

Abstrakte virtuelle Umgebung für die Schlaganfalltherapie

Thomas Schüler

Institut für Informatik, Universität Osnabrück

Zusammenfassung

Virtuelle Umgebungen können Schlaganfallpatienten den Eindruck vermitteln, Bewegungen mit ihrer betroffenen Körperseite durchzuführen. Dadurch werden die geschädigten Hirnzentren stimuliert und das motorische Lernen wird begünstigt. Abstrakte Umgebungen binden dabei die Aufmerksamkeit des Nutzers und regen zu explorierendem Verhalten an. Sie bieten das Potential zur Entwicklung völlig neuer Therapieverfahren, die ohne die Technologie nicht möglich sind. Dieser Artikel erläutert die Hintergründe für einen entsprechenden, technisch gestützten therapeutischen Ansatz. Das Therapiesystem AVUS (Abstrakte virtuelle Umgebung für Schlaganfalltherapie) wird vorgestellt, welches in enger Rückkopplung mit Patienten und Therapeuten entwickelt wurde. In einer Pilotstudie wurde das System erstmals in der klinischen Anwendung überprüft. Die Ergebnisse der Studie unterstützen die Plausibilität des Ansatzes und weisen auf positive Effekte des Trainings bzgl. der Motivation der Patienten und deren subjektiven Einschätzung des Therapieerfolgs hin.

1 Einleitung

Der Schlaganfall ist weltweit eine der häufigsten Ursachen für Behinderungen im Erwachsenenalter. In Deutschland ereignen sich derzeit jährlich ca. 196.000 erstmalige Schlaganfälle und weitere ca. 66.000 wiederholte Schlaganfälle (Heuschmann et al. 2010). Durch die zu erwartende Alterung der Bevölkerung ist mit einer steigenden absoluten Zahl an Schlaganfallpatienten zu rechnen. Eine systematische Versorgung durch therapeutische Interventionen beeinflusst den Erfolg der Rehabilitation positiv (Langhorne et al. 2011). Vor diesem Hintergrund gewinnt die (Weiter-)Entwicklung effektiver Therapieverfahren an Dringlichkeit.

Ein wesentliches Ziel der Rehabilitation ist die Wiederherstellung motorischer Fähigkeiten. Neben einer guten klinischen Versorgung spielt hierfür die Motivation und die Einstellung der Patienten eine wichtige Rolle (Langhorne et al. 2011). Seit einigen Jahren wird der Einsatz von Virtueller Realität (VR) und Computerspielen zur Unterstützung von Physio- und Ergotherapie unter dem Stichwort „VR Rehabilitation“ (manchmal auch Cybertherapy, Tele-rehabilitation oder Exergaming) untersucht (Burdea 2003). Die positiven Effekte der Technologie für die Patientenmotivation sind gut dokumentiert und weitere Vorteile werden her-

ausgestellt (Lange et al. 2009). Für die motorische Rehabilitation nach einem Schlaganfall wurden verschiedene Systeme entwickelt und erfolgreich getestet (Laver et al. 2012).

Neben den motivationalen Aspekten und der Unterstützung herkömmlicher Therapie bietet der Einsatz von VR auch das Potential zur Entwicklung völlig neuer Therapieverfahren, die ohne die Technologie nicht möglich sind. Durch algorithmische Transformationen können bspw. visuelle Reize als Reaktion auf Bewegungen gezielt erzeugt werden. Seit einigen Jahren ist bekannt, dass visuelle Eindrücke in Verbindung mit motorischer Aktivität eine wesentliche Rolle für das motorische Lernen spielen (Wulf et al. 2011). Bei der Beobachtung von Bewegungen werden weitgehend dieselben Hirnregionen aktiviert, wie bei der tatsächlichen Durchführung derselben Bewegungen (Small et al. 2010). Mit Hilfe von VR und sensorbasierten Interaktionsgeräten können Bewegungsvisualisierungen beliebig gestaltet werden. So können variantenreiche Darstellungsformen zur Förderung des motorischen Lernens nach einem Schlaganfall angeboten und untersucht werden.

