

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences
Studiengang Gesundheit

Robotergestützte Rehabilitation in der Medizin

**Anwendungsmöglichkeiten des vom DFKI-Bremen
entwickelten Oberkörper-Exoskelett**

Diplomarbeit

Vorgelegt von:

Niels Will

1. Prüfer

Prof. Dr. Dr. Karl-Heinz Wehkamp

HAW Hamburg

2. Prüfer

Prof. Dr. Frank Kirchner

DFKI- Bremen

Vorgelegt am: 18.06.2010

Vorwort

Diese Arbeit habe ich am Robotics Innovation Center (RIC) des DFKI's Bremen geschrieben. Robotik und Gesundheitswissenschaften scheinen auf den ersten Blick vollständig unterschiedliche Fachdisziplinen zu sein. Erst bei näherer Betrachtung wird die thematische Verbindung offensichtlich.

Bei der Erstellung dieser Arbeit habe ich mit Fachleuten der Medizin Gespräche über die Technisierung von Rehabilitationsprozessen geführt. Hierbei wurde auch thematisiert, welche Systeme sich bereits im Alltag bewährt haben und wo noch Verbesserungen aus Sicht des Anwenders nötig sind. Resultat dieser Gespräche ist, dass wohl derzeit noch kein Gerät auf dem Markt ist, das zu Hundertprozent die Bedürfnisse der Anwender befriedigt. Möglicherweise haben Hersteller von speziellen Rehabilitationssystemen unterschiedliche Vorstellungen von Praxistauglichkeit und Anwendbarkeit als die, die mit diesen Systemen arbeiten. Dies kann gewiss in unterschiedlichen Ausprägungen vorkommen und vielerlei Gründe haben, aber eines ist mir klar geworden: Man kann keine Geräte zur Rehabilitation herstellen ohne die genauen Bedürfnisse von Patienten und Therapeuten zu kennen und ohne Einblicke in nationale und internationale Gesundheitssysteme zu haben. Auch müssen Studien die Wirksamkeit robotergestützter Rehabilitation beweisen, bevor sie auf den Markt gebracht werden.

An dieser Stelle schließt sich meiner Ansicht nach der Kreis und die Verbindung zwischen Gesundheit und Robotik wird deutlich. Es muss eine Brücke zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen geschlagen werden und die interdisziplinäre Arbeit gefördert werden, um gute Produkte auf diesem Gebiet herstellen zu können.

Während des Schreibens dieser Arbeit habe ich viel über Technik und Robotik gelernt und ich konnte meinen Horizont in eine Richtung ausweiten, die für mich bis dahin nur wenig zugänglich war. Für die gute Zusammenarbeit mit dem DFKI-Bremen, insbesondere für die gute Betreuung durch Steffen Schmidt möchte ich

mich an dieser Stelle herzlich bedanken. Einen großen Dank auch an die Interviewpartner die sich für mein Anliegen Zeit genommen haben. Ein besonderer Dank gilt Annette, sie hat mich immer wieder motiviert und war mir bei dieser Arbeit eine ganz besondere Hilfe. Auch möchte ich Christiane für ihre tatkräftige Unterstützung danken. Bei meinen beiden lieben Söhnen bedanke ich mich für ihre Geduld, die sie mir entgegen gebracht haben.

Hamburg den, 18.06.2010

Niels Will

Zusammenfassung

Die Entwicklung eines Exoskeletts für die obere Extremität, das in der Rehabilitationsmedizin eingesetzt werden soll, wirft eine Reihe von Fragen auf. Neben dem eigentlichen Konstruieren, welches die Entwickler eines robotergestützten Rehabilitationssystems leisten müssen, sind noch eine Vielzahl von grundsätzlichen Fragen zu klären. Besteht ein Bedarf in der Rehabilitationsmedizin nach derartigen Systemen, bei welchen Krankheitsbildern scheint der Einsatz sinnvoll und wie sind die wirtschaftlichen Aspekte auf diesem Gebiet zu bewerten?

In der Literatur lassen sich hauptsächlich Systeme zur Rehabilitation von Schlaganfall-Patienten und erste Studien zur Wirksamkeit hierzu recherchieren. Diese Studien zeigen auf, dass eine Entwicklung neuartiger Rehabilitationssysteme gerechtfertigt ist. Um sich der Leitfragenstellung der vorliegenden Arbeit praxisorientiert zu nähern und um speziell auf die Entwicklung des VI- Bot Exoskeletts einzugehen, wurden Interviews mit sechs Experten aus verschiedenen medizinischen Fachdisziplinen durchgeführt. Die Experten sind sich einig, dass generell ein Bedarf an Neuentwicklungen innovativer Rehabilitationssysteme, vor allem im Bereich der Neurologie besteht. Für die Entwicklung eines Oberkörper-Exoskeletts besteht ein dringender Bedarf danach, die Zusammenarbeit zwischen Geräteherstellern, Ärzten und Therapeuten zu fördern. Um ein bedarfsgerechtes und alltagstaugliches System zu entwickeln, das den Patienten einen echten Zugewinn an Therapiequalität bringt und den therapeutischen Alltag unterstützt, ist eine Interdisziplinarität anzustreben. Ein Robotersystem, welches praxisorientiert konstruiert und erprobt worden ist, kann zwar nicht die konventionelle Therapie von Menschenhand ersetzen, bietet aber eine zusätzliche Option, die Therapie zu intensivieren und den Patienten im Alltag zu unterstützen.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	II
ZUSAMMENFASSUNG	IV
INHALTSVERZEICHNIS.....	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	VII
TABELLENVERZEICHNIS.....	VII
1 EINLEITUNG.....	8
1.1 EINFÜHRUNG.....	8
1.2 FORSCHUNGSFRAGE UND HINTERGRUND	9
1.3 AUFBAU DER ARBEIT.....	10
2 DAS DEUTSCHE FORSCHUNGSZENTRUM FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ (DFKI)	12
2.1 STANDORT BREMEN	13
2.2 DAS VI-BOT-PROJEKT (VIRTUAL IMMERSION)	13
2.3 DAS VI-BOT-EXOSKELETT	14
2.4 DAS VI-BOT-EXOSKELETT IN DER MEDIZIN.....	16
3 STAND DER TECHNIK UND BESTEHENDE SYSTEME	17
3.1 ANWENDUNGSGEBIETE	17
3.2 TECHNISIERUNG DER REHABILITATION.....	19
3.3 REHABILITATIONSROBOTER.....	20
3.3.1 Systeme für die untere Extremität	20
3.3.2 Systeme für die obere Extremität	25
3.3.3 Weitere Exoskelett-Systeme	29
4 WIRKSAMKEIT DER ROBOTERGESTÜTZTEN REHABILITATION.....	31
4.1 BEWERTUNG DER STUDIENLAGE	34
5 HERANGEHENSWEISE.....	35
5.1 EXPERTENBEFRAGUNG	35

