zeichneten sich positive Effekte des Trainings ab [128]. Seither wurde das System weiter entwickelt [16] und weitere Untersuchungen bestätigten die positiven Ergebnisse [126]. Inzwischen sind

Nachfolger für SchlaganfallpatientInnen [127] und Kinder mit Zerebralparese [156] im Einsatz.

Training der oberen Extremitäten

Vergleichsweise häufig werden Systeme für das Training der oberen Extremitäten entwickelt. Ein Grund hierfür ist, dass die Interaktion mit virtuellen Umgebungen über Bewegungen der Arme oder Hände besonders umfassend erfolgen kann. Darüber hinaus können solche Systeme häufig für verschiedene PatientInnengruppen und unterschiedliche therapeutische Ansätze verwendet werden.

Ein Beispiel ist das *Interactive Computer-based Therapy System (iCTuS)*. Es wurde von einer Arbeitsgruppe der ETH Zürich entwickelt und unterstützt das motorische Lernen durch visuelle Informationen [55]. Die virtuelle Umgebung bietet drei verschiedene Trainingsspiele an ([155], siehe Abbildung 2.3). Für die Interaktion mit der virtuellen Umgebung werden eigens entwickelte Datenhandschuhe verwendet, die sowohl Fingerbewegungen, als auch mit Hilfe eines kamerabasierten Verfahrens die Positionen der Handgelenke aufzeichnen. Es werden virtuelle Arme angezeigt, die entsprechend der Bewegungen der PatientInnen animiert sind. Die Bewegungskopplung erfolgt auf verschiedene Weise: im Sinne einer direkten Übertragung der Bewegungsinformationen beider Körperseiten, durch die gespiegelte oder ungespiegelte Übertragung der Bewegung der gesunden Seite auf die betroffene Seite, oder durch eine variable Verstärkung der Bewegung auf der betroffenen Seite. Zusätzlich kann ausschließlich ein virtueller Arm auf der betroffenen Seite angezeigt werden, so dass alle Aufgaben in der virtuellen Umgebung mit dieser Seite durchgeführt werden müssen [55]. Während der Intervention werden durch das System Messdaten (Spielmetriken wie die Anzahl erfolgreich ausgeführter Aufgaben) aufgenommen, die für eine Beurteilung des Therapieerfolgs herangezogen werden können [55].

Das System wurde mit verschiedenen PatientInnengruppen getestet. PatientInnen mit Hemiparese nach einem Schlaganfall verwendeten eine frühe Version des Systems in einer Pilotstudie [55]. Es zeichne-

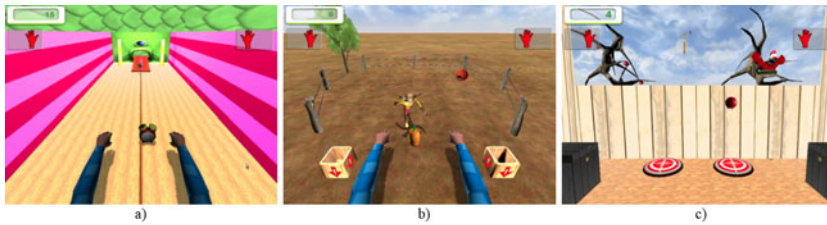


Abbildung 2.3: Drei Trainingsspiele des iCTuS/PITS Therapiesystems.
(Grafik aus [155])

ten sich positive Effekte ab. Anschließend verwendeten Kinder mit angeborenen oder erworbenen motorischen Defiziten das System (in diesem Falle wurde es *Pediatric Interactive Therapy System (PITS)* genannt) in einer weiteren Pilotstudie ebenfalls erfolgreich [155]. Eine Weiterentwicklung des Systems bietet eine spezielle Konfiguration der Monitore an, so dass die virtuelle Umgebung die Position der tatsächlichen Arme überlagert [54]. Außerdem wurde auf Grundlage des Systems eine Version entwickelt, bei welcher die Steuerung durch Beinbewegungen erfolgt (iCTuS Leg). Dieses wurde für PatientInnen mit Rückenmarksverletzungen erfolgreich eingesetzt [210].

Balance und Oberkörpertraining

Das Wiedererlangen von posturaler Kontrolle ist für PatientInnen mit einer neurologischen Schädigung eine wichtige Voraussetzung für das Training weiterer Aktivitäten wie Sitzen, Stehen und Gehen [78, S. 95]. Dabei stellt das Aufrechterhalten von Balance eine komplexe Interaktion mit der Umgebung dar, für welche die visuelle Orientierung entscheidend ist (ib.). Diese kann durch eine virtuelle Umgebung unterstützt werden.

Eine Arbeitsgruppe des Institute for Creative Technology der USC in Los Angeles, Kalifornien entwickelte das Therapiesystem *Jewel Mine* für PatientInnen nach einer Hirnverletzung [104]. Mit diesem System werden einfache Bewegungen des Oberkörpers und der oberen Extremitäten zum Zwecke des Balancetrainings durchgeführt. In

einer virtuellen Umgebung werden Diamanten angezeigt, welche die PatientInnen durch Berührung mit der Hand einsammeln (siehe Abbildung 2.4). Die erforderlichen Bewegungen sind so gewählt, dass der Massenmittelpunkt der PatientInnen bei der Ausführung leicht verschoben wird. Hierdurch kann die Stabilität und Orientierung im Raum bei gleichzeitiger Manipulation mit den oberen Extremitäten trainiert werden. Die Interaktion mit der virtuellen Umgebung erfolgt unter Verwendung des Microsoft Kinect Sensors sowie der OpenNI Treibersoftware⁷.

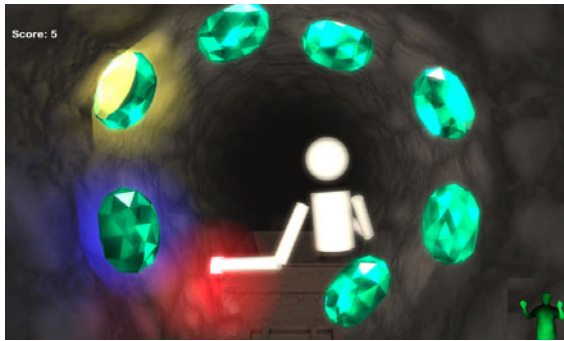


Abbildung 2.4: Das Therapiesystem Jewel Mine trainiert durch einfache Oberkörperbewegungen die Balance von PatientInnen mit neurologischen Schädigungen. (Grafik von <http://ict.usc.edu/prototypes/jewel-mine/>)

Zur Orientierung in der virtuellen Umgebung können zwei Darstellungsformen verwendet werden, die unterschiedliche Schwierigkeitsgrade darstellen. Entweder wird ein einfacher Avatar angezeigt, durch welchen die PatientInnen ihre Körperhaltung beurteilen können. Alternativ können nur an der Position der Hände Markierungen angezeigt werden, wodurch die PatientInnen ihre Körperhaltung allein auf Basis der propriozeptiven Empfindungen einschätzen müssen. Dies stellt eine wichtige Stufe des Balancetrainings bei der Therapie dar [104].

⁷Dieselbe technische Ausstattung wird in der vorliegenden Arbeit verwendet (siehe Abschnitt 3.2.2).

Abstrakte virtuelle Illusionen für die
Schlaganfalltherapie
Wie mit Hilfe virtueller Umgebungen motorisches Lernen
gefördert werden kann
Schüler, Th.
2015, XV, 326 S. 50 Abb., Softcover
ISBN: 978-3-658-10060-5