Dieser Artikel beschreibt die Hintergründe, die Umsetzung und die empirische Überprüfung eines entsprechenden technisch gestützten, therapeutischen Ansatzes. Ein Therapiesystem, welches Bewegungsvisualisierungen mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden anbietet, wird vorgestellt und erste Ergebnisse aus einer Pilotstudie werden diskutiert. Der nächste Abschnitt erläutert hierfür relevante Grundlagen des motorischen Lernens.

2 Motorisches Lernen durch visuelle Illusionen

Die kognitiven Prozesse, die an motorischen Aktionen beteiligt sind, können als ein „observation-execution-matching“-System beschrieben werden (Small et al. 2010). Ein Subjekt löst ein motorisches Kommando aus, mit dem Ziel, eine bestimmte Aktion durchzuführen. Dieses Kommando wird dann einerseits verwendet, um die entsprechenden Muskeln zu (de-)aktivieren und andererseits, um das Ergebnis der Aktion vorherzusagen. Die Vorhersage wird anschließend mit den tatsächlich resultierenden Sinneseindrücken abgeglichen und eventuelle Abweichungen werden in den folgenden motorischen Kommandos berücksichtigt. Diese Prozesse des Durchführens und Abgleichens von Bewegungen laufen weitgehend unbewusst und kleinschrittig in schneller Wiederholung ab.

Interessanterweise dominiert das visuelle System diese Prozesse. Zielgerichtete motorische Aktionen sind häufig visuell kontrolliert und die Sinneseindrücke des Auges werden für die subjektive Körperwahrnehmung stärker gewichtet, als Empfindungen, die über andere Sinne vermittelt werden (Lenggenhager et al. 2007). Eine wichtige Rolle spielen die sogenannten Spiegelneurone (Small et al. 2010). Diese sind vor allem in motorischen Hirnarealen zu finden und das Besondere an ihnen ist, dass sie sowohl bei der Durchführung als auch bei der Beobachtung und sogar bei der reinen Vorstellung von Bewegungen aktiv sind. Wenn visuelle Informationen den Eindruck einer Bewegungsausführung vermitteln, wird daher weitgehend dieselbe neurologische Aktivität ausgelöst, die auch bei der tatsächlichen Durchführung derselben Bewegung ausgelöst wird.

Die beschriebenen Eigenschaften des Gehirns werden für die motorische Rehabilitation nach einem Schlaganfall ausgenutzt. Durch visuelle Illusionen von Bewegungen können Fähigkeiten trainiert werden, zu denen die Patienten tatsächlich nicht in der Lage sind. Die Spiegeltherapie (Ramachandran & Altschuler 2009) ist ein Beispiel für diesen Ansatz. Hierbei wird ein Spiegel so auf der sagittalen Körperachse vor einem Patienten positioniert, dass das Spiegelbild der gesunden Körperseite die betroffene Extremität „überlagert“. Der Patient wird dann aufgefordert, die gesunde Extremität zu bewegen und dabei in den Spiegel zu schauen. Die Instruktionen sind weiterhin derart, dass synchrone Bewegungen mit beiden Extremitäten vorgestellt werden und die Patienten sich auf die Illusion einlassen. Gelingt diese Konzentrationsleistung bestätigt die visuelle Wahrnehmung die korrekte Ausführung einer motorischen Aktion und die entsprechende Bewegung wird trainiert. Die positiven Effekte der Spiegeltherapie für die motorische Rehabilitation nach einem Schlaganfall sind inzwischen belegt (Thieme et al. 2012).

Vergleichbare Illusionen von Bewegungen können auch durch VR hervorgerufen werden. Mit einem Therapiesystem für Schlaganfallpatienten wurde dies umgesetzt und überprüft (Eng et al. 2007). Das System zeigt virtuelle Arme aus einer Ego-Perspektive, die von den Patienten mit Hilfe eines eigens entwickelten Motion-Tracking-Geräts durch natürliche Bewegungen gesteuert werden. In der VR können die Aktionen der gesunden Seite dann für den betroffenen Arm gespiegelt werden, so dass beide Arme symmetrische Bewegungen zeigen. Die Patienten führen verschiedene Aufgaben aus, bspw. das Fangen von heranfliegenden Bällen. Andere Studien untersuchten die neurologische Reaktion bei der Interaktion mit solchen virtuellen Spiegelillusionen (Saleh et al. 2013; Dohle et al. 2011). Sie zeigten, dass hierbei tatsächlich Aktivität in motorischen Hirnzentren der betroffenen Seite ausgelöst wird.