5.2	LEITFADENINTERVIEW	37
5.3	ENTWICKLUNG DES LEITFADENS.....	37
5.4	HYPOTHESEN	37
5.5	DER FRAGEBOGEN DES LEITFADENINTERVIEWS.....	44
5.6	DURCHFÜHRUNG DER INTERVIEWS.....	47
5.7	ANALYSE DER INTERVIEWS.....	48
6	RESULTATE	49
6.1	KATEGORIENBESCHREIBUNG	49
6.2	ERGEBNISSE.....	50
6.2.1	<i>Allgemeine Betrachtungen über die Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin</i>	<i>50</i>
6.2.2	<i>Anwendungsbereiche.....</i>	<i>53</i>
6.2.3	<i>Einsatzgebiete.....</i>	<i>55</i>
6.2.4	<i>Anforderungen an das Exoskelett für den Einsatz in der Medizin</i>	<i>56</i>
6.2.5	<i>Wirtschaftlichkeit und Bedarf.....</i>	<i>61</i>
6.2.6	<i>Kritische Aspekte.....</i>	<i>61</i>
6.2.7	<i>Ausblick.....</i>	<i>62</i>
6.3	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES EXPERTENINTERVIEWS.....	63
6.4	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESEN.....	67
7	FAZIT / DISKUSSION	70
7.1	ZUSAMMENFASSENDER SCHLUSSBETRACHTUNG.....	70
7.2	BEANTWORTETE UND OFFENE FRAGEN.....	71
	LITERATURVERZEICHNIS.....	72
	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	77
	ANHANG.....	78

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ZUSAMMENSPIEL DER VERSCHIEDENEN KOMPONENTEN IM VI-BOT-PROJEKT	14
ABBILDUNG 2: HAPTICWALKER	21
ABBILDUNG 3: LOKOMAT	22
ABBILDUNG 4: GANGTRAINER GT1	23
ABBILDUNG 5: REWWALK.....	25
ABBILDUNG 6: ARMIN.....	26
ABBILDUNG 7: ARMEO SPRING.....	27
ABBILDUNG 8: HAL.....	30
ABBILDUNG 9: POWER JACKET	30
ABBILDUNG 10: ZUNAHME VON SCHLAGANFÄLLEN BIS ZUM JAHR 2050.....	41

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: SYSTEMABBILDUNGEN VI-BOT-EXOSKELETT AKTIVES SYSTEM.....	15
TABELLE 2: SYSTEMABBILDUNGEN VI-BOT-EXOSKELETT PASSIVES SYSTEM	16
TABELLE 3: STUDIEN ZUR UNTEREN EXTREMITÄT	32
TABELLE 4: STUDIEN ZUR OBEREN EXTREMITÄT.....	33

1 Einleitung

1.1 Einführung

Die Technisierung im Gesundheitswesen ist eine Entwicklung, die immer weiter fortschreitet und ausgebaut wird. Telemedizinische Echtzeitsysteme, elektronische Gesundheitsdienste und elektronisch gestützte Gesundheitslogistik ziehen zunehmend in den medizinischen Alltag ein. Auch medizintechnische Lösungen¹ in den Bereichen Diagnostik, Therapie, Krankenpflege und Rehabilitation erlangen eine immer höhere Bedeutung und werden technisch immer ausgereifter. Technisierte Reha-Prozesse, Pflegeroboter oder die Integration von Messinstrumenten in Kleidungsstücken sollen die Lebensqualität des Patienten verbessern, das Pflegepersonal entlasten und die Medizin ökonomischer gestalten (vgl. Groß, Jakobs, 2007). Das vom DFKI Bremen entwickelte VI- Bot-Exoskelett für die obere Extremität, welches Ausgangspunkt dieser Arbeit ist, könnte nach gezielter Forschung und Entwicklung gegebenenfalls die genannten Punkte ermöglichen und den Patienten bei bestimmten Erkrankungen unterstützen und dessen Alltag erleichtern. Zudem wird der technisierten Therapie in der Ergo- und Physiotherapie immer mehr Bedeutung beigemessen, um so teure personelle Ressourcen einzusparen, beziehungsweise das Personal ökonomischer einsetzen zu können. Bedingt dadurch, halten immer neuere Geräte zur zielgerichteten Rehabilitation Einzug in die Kliniken und Rehabilitationseinrichtungen. Grundsätzlich ist der therapeutische Nutzen von robotergestützten Therapien der oberen Extremität noch schwer einzuschätzen, nicht auch zuletzt aufgrund der unzureichenden Studienlage über den Effekt derartiger Systeme (vgl. Hesse et al., 2008). Dennoch wird sich dieser Trend fortsetzen, gerade im Hinblick auf die Ressourcenverknappung im Gesundheits- und speziell im Rehabilitationswesen, da

¹ Beispiele konkreter Anwendungen sind die Herstellung biokompatibler Prothesen, medizinischer Therapie- und Diagnosegeräte, wie z. B. EKG-Schreiber und Ultraschallgeräte, bildgebender Diagnostik, wie z. B. Magnetresonanztomographie (MRT) und Elektroenzephalographie (EEG) und der Herstellung neuer Medikamente.

Studien über Robotersysteme für die Therapie der unteren Extremität Vorteile für die Behandlung nachweisen. Immer mehr Gerätehersteller werden mit unterschiedlichsten Systemen auf den Markt drängen und den derzeitigen Boom der robotergestützten Rehabilitation fortsetzen. Für die Entwicklung von praxistauglichen robotergestützten Rehabilitationssystemen ist es dringend notwendig, eine enge Kooperation und einen Austausch zwischen Geräteentwicklern und Akteuren im Gesundheitswesen anzustreben (vgl. Hesse et al., 2008). Hierbei ist die Meinung von Experten, wie Medizinern und potentiellen Anwendern dieser Systeme wichtig. Für diese Arbeit wurde diesbezüglich die Meinung von Experten ermittelt, die mit einem leitfragengestützten Interview zu diesem Thema befragt wurden.

Der Forschungsschwerpunkt des VI-Bot-Projektes liegt in der Telemanipulation von Roboterarmen, aber der Einsatz in der Medizin scheint eine weitere gute Anwendungsoption darzustellen.

1.2 Forschungsfrage und Hintergrund

Ist es möglich, bedarfsorientierte medizinische Einsatzbereiche bzw. Anwendungen eines mobilen Oberkörperexoskeletts auf Basis des im VI- Bot- Projektes entwickelten Exoskeletts zu erschließen?

Aus dieser Leitfragenstellung, die Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, leiten sich folgende Motivationen und Ziele ab, die dieser Diplomarbeit zu Grunde liegen. Ziel ist es, an übergreifenden Anwendungsmöglichkeiten des Exoskeletts zu forschen und potentielle Anwendungsbereiche im medizinischen Sinne zu erschließen und zu begründen. Die Leitfrage wirft eine Reihe weiterer Fragen auf, die im direkten Zusammenhang mit dieser stehen. Weiter verlangt die grundsätzliche Fragestellung eine konkrete Differenzierung in verschiedene Aspekte, um ein befriedigendes Ergebnis zu erhalten. Betrachtet man die Fragestellung im Einzelnen, ist zunächst einmal zu klären, was unter bedarfsorientierten Einsatzbereichen verstanden werden muss. Welche Einsatzgebiete erscheinen sinnvoll bzw. sind überhaupt möglich? Die Überlegungen reichen von dem Einsatz zur Kompensation und Unterstützung geschädigter Gliedmaßen (ähnlich einer Orthese) bis hin zu einem

Trainingssystem zum Muskelaufbau oder Trainieren von Bewegungsabläufen. Bei welchen konkreten Krankheitsbildern könnte ein derartiges System in Frage kommen? In welche Richtung wird bereits geforscht und existieren hierzu schon Ergebnisse? Können Potenziale im Bereich der neurologischen Erkrankungen gesehen werden, beispielsweise bei der Therapie von Schlaganfällen, Lähmungen, etc.? Auch wenn ein Einsatz in der Medizin denkbar ist und sinnvoll erscheint, stellt sich weiter die Frage nach der Wirtschaftlichkeit eines derartigen Systems. Neben der praktischen Anwendung also auch Fragen nach Bedarf, Kosten und Finanzierbarkeit.