3 Abstrakte Illusionen von Bewegungen

Die eben genannten VR-Systeme demonstrieren, dass mit virtuellen Abbildern von Armen Bewegungsimulationen hervorgerufen werden können, die mit solchen in einem Spiegel vergleichbar sind. Der vorliegende Artikel stellt darüber hinaus die Frage, ob durch den Einsatz der Technologie auch andere visuelle Effekte den Eindruck von Bewegung erzeugen und die Rehabilitation sogar zusätzlich fördern können. Algorithmische Transformationen können abstrakte Visualisierungen generieren, die motorische Aktionen der Patienten darstellen. Solche Darstellungsformen weisen einige Potentiale auf:

- Die zunächst unbekannten abstrakten Bewegungseffekte müssen von den Patienten durch selbstgesteuertes, explorierendes Verhalten gelernt werden, was für die motorische Rehabilitation als förderlich beschrieben wird (Wulf et al. 2011).
- Erzeugen die abstrakten Visualisierungen bei unterschiedlichen motorischen Fähigkeitsniveaus interessante, ästhetisch ansprechende Darstellungen, kann dies den Patienten ein Gefühl von Kompetenz und Autonomie vermitteln. Dies unterstützt die Motivation beim Training und kann die Rehabilitation positiv beeinflussen (Wulf et al. 2011).

- Als wesentliche Voraussetzung für die therapeutische Effektivität der Spiegelillusionen gilt ein Gefühl von Kontrolle über die visuellen Effekte (Dohle et al. 2011). Wird eine virtuelle Umgebung verwendet, muss diese auf die Bewegungen der Patienten erwartungsgemäß reagieren. Bei realistischen Darstellungsformen kann dies nur schwer umgesetzt werden, da es prinzipiell nicht möglich ist für alle Bewegungsintentionen, die Patienten in realistischen Welten entwickeln können, entsprechende Reaktionen des technischen Systems vorzusehen. Abstrakte Umgebungen machen demgegenüber einen eingeschränkten Handlungsraum von vornherein deutlich und die Erwartungen der Patienten sind auf die Erfahrungen mit dem System beschränkt. Ein Gefühl von Kontrolle wird sich in diesen Umgebungen daher leichter einstellen.
- Abstrakte Bewegungsvisualisierungen binden auf besondere Weise die Aufmerksamkeit der Patienten. Durch die ungewohnte und reduzierte Darstellung der motorischen Informationen wird die Konzentration auf die Illusion erleichtert. Die Möglichkeiten solcher außergewöhnlichen sensomotorischen Erfahrungen waren die ursprüngliche Triebfeder der VR-Forschung (Biocca et al. 1995).

Bislang ist jedoch unklar, ob abstrakte Bewegungsvisualisierungen im Rahmen des in Abschnitt 2 erläuterten „observation-execution-matching“-Systems gleichermaßen die Ausführung eines motorischen Kommandos bestätigen können. Erkenntnisse über die kognitiven Prozesse bei der Bewegungsvorstellung deuten auf die grundsätzliche Möglichkeit hin. Die neurologische Aktivität bei der mentalen Drehung von abstrakten geometrischen Objekten ist vergleichbar mit jener bei der Vorstellung einer entsprechenden Drehbewegung der eigenen Körperteile (Kosslyn et al. 2001). In beiden Fällen sind motorische Areale aktiv und dies wird auf die oben beschriebene Funktionsweise der Spiegelneurone zurückgeführt. Es wird angenommen, dass die Spiegelneurone auf ähnliche Weise auch bei der Beobachtung abstrakter Bewegungsvisualisierungen angesprochen werden.

Weitere Hinweise gibt die Forschung zum Präsenzgefühl in virtuellen Umgebungen. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass eine Person medienvermittelte Sinnesreize als real empfindet und die Rolle der technischen Geräte als Ursache der Reize übersieht (Lombard & Ditton 1997). Personen können dieses Gefühl auch in abstrakten virtuellen Umgebungen empfinden und die Exploration interessanter, ästhetisch ansprechender Darstellungsformen hat sogar eine präsenzfördernde Wirkung. Das Gefühl stellt sich jedoch nur ein, wenn die Person in der virtuellen Umgebung handeln und alle Intentionen in Aktionen übersetzen kann (Riva et al. 2010). Die virtuellen Effekte müssen als unmittelbare Folgen der eigenen Handlungen wahrgenommen werden. Dass dies in abstrakten Umgebungen möglich ist, deutet darauf hin, dass damit auch im therapeutischen Kontext Bewegungsillusionen erzeugt werden können.

4 Entwicklung des AVUS Therapiesystems

Ausgehend von den vorstehend beschriebenen theoretischen Überlegungen wurde eine Software für die Therapie mit Schlaganfallpatienten entwickelt. Die „Abstrakte virtuelle Umgebung für Schlaganfalltherapie“ (AVUS) verwendet abstrakte Visualisierungen, deren Formen

durch die Bewegungen des Oberkörpers kontinuierlich beeinflusst werden. Jede Bewegung resultiert in einem direkten visuellen Effekt. Zusätzlich wird atmosphärische Musik mit einem eindeutigen Rhythmus abgespielt, die über diesen und die Lautstärke ebenfalls in die Visualisierungen rückwirkt. Durch diese Integration von Sinnesreizen auf mehreren Kanälen kann das Präsenzgefühl der Patienten gestärkt werden (Lombard & Ditton 1997). Es wird eine Atmosphäre erzeugt, die zu explorierendem Verhalten und zu Bewegung anregt und die gleichzeitig die Konzentration auf die visuellen Effekte erleichtert.

Die Bewegungen der Patienten werden mit einem MS Kinect Sensor aufgezeichnet und mit dem OpenNI-SDK in eine Skelettstruktur überführt. Für die Verwendung im therapeutischen Rahmen werden zusätzliche Berechnungen (z.B. Spiegelung von Körperteilen, Winkelberechnungen, statistische Auswertung) in einer eigenen Bibliothek vorgenommen. Die Bewegungsinformationen werden unter Verwendung des Processing-Frameworks visualisiert.

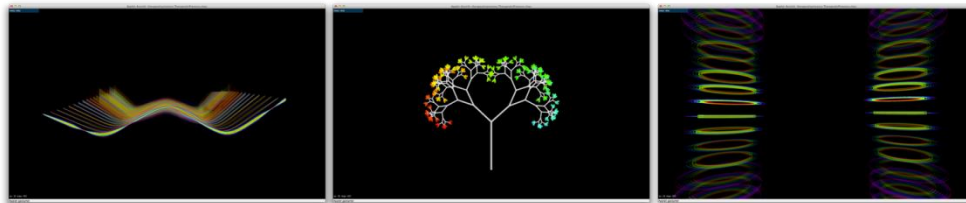


Abbildung 1: Visualisierungstypen im AVUS System: Waveform, Generative Tree und Ellipsoidal Visualisation (Aufnahmen des Autors)

Derzeit sind drei verschiedene Visualisierungstypen implementiert (siehe Abbildung 1). Diese stellen die Bewegungen der Patienten in einer abstrakten und reduzierten Weise dar. Die Waveform Visualisierung (WF) überträgt die mit Bezug zu den Schultern relative Position der Ellbogen und Handgelenke auf eine Wellenform, mit der gleichzeitig Samples der begleitenden Musik dargestellt werden. Die Generative Tree Visualisierung (GT) verwendet einen mathematischen Baumgraphen, in dessen rekursiven Algorithmus abwechselnd die Flexionswinkel des Schultergelenks bzw. des Ellbogengelenks für die Darstellung einfließen. Die Musik wirkt sich hier auf die Strichstärke der Äste und die relative Orientierung der Blätter des Baumes aus. Die Ellipsoidal Visualisierung (EL) stellt säulenförmige Strukturen dar, deren Position durch die Position der Hände bestimmt ist und deren Durchmesser und Orientierung im Raum mit den Flexionswinkeln der Gelenke variiert. Das Spektrogramm der Musik bestimmt die Strichstärke der verschiedenfarbigen Orbitlinien.