Diese Arbeit geht den aufgeworfenen Fragen nach und gibt einen Überblick über diese Thematik.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im zweiten Kapitel wird das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) vorgestellt und ihre Aufgaben erläutert. Des Weiteren wird das von dem Institut entwickelte VI- Bot Exoskelett und die Hintergründe zu diesem Projekt vorgestellt.

Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit dem Stand der Technik und zeigt verschiedene Anwendungsszenarien von Exoskelett- Systemen auf. Der Schwerpunkt dieses Abschnittes liegt in der medizinischen Anwendung von Robotersystemen in der Rehabilitationsmedizin. Hierzu werden verschiedene Systeme vorgestellt, die für diese Zwecke konzipiert worden sind.

Im vierten Abschnitt werden Studien zur Wirksamkeit von Robotersystemen in der Medizin vorgestellt.

Im fünften Kapitel wird die Herangehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage beschrieben. Dies beinhaltet die Komponenten Expertenbefragung, Leitfadeninterview und Bildung von Hypothesen zur Erstellung eines Leitfadens. Zur Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse der Befragung wird das Vorgehen der Analyse der Interviews beschrieben.

Im sechsten Abschnitt werden die Ergebnisse der Interviews in verschiedenen Kategorien vorgestellt und am Ende des Abschnittes zusammengefasst.

Im siebten Kapitel wird eine Schlussbetrachtung über die Arbeit und deren Ergebnisse dargestellt.

2 Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), gegründet 1988, mit Sitz in Kaiserslautern, Saarbrücken, Bremen und Berlin, ist auf dem Gebiet innovativer Softwaretechnologien die führende Forschungseinrichtung in Deutschland. Das DFKI finanziert sich ohne staatliche Grundfinanzierung aus Auftrags- und Projektforschung. Es handelt sich hierbei um eine öffentlich- private Partnerschaft mit groß- und mittelständischen Unternehmen und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als Projektförderer. Die Geschäftsführung der DFKI GmbH bilden Prof. Dr. Wolfgang Wahlster (Vorsitzender der Geschäftsführung) und Dr. Walter G. Olthoff (kaufmännischer Geschäftsführer). Derzeit beschäftigt das DFKI 338 Mitarbeiter und 309 studentische Hilfskräfte und es werden aktuell ca. 90 Projekte bearbeitet. Die inhaltlichen Schwerpunkte und Kompetenzen des Forschungszentrums sind folgende Bereiche (vgl. www.dfki.de/web/ueber):

- Virtuelle Welten
- E-Learning und E-Government
- Entwicklung beweisbar korrekter Software
- Intelligente Fabrikssysteme
- Intelligentes Webretrieval und Web Services
- Multi-Agenten-Systeme und Agententechnologie
- Multimodale Benutzerschnittstellen und Sprachverstehen
- Visual Computing
- Bildverstehen und Mustererkennung
- Augmented Vision
- Mobile Robotersysteme
- Einkaufsassistentz und intelligente Logistik
- Semantische Produktgedächtnisse
- Sichere kognitive Systeme
- Organizational Memory und Benutzermodellierung
- Semantisches Web und Web 3.0

- Ambient Intelligence and Assisted Living
- Intelligente Sicherheitslösungen
- Fahrerassistenzsysteme und Car2X-Kommunikation

2.1 Standort Bremen

Der Standort Bremen ist das Robotics Innovation Center (RIC) des DFKI's und steht unter der Leitung von Prof. Dr. Frank Kirchner. Es beschäftigt sich mit Robotersystemen, die anwendungsnahe Lösungen für die Bereiche Unterwasser, Weltraum, Sicherheit, Logistik, Produktion und Consumer (LPC), SAR (Search and Rescue), sowie kognitive Robotik bereitstellen. Das RIC nutzt die grundlagenorientierte Forschung der, von Prof. Dr. Frank Kirchner geleiteten, Arbeitsgruppe Robotik der Universität Bremen. Geforscht wird in der Regel im Auftrag von öffentlich geförderter Verbund- und Forschungsprojekte sowie im Rahmen von Aufträgen, die direkt von der Industrie kommen. Im Vordergrund steht hierbei immer die schnelle Übertragung von Forschungsergebnissen in die reale Anwendung. (vgl. <http://robotik.dfki-bremen.de>)

2.2 Das VI-Bot-Projekt (Virtual Immersion)

Eines der derzeitigen Projekte am Standort Bremen ist das VI-Bot-Projekt, welches von Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Dieses Projekt hat sich zur Aufgabe gemacht, die Steuerung von komplexen mobilen Robotersystemen durch einen einzelnen Bediener zu verbessern. Hierbei integriert das VI-Bot-Projekt Ansätze aus Robotik, Neurowissenschaften und Mensch-Maschine-Kommunikation. Die verschiedenen Forschungsschwerpunkte des VI-Bot-Projektes setzen sich aus den drei Komponenten Exoskelett, 3D Immersionen und Adaptive Brain Reading Interface zusammen. Durch den Aufbau eines neuartigen Exoskeletts und die Verwendung einer adaptiven handlungsprädizierenden Benutzerbeobachtung durch online-EEG-Analyse, sowie die umfassende virtuelle Immersion, situative Präsentation von Informationen und Handlungsoptionen, kann dem Operator ein „Vor-Ort-Gefühl“ bei der Telemanipulation von Roboterarmen vermittelt werden.

Diese Form der „virtuellen Immersion“ kann die Fernsteuerung von Robotersystemen auf die nächste Stufe heben und ermöglichen, die Grenzen zwischen Roboter und Bediener virtuell aufzulösen. Durch dieses System kann das Zusammenführen von kognitiven Fähigkeiten des Menschen mit der Robustheit der Robotersysteme erreicht werden (vgl. Projektflyer VI-Bot und DFKI interne Info).

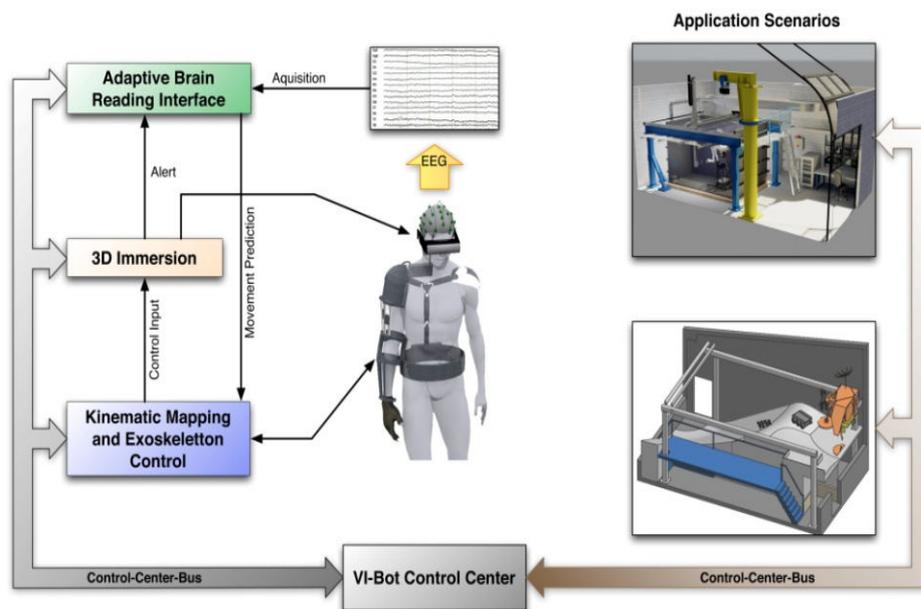


Abbildung 1: Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten im VI-Bot Projekt
Quelle: Projektflyer VI-Bot

2.3 Das VI-Bot-Exoskelett

Eines der zentralen Forschungseinheiten des VI-Bot-Projektes ist das entwickelte Exoskelett. Hierbei handelt es sich um die haptische Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Dieses aktive und mobile Außenskelett für die obere Extremität ist mit verschiedenen Force Feedback Kontaktpunkten ausgestattet (s. Tabelle 1) und ermöglicht eine Kraftübertragung an den Anwender (Force Feedback) von ca. 40 Nm. Die Kraftübertragung wird zum Teil durch eine Kombination von hydraulischen und pneumatischen Systemen ermöglicht. Durch den Einsatz dieser beiden Komponenten wird eine Federwirkung erreicht, die der natürlichen Motorik des Menschen entspricht und die unterschiedlichen Bedürfnisse der Fein- und Grobmotorik berücksichtigt. Das System ist mit 16 Freiheitsgraden ausgestattet, von denen 8 aktiv und 8 passiv sind. Das Gewicht des Exoskeletts, von derzeit 15 kg,

wird durch den Anwender wie ein Rucksack auf dem Rücken getragen. Das Eigengewicht des Armes und die der Armkomponenten des Exoskeletts können durch das aktive System aufgehoben werden, sodass der Arm des Anwenders und das Exoskelett schwerelos erscheinen. Das Exoskelett ist auf unterschiedliche Körpergrößen und Umfänge individuell anpassbar, sodass ein sicheres Tragen des Außenskeletts für das 50. Perzentile des Europa-Normmenschen ermöglicht werden kann (DFKI interne Informationen).

Tabelle 1: Systemabbildungen VI-Bot-Exoskelett aktives System

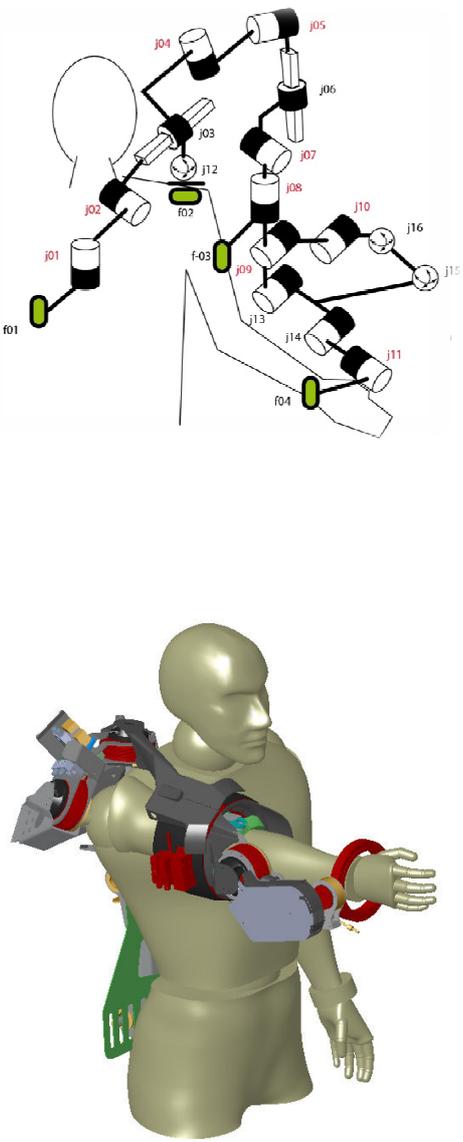
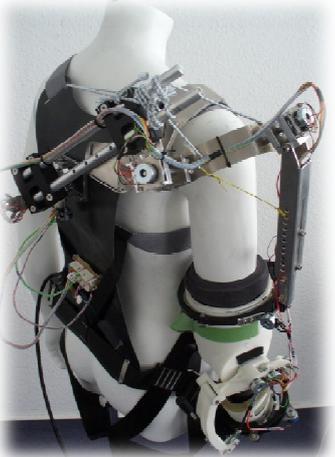
	<ul style="list-style-type: none"> • Force Feedback Kontaktpunkte: f02/Schulter, f03/Oberarm, f04/Unterarm • Krafrückleitung des Force Feedback über den Torso f01 • Force Feedback Bestimmung (Quantität und Richtung) über Kraftsensoren und Drucksensoren <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische Aktuation sowie pneumatisch, hydraulisches System für den Unterarm • Max. Drehmoment am Aktuator (Gelenk) 40Nm
--	---

Tabelle 2: Systemabbildungen VI-Bot-Exoskelett passives System

	<ul style="list-style-type: none">• Prototyp, passiven Systems des VI-BOT Exoskeletts
---	---

2.4 Das VI-Bot-Exoskelett in der Medizin

Aufgrund der Philosophie des DFKI, Forschungsergebnisse zügig in reale Anwendungen zuzuführen und diese Anwendungsbereiche sinnvoll breit zu fächern, entstand die Idee, das neuartig entwickelte Exoskelett auch in Bereichen der Medizin einzusetzen (DFKI interne Informationen). Die reinen technischen Voraussetzungen hierfür, wie beispielweise die Anpassungsmöglichkeit an den Patienten oder die Integrierung von Sensoren, die es ermöglichen würden, Therapiefortschritte oder ähnliches messbar zu machen, erlaubt das Exoskelett bereits heute. Auch die Tatsache, dass zurzeit weltweit einige Forschungseinrichtungen und Firmen an ähnlichen Systemen speziell für die Anwendung in der Medizin arbeiten und sogar schon einige Systeme eingesetzt werden, (hierzu im Kapitel „Stand der Technik“ mehr) zeigt, dass allgemein Potenzial auf diesem Gebiet gesehen wird. Generell ist das Erstreben, das Exoskelett in der Medizin einzusetzen, zweitrangiges Vorhaben im VI-Bot-Projekt, könnte sich aber nach Erarbeitung einer soliden Forschungsbasis zu einem weiteren zielgerichteten Projekt ausweiten und somit den Bereich der Medizin erschließen.

3 Stand der Technik und bestehende Systeme

3.1 Anwendungsgebiete

Derzeit beschäftigen sich weltweit Forschungseinrichtungen mit der Anwendung von Exoskeletten für den Menschen. Die bestehenden und zurzeit entwickelten Produkte zielen auf verschiedene Zwecke ab. Die Schwerpunkte dieser Arbeiten liegen im Wesentlichen auf drei Anwendungsgebieten:

1. Verbesserung der menschlichen Performance

Für den militärischen und zivilen Bereich werden Exoskelett-Systeme entwickelt, die der Verbesserung der menschlichen Performance, wie Ausdauer und Kraft, dienen sollen. Die zivile Nutzung von Exoskelett-Systemen fokussiert dabei in erster Linie das Stützen und Unterstützen des menschlichen Körpers. Neben dem militärischen Nutzen, der hier nicht weiter erläutert werden soll, stellen sich Aufgabengebiete natürlich immer dort, wo schwere Lasten getragen oder einseitige Bewegungen durchgeführt werden. Beispiele für Anwendungsszenarien sind in folgenden Bereichen zu finden: Landwirtschaft (z.B. Erntehelfer), Industrie (z.B. Fließbandarbeit), Handwerksgewerbe (z.B. Maurerarbeiten). Neben diesen gewerblichen Anwendungen sind auch Einsätze in der Freizeitgestaltung und des Sportes denkbar. Derartige Systeme würden den Menschen ermöglichen, bestimmte Tätigkeiten mit mehr Ausdauer und Kraft durchzuführen.