Die Visualisierungen weisen steigenden Abstraktionsgrad vom menschlichen Oberkörper auf. Dies ermöglicht einerseits eine weitergehende Untersuchung des Ansatzes hinsichtlich eines vertretbaren Abstraktionsniveaus und bietet darüber hinaus die Möglichkeit steigender kognitiver Anforderungen während der Therapie. Alle Varianten werden mit ca. 30fps berechnet und vermitteln den Eindruck kontinuierlicher Interaktion. Für jede Therapiesitzung können Einstellungen vorgenommen werden. Wesentlich ist die Möglichkeit des Wechsels zwischen zwei Modi, dem *veritablen Modus*, in dem die tatsächlichen Bewegungsdaten beider Körperseiten verwendet werden und dem *Spiegeltherapie Modus*, in dem die Bewegungsdaten der gesunden Seite für die betroffene Seite gespiegelt werden.

Die Softwareentwicklung erfolgte benutzerzentriert und es wurden Rückmeldungen von Patienten und Therapeuten zu frühen Prototypen in die aktuelle Version integriert. Diese Rückmeldungen bestätigten die Plausibilität des Ansatzes und deuteten positive Auswirkungen auf die Rehabilitation an. Es ergab sich ein vielversprechender Ablauf der Intervention, bei dem die Patienten die Reaktionen des Systems eigenständig explorieren und auf selbstbestimmte Weise aktive Bewegungen mit den oberen Extremitäten üben. Bzgl. der Visualisierungen wurde eine reduzierte Darstellung vor einem schwarzen Hintergrund angeraten, um die kognitive Verarbeitung für die Patienten zu erleichtern. In diesen frühen Tests wurde auf die Möglichkeit zur körperlichen Identifikation mit den Visualisierungen hingewiesen.

5 Empirische Überprüfung

Das vorgestellte Therapiesystem wurde im Rahmen einer Pilotstudie mit acht Schlaganfallpatienten in einem neurologischen Rehabilitationszentrum getestet. Das Ziel der Studie war es, erste Informationen über die klinische Anwendung der AVUS zu erheben.

5.1 Protokoll der klinischen Pilotstudie

Die Studie war als kontrollierte Fallserie angelegt und richtete sich an hemiparetische Patienten, die wenigstens minimale proximale Armfunktion auf der betroffenen Seite zeigten. Ausschlusskriterien grenzten die Gruppe zusätzlich ein (visuelle oder starke kognitive Einschränkungen, Demenz, Aphasie, Epilepsie). Die Teilnehmer wurden in zwei Gruppen randomisiert. Die Experimentalgruppe (EG, fünf Patienten) trainierte eine Woche lang täglich ca. 30 Minuten unter therapeutischer Aufsicht mit dem AVUS-System. Die Kontrollgruppe (KG, drei Patienten) führte für dieselbe Dauer unspezifische Bewegungsübungen zu Musik unter therapeutischer Aufsicht durch. Beide Interventionen wurden zusätzlich zum üblichen Therapieprogramm angeboten. Das Studienprotokoll entsprach den ethischen Konventionen der Helsinki-Deklaration der World-Medical Association (www.wma.net).

Die EG durchlief in den 30 Minuten der Intervention drei Phasen mit Entspannungspausen. Zu Beginn wurden zuvor aufgezeichnete Bewegungen abgespielt und visualisiert. Die Patienten betrachteten die Visualisierungen und sollten sich dabei mental vorstellen, die entsprechenden Bewegungen durchzuführen. Dies geschah zur Einstimmung auf die Therapie. Anschließend interagierten die Patienten für etwa fünf Minuten im veritablen Modus mit den Visualisierungen. Sie wurden instruiert, so gut wie möglich gleichmäßige Bewegungen mit beiden Armen zu versuchen und ihre Aufmerksamkeit ganz auf die virtuelle Umgebung zu lenken. In diesem Durchgang wurde der Zusammenhang zwischen Bewegungen und den visuellen Effekten erfahren. Bei gleichbleibenden Instruktionen interagierten die Patienten in der letzten Phase erneut etwa fünf Minuten im Spiegeltherapie Modus. Hierbei erzeugten sie symmetrische Effekte, wodurch ein Eindruck von gleichmäßiger Bewegung auf beiden Körperseiten entstand. Für die EG wurde motorisches Lernen funktionaler Bewegungen auf der betroffenen Seite, sowie gesteigerte Motivation zur Durchführung der Therapie erwartet.