Exoskelett-Systeme könnten die Lebensqualität von Menschen mit Handicaps verbessern. Körperliche Behinderungen könnten im Berufsleben und in der Freizeitgestaltung kompensiert werden. Da zum großen Teil die körperliche Unversehrtheit und Gesundheit die entscheidende Basis zur aktiven Teilnahme am Gesellschafts- und Berufsleben ist, besteht bereits heute ein großer Bedarf an neuen technischen Lösungen, der wahrscheinlich mit der demographischen Entwicklung in Zukunft weiter ansteigen wird.

2. Telemanipulation (als Mensch-Maschinenschnittstellen)

Das VI-Bot-Projekt (wie bereits in Abschnitt 2.3 beschrieben) zielt auf dieses Anwendungsgebiet ab. In verschiedenen Anwendungsfeldern können Telemanipulationssysteme eingesetzt werden, um Aufgaben mit Industrie- oder Servicerobotern in Bereichen der Medizin oder Industrie zu lösen. Auch im Bereich der virtuellen Realitäten, wird Telemanipulation für verschiedenste Aufgaben eingesetzt. In der Medizin werden solche Systeme für die chirurgische Arbeit entwickelt und genutzt. So können Operationen mittels Manipulationsroboter durchgeführt werden, ohne dass der entsprechende Operateur am Operationstisch anwesend ist. Die Vorteile dieser chirurgischen Assistenzsysteme sind, dass der Operateur in die Lage versetzt wird menschliche Barrieren zu durchbrechen. Ein solches System lässt sich auf unterschiedlichste Kraft- und Größenbereiche skalieren, überbrückt Distanzen und überwindet Beschränkungen der räumlichen Zugänglichkeit im Operationsgebiet (vgl. Naeser, 2008).

1994 wurden in Deutschland erste Versuche zur chirurgischen Telemanipulation durchgeführt. Mit einem einarmigen Master-slave-Manipulator, der ursprünglich für die Handhabung von gefährlichen Substanzen entwickelt wurde, konnten endoskopische Eingriffe an einer Schweineleber durchgeführt werden. In dem Bereich der Herzchirurgie hat die amerikanische Firma Intuitive Surgical einen Operationsroboter entwickelt, der für minimalinversive Eingriffe am Herzen eingesetzt wird und der bis heute bei Hunderten von Patienten zum Einsatz kam. Bei diesem System sitzt der Operateur in einem Nebenraum zum Operationsaal und steuert an einer Konsole den Operationsroboter. Neben den medizinischen Nutzen dieser Systeme, muss zusätzlich die Wirtschaftlichkeit evaluiert werden (vgl. Fischer, Voges, 2007).

3. Medizinische Anwendung in der Rehabilitation

Die Anwendung von Robotersystemen in der Rehabilitationsmedizin wird in dem Abschnitt „Technisierung der Rehabilitation“ und folgenden ausführliche erläutert.

3.2 Technisierung der Rehabilitation

In der Industrie haben Roboter schon längst Einzug in den Alltag gefunden. Körperliche Schwerstarbeit wird so häufig wie möglich von Robotersystemen übernommen, um den Menschen zu schonen und um präzise, gleichmäßige und kostengünstige Arbeit zu ermöglichen. Ein Beispiel aus dem Maschinenbau zeigt, dass bei steigender Produktivität die Mitarbeiterzahl reduziert worden ist. So ist in dieser Branche etwa seit den letzten 15 Jahren die Zahl der Mitarbeiter von 1,2 Millionen auf 860.000 gesunken, bei gleichzeitiger steigender Anzahl von Industrierobotern in Deutschland. (vgl. http://www.welt.de/wirtschaft/article703475/Roboter_ersetzen_Menschen.html).

In dem Bereich der Rehabilitation hingegen, der bislang eher nicht der klassische Zweig für Robotik war, halten Roboter erst langsam Einzug (vgl. Bast, 2008).

Die Idee, technische Systeme in der Medizin einzusetzen ist generell nicht neu. Schon lange werden in bestimmten Bereichen der Rehabilitation Maschinen als Hilfsmittel angewandt. Mit Systemen, angefangen von elektrischen Rollstühlen bis hin zu Motorbewegungsschienen, wird der Alltag von Patienten und Therapeuten bereits heute erleichtert. Aufgrund der rasanten technischen Entwicklung im Bereich der Computer- und Robotertechnik sind nun Ingenieure immer häufiger in der Lage, komplexere Systeme, die den Bedürfnissen der Patienten und Therapeuten angepasst sind, zu entwickeln und auf den Markt zu bringen (vgl. Groß, Jakobs, 2007). Noch befinden sich viele Neuentwicklungen im Forschungsstadium, doch werden von den Herstellern und Universitäten bereits innovative Prototypen von robotergestützten Rehabilitationssystemen vorgestellt.

Da der Bereich der Rehabilitation von jeher sehr personal- und zeitintensiv ist, werden derzeit große Anstrengungen unternommen, Robotersysteme auf diesem Gebiet zu etablieren. Die Entwicklung wird vorangetrieben in der Annahme, den Therapeuten zu entlasten und dem in den Industrieländern drohenden Fachkräftemangel und der demographischen Entwicklung und deren Folgen im Gesundheitswesen entgegenzuwirken (vgl. Masur, 2008).

Systeme für die untere Extremität sind aufgrund der geringeren Komplexität heute schon weiter entwickelt, als Systeme, die für die obere Extremität zum Einsatz kommen sollen. Die geringeren Freiheitsgrade und die minderen Ansprüche an die Feinmotorik der unteren Extremität machen es für die Entwickler hierfür leichter, effektive und praxistaugliche Systeme zu entwickeln (Hesse, S./ Werner, C./ Brocke, J. 2009).

3.3 Rehabilitationsroboter

Generell sind in der Rehabilitation Robotersysteme wie beispielsweise tragbare Roboter (Exosketts) mit künstlicher Intelligenz derzeit noch eher selten zu finden. Weltweit gibt es nur eine Handvoll Firmen, die solche Systeme entwickeln und vermarkten (vgl. Bast, 2008). Folgende Beispiele zeigen auf, welche Systeme bereits auf dem Markt etabliert sind bzw. sich noch im Forschungsstand befinden.

3.3.1 Systeme für die untere Extremität

HapticWalker

Der HapticWalker ist ein Laufsimulator, der von der Charité Berlin gemeinsam mit Ingenieuren des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) entwickelt wurde. Das System ist ein so genanntes Haptic Foot Device, das vor allem in der motorischen Gangrehabilitation bei Schlaganfallpatienten und Patienten mit einer Teil- bzw. Querschnittslähmung oder einem Schädel-Hirn-Trauma eingesetzt wird. HapticWalker ermöglicht das Üben beliebiger, natürlicher Laufbewegungen des täglichen Lebens, wie das Laufen auf gerader Strecke oder an einer Steigung, Treppensteigen und sogar Stolpern. Die Patienten hängen im HapticWalker in einem Gurtsystem, die Beine und Füße werden von Roboterarmen geführt. Über bewegliche Platten unter den Füßen bekommen die Patienten ein haptisches (Berührungs-) Feedback vermittelt, das der Bodenberührung beim natürlichen Laufen entspricht.

Nach Angaben der Hersteller verspricht das System nicht nur einen besseren Therapieerfolg für Patienten, sondern entlastet auch die Therapeuten. In der derzeitigen Reha-Praxis führen Physiotherapeuten Arme oder Beine der Patienten und wiederholen möglichst oft und möglichst exakt die natürlichen Bewegungen. Für Gehübungen mit Patienten, die noch auf den Rollstuhl angewiesen sind, sind in der Regel zwei bis drei Helfer nötig. Schritt für Schritt setzt ein Therapeut Beine und Füße des Patienten, während gleichzeitig der Oberkörper gestützt werden muss. Mehr als 50-100 Schritte pro Übung sind bei dieser Prozedur im Rehabilitationsalltag nicht zu schaffen. Auch das Üben von Treppensteigen ist im Klinikalltag ein sehr zeit- und personalintensives Vorhaben, sodass es häufig nicht möglich ist, diese durchzuführen. Laut der Entwickler des HapticWalkers kann dieser Roboter an dieser Stelle Abhilfe schaffen. Da für die Anwendungszwecke ein sehr schnelles Antriebssystem mit hohen Beschleunigungswerten benötigt wird, greifen die Entwickler auf einen Linear-Direktantrieb zurück, der aus der Industrietechnik stammt. Noch befindet sich der HapticWalker als Prototyp im Entwicklungsstadium. (vgl. Flyer der Forschungsgruppe Rehabilitationsrobotik, Fraunhofer IPK und TU Berlin)



Abbildung 2: HapticWalker Quelle: Universität Berlin:
<http://userpage.fu-berlin.de/hsch/HapticWalker/HapticWalker.html>

Lokomat

Der Lokomat ist eine robotergestützte Gang-Orthese der Schweizer Firma Hocoma AG. Seit 1999 ist dieses System auf dem Markt erhältlich. Das System basiert auf einem Laufbandtraining, wobei der Patient über ein Gurtsystem gehalten wird. Die Beine des Patienten werden durch die Gang-Orthesen mit integriertem elektrischem Antrieb geführt. Die Positionsregelung der Orthesen soll laut Hersteller die Anpassung der Gangkurve an das physiologische Gangmuster des Patienten ermöglichen. Computergesteuerte Miniaturmotoren sind in der Gangorthese integriert und mit der Geschwindigkeit des Lamellen-Laufbandes synchronisiert. Dieses System soll gewährleisten, dass eine genaue Übereinstimmung zwischen der Bewegung der Roboter-Orthesen und dem Laufband stattfindet.



Abbildung 3: Lokomat Quelle: Hocoma, <http://www.hocoma.com/produkte/lokomat/>

Eine Steuerungssoftware unterstützt in Echtzeit den Patienten, die Beine in einem Muster zu bewegen, das mit normalen Gehbewegungen übereinstimmen soll. Die Hüft- und Kniegelenke werden von der Lokomat-Software überwacht, um zu gewährleisten, dass das vorher eingestellte Gehmuster eingehalten wird. Zusätzlich kann der Lokomat mit einem sogenannten Augmented Feedback gekoppelt werden. Hierbei können sich die Patienten wie in einem Computerspiel durch eine virtuelle

Welt bewegen und verschiedenen Aufgaben lösen. Dieses System soll der Motivation und Unterhaltung der Patienten dienen und somit die aktive Teilnahme beim Trainieren fördern. Der Lokomat soll bei der Rehabilitation von Rückenmarkverletzungen, Schlaganfall, Schädel-Hirn-Trauma, Multiple Sklerose und Zerebralparese eingesetzt werden können (vgl. www.hocoma.com/produkte/lokomat/).

Gangtrainer GT1

Der Gangtrainer GT1 der Firma Reha-Stim ist ein weiteres Beispiel für die robotergestützte Rehabilitation der unteren Extremität. Auch er soll die Ressourcen der Therapeuten schonen und für den Patienten bessere Rehabilitationserfolge bieten. In erster Linie soll dieses System die herkömmliche Laufbandtherapie ersetzen und bietet laut Studien gegenüber dem Laufband signifikante Vorteile im Bezug auf Gehfähigkeit, Gangtempo und ADL² Bereiche. Zusätzlich zum GT1 bietet Reha-Stim noch den G-EO an, der das Treppensteigen simuliert. Die Entwicklung des G-EO basiert auf der Forschungsarbeit des HapticWalkers (vgl. Reha-Stim Produktflyer Gangtrainer GT1).



Abbildung 4: Gangtrainer GT1

Quelle: Reha-Stim, <http://www.rehastim.de/cms/assets/files/Flyer/Gangtrainer%20GT%20I.pdf>

² Aktivitäten des täglichen Lebens

ReWalk

Der ReWalk der Firma Argo Medical Technologies Ltd. aus Israel ist ein mobiles Exoskelett-System für die untere Extremität. Es unterscheidet sich von den vorgestellten Systemen zur Gangrehabilitation, da es sich hierbei um ein mobiles System handelt, das vornehmlich zur Unterstützung des Patienten in alltäglichen Situationen konzipiert ist. Das Exoskelett soll laut Hersteller eine Alternative zum Rollstuhl darstellen. Der Roboteranzug soll es Menschen ermöglichen, die von der Taille abwärts gelähmt sind, wieder zu stehen, zu gehen und Treppen zu steigen. Der Patient trägt dafür eine Art Rucksack, in dem die Computersteuerung und Batterien untergebracht sind. Das Exoskelett-System der Beine besteht aus zwei miteinander verbundenen Beinstützen, die als Bremse für Knie- und Hüftgelenk fungieren. Zusätzlich ermöglichen Elektromotoren an den Aktuatoren die Beugung in Knie- und Hüftgelenk. Die eigentliche Fortbewegung kann allerdings nur mit Hilfe von Unterarmgehstützen erfolgen, da das System nicht in der Lage ist, das gesamte Körpergewicht zu halten. Die gewünschte Aktivität, wie Hinsetzen, Aufstehen oder Treppensteigen, wird über eine Fernsteuerung am Handgelenk ausgewählt. Generell wird das Exoskelett über Veränderungen des Körperschwerpunktes und Bewegungen des Oberkörpers gesteuert. Lehnt sich der Benutzer beispielsweise nach vorne, werden Körpersensoren aktiviert, die die Roboterbeine in Bewegung setzen.

Das Unternehmen argumentiert, dass die Möglichkeit, aufrecht durch den Alltag zu gehen und dadurch den Körper permanent in Bewegung zu halten, viele der gesundheitlichen Probleme löse, die normalerweise mit dem jahrelangen Einsatz eines Rollstuhls einhergehen.

Der ReWalk ist derzeit noch nicht auf dem Markt verfügbar, soll aber nach Angaben des Herstellers Mitte 2010 erhältlich sein (vgl. www.argomedtec.com).