Vor und nach der Studie wurden motorische Funktionstests durchgeführt (Fugl-Meyer-Test FMT-OE, (Duncan et al. 1983)). Außerdem schätzten der Patienten nach Abschluss der Studie ihren subjektiven Eindruck der Funktionsverbesserung auf einer farbigen Analogskala (FAS) ein. Innerhalb der EG wurde nach jeder Intervention das subjektiv erfahrene Präsenzgefühl mit dem iGroup Presence Questionnaire (IPQ, (Schubert et al. 2001)) erhoben. Im Rahmen von etwa 30-minütigen Leitfadeninterviews äußerten die Teilnehmer der EG außerdem ihre Erfahrungen mit dem Therapiesystem.

5.2 Ergebnisse

Die Studie wurde im Frühjahr 2013 durchgeführt. Die organisatorischen Abläufe waren erfolgreich und die technologische Installation erfolgte problemlos. Das AVUS Therapiesystem war im klinischen Kontext anwendbar. Alle Teilnehmer absolvierten das Programm vollständig. Die Daten einer Patientin aus der KG wurden jedoch von der Analyse ausgeschlossen, da diese Person im Laufe der Studienwoche stürzte und ihre Ergebnisse dadurch stark beeinflusst wurden. Abbildung 2 zeigt Eindrücke aus der Intervention mit der EG.



Abbildung 2: Eindrücke aus der Experimentalgruppen-Intervention mit dem AVUS Therapiesystem
(Aufnahmen des Autors)

	Experimentalgruppe					Kontrollgruppe	
Instrument	SC	RI	RE	HG	NE	KE	WE
Alter/Geschl.	51/w	72/m	50/m	75/m	68/m	55/m	85/m
Betr. Seite/onset	L/6Mo	R/3Mo	L/1Mo	R/3Mo	L/1Mo	R/7Mo	L/1Mo
FMT-OE	max: 66						
pre	13	10	15	49	29	42	17
Verbesserung	5(38%)	1(10%)	3(20%)	2(4%)	4(13%)	6(14%)	4(23%)
FAS	max: 10,0						
post	8,1	1,0	9,5	7,6	7,4	8,3	6,3
IPQ	max: 6,0						
Präsenz (Mittel)	5,5	0,6	5,5	4,5	1,6		
Interviews	AVUS Argumente gesamt: 141						
AVUS Argu.	38	13	25	41	24		
pos/neg/neutral	12/1/25	1/4/8	14/0/11	22/0/19	4/3/17		
Bevorzugte Vis	WF	WF/GT	WF/GT	GT	WF		

Tabelle 1: Quantitative Ergebnisse der Pilotstudie

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die erhobenen Daten und demographische Informationen der verbliebenen sieben Teilnehmer. Die Altersspanne der Patienten war breit (50-85 Jahre) und nur ein Patient war weiblich. Die Seite der Hemiparese war ausgeglichen und der Zeitpunkt des Schlaganfalls lag zum Studienzeitpunkt zwischen einem und sieben Monaten zurück.

Vor Studienbeginn unterschieden sich die Patienten in der motorischen Funktion deutlich (10-49 im FMT-OE). Alle Patienten verbesserten ihre Funktion moderat (+1 bis +6), wobei die relativen Veränderungen sich deutlich unterschieden (+4% bis +38%). Die Patienten in der KG verbesserten sich tendenziell mehr als die Patienten der EG, wobei die höchste relative Verbesserung jedoch von einer Patientin der EG erzielt wurde.

Die Selbsteinschätzung der Funktionsverbesserung wurde durch eine metrische Messung der Markierung auf der Analogskala ermittelt, deren Länge 10cm betrug. Die meisten Einschätzungen erfolgten deutlich positiv ($>6,3$) mit Ausnahme der eines Patienten aus der EG (1,0).

Die Ergebnisse der Präsenzfragebögen werden durch die Mittelwerte der fünf Messungen je Patient der EG angezeigt. Drei Patienten erlebten im Mittel ein starkes Präsenzgefühls ($>4,5$) und zwei Patienten erlebten ein schwaches Präsenzgefühls ($<1,6$).

Die im Rahmen der Interviews von den Patienten gelieferten Argumente wurden bei der qualitativen Auswertung von zwei Personen unabhängig voneinander kategorisiert und ausgezählt. Die Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Argumente, welche das AVUS Therapiesystem betrafen (insgesamt 141 Argumente), sowie deren Aufschlüsselung nach eindeutig enthaltenen Konnotationen. Neben der überwiegenden Nennung nicht oder unklar konnotierter Argumente (insgesamt 80) fällt der hohe Anteil an positiv konnotierten Argumenten auf (53). Lediglich ein Patient äußerte sich überwiegend neutral oder negativ, während solche Argumente ansonsten selten vorkamen (8).

6 Diskussion

Eine statistische Auswertung der vorliegenden Daten war aufgrund der geringen Teilnehmerzahl an der Pilotstudie nicht möglich. Das Ziel war jedoch die erstmalige Untersuchung der AVUS in einem klinischen Kontext und das Sammeln von Informationen als Grundlage für weitere Untersuchungen. Es können einige Tendenzen erkannt werden.

Die motorischen Verbesserungen der Patienten in der EG und der KG fielen vergleichbar aus, so dass negative Effekte der AVUS unwahrscheinlich sind. Solche konnten bei der Studiendurchführung auch nicht erkannt werden. Über die zusätzliche körperliche Betätigung hinaus konnte ein Trainingseffekt der AVUS aber noch nicht festgestellt werden.

Die visuelle Gestaltung und die musikalische Komponente der AVUS hoben alle Patienten als motivierend und stimmig hervor. Die Interaktion mit der abstrakten Umgebung wurde in den Interviews als wohltuend und animierend bezeichnet. Einige Patienten berichteten, dass sie durch die Therapie mehr Aktivität bei anderen Trainingssitzungen und im Alltag zeigten. Bzgl. der bevorzugten Visualisierungsform ist eine Tendenz hin zu den weniger abstrakten

Varianten der WF und der GT zu erkennen. Dies deutet auf das Bedürfnis hin, in den Visualisierungen noch entfernt anthropomorphe Züge erkennen zu können.

Auffällig ist der enge Zusammenhang zwischen dem erlebten Präsenzgefühl und der subjektiven Bewertung der Therapie mit der FAS und in den Interviews. Patienten die ein starkes Präsenzepfinden hatten, bewerteten die Intervention positiver, als solche mit einem geringen Präsenzepfinden. Diese Ergebnisse spiegeln auch das beobachtete Verhalten und die Motivation bei der Durchführung der Übungen wider. Offenbar konnten sich einige Patienten besonders gut in die abstrakten Visualisierungen hineinversetzen und bewerteten die Therapie dann besser.

Darüber hinaus wiesen Aussagen auf die Effektivität der visuellen Illusion im Spiegeltherapiemodus hin. Mehrere Patienten berichteten von einem positiven Gefühl der Bewegungsfreiheit beim Wechsel vom veritablen in den Spiegeltherapiemodus. Der Patient RE hatte zudem Erfahrungen mit der herkömmlichen Therapieform. Er bezeichnete die Interaktion mit der AVUS als kognitiv einfacher gegenüber der Beobachtung von Bewegung in einem Spiegel und ihm fiel die Konzentration dabei leichter.

Der Patient NE, dessen Präsenzergebnis niedrig war, deutete an, dass eine bessere technische Ausrüstung zu einer stärkeren Immersion in die virtuelle Umgebung führen könnte und seine Beurteilung der Therapie sich dadurch verbessern würde. Im Rahmen der Studie mussten die Ausgabegeräte aufgrund klinischer Rahmenbedingungen einfach gehalten werden (siehe Abbildung 2). Offenbar können jedoch bspw. eine raumgreifende Projektion und die Verwendung von Raumklangsystemen die Konzentration auf die AVUS verbessern.

Anhand dieser Ergebnisse kann angenommen werden, dass die Therapieform nicht für alle Patienten gleichermaßen geeignet ist, dass aber diejenigen, die sich darauf einlassen können, sowohl motorisch als auch persönlich von der Interaktion mit der AVUS profitieren. Insbesondere die von den Patienten geäußerten, positiven Auswirkungen auf die Motivation und die Animation zu Bewegungen im Alltag sind für die Rehabilitation nach einem Schlaganfall vor dem Hintergrund eines häufig verringerten Selbstbewusstseins der Patienten besonders hervorzuheben. Für eindeutige Aussagen bzgl. der therapeutischen Wirksamkeit der AVUS sind allerdings umfangreichere klinische Studien erforderlich.