Abbildung 5: ReWalk

Quelle: Argo, <http://www.argomedtec.com/products.asp>

3.3.2 Systeme für die obere Extremität

ARMin

ARMin ist ein Arm-Therapie-Roboter, der von der ETH Zürich und der Universität Zürich seit 2003 entwickelt wird. Hierbei handelt es sich um ein Exoskelett, das an Oberarm, Unterarm und Hand des Patienten verbunden wird. Sechs Elektromotoren bewegen Schulter, Ellbogen und Unterarm. Sensoren und speziell entwickelte Software machen es möglich, Muskelaktivierung und Bewegungskoordination des Patienten zu unterstützen und zu messen. Unter der Zusammenarbeit mit der Universitätsklinik Balgrist in Zürich wurden erste Studien zur Wirksamkeit bei Schlaganfällen durchgeführt und das System weiterentwickelt. Der neu entwickelte Arm-Therapie-Roboter soll in Zukunft die Arbeit mit Patienten unterstützen, sowie die Qualität der Rehabilitation deutlich steigern. Mit dem Therapieroboter könnten längere Therapiesitzungen sowie neuartige Therapie- und Bewegungsarten realisiert werden. Das Bewegungstraining kann effizienter gestaltet werden, da der Patient in die Lage versetzt wird, mit ARMin aktiv an der Bewegung mitzuwirken.

Sensoren können die Patientenintention und die Patientenaktivität zu jedem Zeitpunkt messen und das Training an den Patienten automatisch anpassen. Dies erhöht die Intensität und die Genauigkeit des Trainings. Zudem kann durch den Einsatz des Systems die Motivation des Patienten gesteigert werden. Hauptsächlich soll der Roboter bei der Behandlung von Schlaganfall-Patienten zum Einsatz kommen und als Ergänzung zum traditionellen manuellen Training in der Ergo- und Physiotherapie verwendet werden. Auf der Internetseite des Sensory-Motor Systems LAB der ETH Zürich wird darauf hingewiesen, dass von der neuen roboterunterstützten Armtherapie im Vergleich zur traditionellen Therapie keine fundamental besseren Therapiefortschritte zu erwarten sind. Der Einsatz von ARMin wird durch die Tatsache begründet, wie verschiedene klinische Studien zeigen, dass intensiveres und längeres Training den Therapiefortschritt verbessern kann und deshalb der Einsatz von ARMin als Ergänzung zum herkömmlichen Training sinnvoll erscheint (vgl. Nef, T. / Riener, R., 2008).

ARMin wird durch die Schweizer Firma Hocoma AG auf dem internationalen Markt unter dem Produktnamen Armeo Power eingeführt und ist voraussichtlich ab 2011 erhältlich (vgl. www.smsmavt.ethz.ch/research/projects/armin).

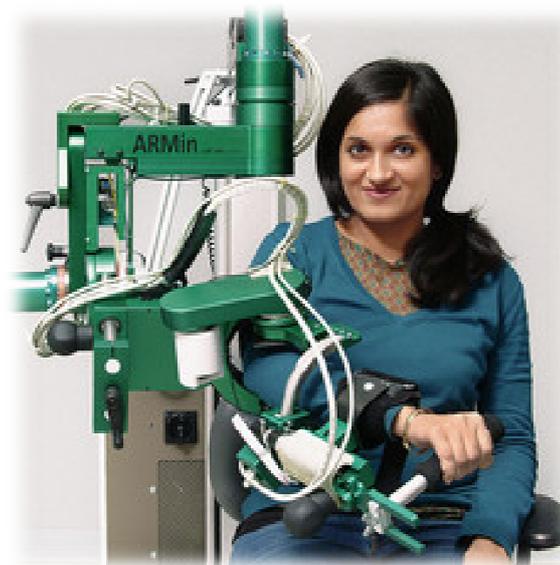


Abbildung 6: ARMin
Quelle: ETH Zürich

Armeo Spring

Der Armeo Spring ist ein Arm-Therapie-Roboter der Firma Hocoma, der in Zusammenarbeit mit der University of California, Irvine (UCI) entwickelt worden ist. Das System basiert auf einem ergonomisch gestalteten Arm Exoskelett mit integrierten Federn. Das Federsystem ermöglicht, das Eigengewicht des betroffenen Armes aufzuheben, sodass die vorhandene Restaktivität des Armes (z.B. nach Schlaganfall) zu Trainingszwecken optimal genutzt werden kann. Die Freiheitsgrade des Exoskeletts entsprechen denen des gesamten Armes. Es werden somit folgende Freiheitsgrade erreicht: Handgelenk Extension/Flexion, Unterarm Pro-/Supination, Ellenbogen Flexion/Extension, Schulter Flexion/Extension, horizontale Abduktion/Adduktion, Innen-/Außenrotation.



Abbildung 7: Armeo Spring

Quelle: Hocoma, <http://www.hocoma.com/produkte/armeo/armeo-spring/>

Die Trainingsszenarien und der Grad der Unterstützung können den Fähigkeiten des Patienten angepasst werden. Über einen Bildschirm werden dem Patienten verschiedene Situationen des alltäglichen Lebens dargestellt. Während des Ablaufes der verschiedenen Trainingsprogramme, wird der Patient dazu aufgefordert, verschiedene Aufgaben zu erfüllen, wie beispielsweise das Umsetzen von Gegenständen oder das Bestücken eines Einkaufskorbes mit Lebensmitteln. Durch dieses Augumented Feedback wird dem Patient ermöglicht, spielerisch seine Fähigkeiten zu verbessern. Der integrierte druckempfindliche Handgriff dient dabei

als Eingabegerät für den Anwender. Die Vorteile dieses Systems in Bezug zur herkömmlichen Therapie liegen im Wesentlichen auf den repetitiven Bewegungen und der Eigenmotivation des Patienten durch das sofortige Leistungsfeedback (vgl. www.hocomma.com/produkte/armeo/armeo-spring).

WaveFlex Handtrainer

Bei dem WaveFlex Handtrainer handelt es sich um eine aktive computergesteuerte Handschiene zur Wiederherstellung der Handfunktion. Die CPM³-Schiene ist in der Lage, einen passiven und physiologischen Faustschluss der erkrankten Hand zu ermöglichen. Jeder Einzelfinger wird durch eine separate Gliederkette in seinem natürlichen Bewegungsablauf über MCP-, PIP- und DIP-Gelenke⁴ bis zur vorgegebenen Belastungsgrenze vollständig gebeugt. Die WaveFlex-Schiene kann mit Batterieeinsatz über einen längeren Zeitraum mobil am Körper getragen werden. Das An- und Ablegen der Schiene soll durch einen speziellen Handschuh erleichtert werden und ist somit auch ohne Hilfspersonen möglich. Durch eine Bedieneinheit lassen sich zur Durchführung einer Therapie fünf Grundparameter programmieren. Diese fünf Grundparameter bestehen aus Flexion, Extension, Geschwindigkeit, Pause und einer Warmup-Funktion. Eine versteckte Programmierfunktion ermöglicht dem Therapeuten, die Gesamtübungsdauer je Patient zu kontrollieren. Die Geschwindigkeitsrate sowie die Umkehrkraft lassen sich individuell anpassen und es besteht die Möglichkeit, einzelne Standardparameter zu blockieren, sodass sie durch den Patienten nicht verstellt werden können.

Die Anwendung der WaveFlex-Schiene liegt im Wesentlichen im post operativen Bereich und kommt bei verschiedensten Verletzungen der Hand, wie beispielsweise Quetschungen, Verbrennungen und Frakturen zum Einsatz (vgl. Produktinformationsflyer WaveFlex OrthoMotion).