7 Fazit

In diesem Artikel wurde das Potential abstrakter virtueller Umgebungen für die neurologische Therapie mit visuellen Illusionen erörtert und es wurde ein Therapiesystem vorgestellt, welches auf diesen theoretischen Überlegungen aufbaut. Im Rahmen einer Pilotstudie wurde das entwickelte System in der klinischen Anwendung überprüft. Die Ergebnisse der Studie können lediglich tendenzielle Informationen liefern, sie unterstützen jedoch die Plausibilität des therapeutischen Ansatzes, demonstrieren die klinische Anwendbarkeit des Systems und weisen auf positive Effekte des Trainings bzgl. der Motivation der Patienten sowie der subjektiven Einschätzung des Therapieerfolgs hin. Zudem zeigte sich, dass Patienten auch in abstrakten virtuellen Umgebungen ein starkes Präsenzgefühl entwickeln können. Hierdurch

wird die Konzentration auf die Bewegungsillusionen erleichtert, was für das motorische Lernen von hoher Bedeutung ist.

Zukünftige Entwicklungen werden das Therapiesystem erweitern. Besonders die musikalische Komponente soll umfassender integriert werden. Ausgehend von den Ergebnissen der Pilotstudie soll außerdem eine größere klinische Evaluation durchgeführt werden, um die therapeutische Wirkung abstrakter Bewegungsillusionen zu klären. Zudem wird die Bedeutung des Präsenzgefühls für die VR Rehabilitation weiter untersucht.

Literaturverzeichnis

- Burdea, G.C., 2003. Virtual rehabilitation-benefits and challenges. *Methods of information in medicine*, 42(5), 519–523.
- Dohle, C. et al., 2011. Representation of virtual arm movements in precuneus. *Experimental brain research*, 208(4), 543–555.
- Duncan, P.W., Propst, M. & Nelson, S.G., 1983. Reliability of the Fugl-Meyer assessment of sensorimotor recovery following cerebrovascular accident. *Physical Therapy*, 63(10).
- Eng, K. et al., 2007. Interactive visuo-motor therapy system for stroke rehabilitation. *Medical and biological engineering and computing*, 45(9), 901–907.
- Heuschmann, P. et al., 2010. Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland. *Aktuelle Neurologie*, 37(07), 333–340.
- Kosslyn, S.M., Ganis, G. & Thompson, W.L., 2001. Neural foundations of imagery. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9), 635–642.
- Lange, B., Flynn, S. & Rizzo, A., 2009. Game-based telerehabilitation. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 45(1), 143–151.
- Langhorne, P., Bernhardt, J. & Kwakkel, G., 2011. Stroke rehabilitation. *Lancet*, 377(9778).
- Laver, K. et al., 2012. Cochrane review: virtual reality for stroke rehabilitation. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 48(3), 523–530.
- Lenggenhager, B. et al., 2007. Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317 (1096).
- Lombard, M. et al., 1997. At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of computer-mediated communication*, 3(2).
- Ramachandran, V.S. & Altschuler, E.L., 2009. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(Pt 7), 1693–1710.
- Riva, G. et al., 2010. From intention to action: The role of presence. *New Ideas in Psychology*, 29(1), 24–37.
- Saleh, S., Adamovich, S.V. & Tunik, E., 2013. Mirrored Feedback in Chronic Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. Published online first.
- Schubert, T., Friedmann, F. & Regenbrecht, H., 2001. The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3).
- Small, S.L., Buccino, G. & Solodkin, A., 2010. The mirror neuron system and treatment of stroke. *Developmental Psychobiology*, 54(3), 293–310.
- Thieme, H. et al., 2012. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *The Cochrane Library*, (3).
- Wulf, G., Lewthwaite, R. & Winstein, C., 2011. Motorisches Lernen und grundlegende psychologische Bedürfnisse. *Neuroreha nach Schlaganfall*. Stuttgart: Thieme.