³ Continuous Passive Motion

⁴ MCP = Metacarpophalangealgelenke, PIP = proximale Interphalangealgelenke, DIP = distale Interphalangealgelenke

3.3.3 Weitere Exoskelett-Systeme

Neben den vorgestellten Systemen gibt es noch weitere Forschungsvorhaben von verschiedenen Herstellern, Universitäten und Forschungsgruppen, die sich mit der Entwicklung von Exoskelett-Systemen für die untere und obere Extremität und Gehtrainern in der Medizin oder anderen Einsatzgebieten beschäftigen.

Gerade bei den Recherchen im Internet stößt man auf eine Reihe weiterer Systeme (hauptsächlich von Herstellern aus den USA und Japan). Bei diesen Modellen liegen noch keine Berichte über den Einsatz vor, sondern nur verschiedene Konzeptstudien in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Ein prominentes Beispiel hierfür ist das Ganzkörper Exoskelett HAL. Über dieses System eines japanischen Herstellers wird bereits viel in unterschiedlichen Zeitschriften und Internetportalen berichtet. So berichtet Spiegel Online, dass dieses System in der Lage sein wird, behinderten und gebrechlichen Menschen zu helfen einen Teil ihrer Mobilität zurückzugewinnen. Das Exoskelett-System soll ausschließlich zivil genutzt werden und beispielweise in geriatrischen Einrichtungen zum Einsatz kommen. Weiter heißt es, dass HAL dem Anwender erlauben soll, fünfmal mehr Gewicht zu heben. Ermöglicht wird dies durch die Integrierung von Servomotoren und EMG⁵-Steuerung. HAL soll ein Gesamtgewicht von 17 kg haben. Die Energieversorgung geschieht über Batterien, die auf dem Rücken des Anwenders getragen werden (vgl. www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,582728,00.html). Allerdings finden sich zu diesem futuristisch gestalteten System keine weiteren Spezifikationen oder wissenschaftliche Publikationen, sodass hierzu weiteren Ausführungen nicht möglich sind.

Das Power-Jacket-System von Panasonic ist ein weiteres Beispiel für ein Exoskelett, welches in der Medizin eingesetzt werden kann, über das sich aber keine wissenschaftlichen Ausarbeitungen und keine konkreten technischen Spezifikationen finden lassen. Das System von Panasonic soll das passive Trainieren eines gelähmten Armes ermöglichen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass es sich bei dem Krankheitsbild um eine halbseitige Lähmung handelt. Sensoren an

⁵ Elektromyografie

Ellenbogen und Handgelenk der gesunden Seite übertragen die Bewegungsimpulse an die erkrankte Seite. Acht künstliche Muskeln, die durch Pressluft angetrieben werden, ermöglichen so der betroffenen Seite eine simultane Bewegung. Das System soll ein Gewicht von 2 kg haben und wird wie eine Jacke am Oberkörper getragen (vgl. Systeme für die Rehabilitation, Weber 2007). Ausführungen über Antriebseinheit, Mobilität oder Sensoren, die zum Einsatz kommen, lassen sich nicht recherchieren.



Abbildung 8: Power Jacket

Quelle: http://news.cnet.com/2300-11394_3-6120170.html

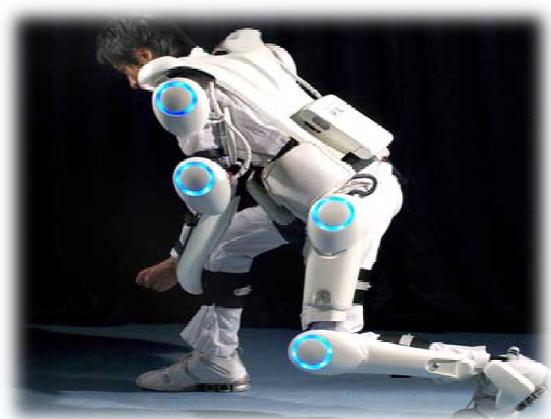


Abbildung 9: HAL

Quelle: Spiegel-Online

4 Wirksamkeit der robotergestützten Rehabilitation

In diesem Abschnitt wird die Studienlage zur Wirksamkeit robotergestützter Rehabilitation dargestellt. Die Recherche ergab, dass sich die gefundenen Studien ausschließlich auf das Krankheitsbild Hemiplegie nach Schlaganfall beziehen. Eine wissenschaftliche Ausarbeitung zu diesem Thema bietet die systematische Literaturrecherche von Hesse, Mehrholz und Werner. In ihrer Arbeit „Roboter- und gerätegestützte Rehabilitation nach Schlaganfall“ werden erste kontrollierte Studien zu diesem Thema vorgestellt.

Zu Beginn der 1990er Jahre kam in der Rehabilitation nach Schlaganfall die Laufbandtherapie auf. Ziel hierbei war die Körpergewichtsentslastung des Patienten zu ermöglichen und somit die Gangrehabilitation zu intensivieren. Allerdings wird bei dieser Methode der hohe therapeutische Aufwand nicht minimiert. Zusätzlich wurde, entsprechend einer Zusammenfassung von verschiedenen Untersuchungen (Metaanalyse) zur Laufbandtherapie, deutlich, dass diese der konventionellen Therapie nicht überlegen war. Anfang 2000 etablierten sich die Gangmaschinen zur Gangrehabilitation. Später folgten noch Robotersysteme zur Rehabilitation der Oberen Extremität (vgl. Hesse, 2008). Um die Erfolge dieser neuen therapeutischen Maßnahmen messbar zu machen, wurden verschiedene Studien durchgeführt.

Im Wesentlichen finden sich in der Literatur fünf Studien zur unteren Extremität und sieben Studien zur Oberen Extremität.

Nachfolgende Tabellen zeigen eine Zusammenfassung der recherchierten Studien:

Tabelle 3: Studien zur unteren Extremität⁶

Autoren der Studien	Rehabilitations-System	Studiendesign	Stichprobe* (n)	Therapieform: Experimentalgruppe (E) Kontrollgruppe (K)	Ergebnisse
Mayr et al., 2007	Lokomat	randomisiert kontrollierte Studie im Crossover-Design**	16	E= 15 x30 min Lokomat-Training K= 15x30 min Physiotherapie	Zum Ende der ersten Phase keine signifikanten Unterschiede der Gruppen. Nach Ende der dritten Phase leichte Vorteile für die A-B-A-Gruppe.
Pohl et al., 2006	Gangtrainer GT1	randomisiert kontrollierte Studie plus Follow-up nach sechs Monaten	155	E= 20x20 min Gangtrainer + 20x25 min Physiotherapie K= 20x45 min Physiotherapie	Signifikant mehr Patienten der Experimentalgruppe (53%) waren selbständig gehfähig geworden im Vergleich zur Kontrollgruppe (22%). Die Ganggeschwindigkeit war ebenfalls signifikant größer. Nach Follow-up (6 Monate) waren 70% der Experimentalgruppe selbständig gehfähig im Gegensatz zu 36 % der Kontrollgruppe. Die Ganggeschwindigkeit der Gruppen im Follow-up unterschied sich nicht mehr.
Tong et al., 2006	Gangtrainer GT1	randomisiert kontrollierte Studie	50	E1= 20x20 min Gangtrainer + funktionelle Elektrostimulation + 20x10 min Physiotherapie E2= 20x20 min Gangtrainer + 20x10 min Physiotherapie K= 20x30 Physiotherapie	Beide Experimentalgruppen konnten die Gehfähigkeit und Ganggeschwindigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant steigern. Die zusätzliche funktionelle Elektrostimulation konnte den Effekt nicht steigern, die beiden Experimentalgruppen unterschieden sich nicht.
Peurala et al., 2005	Gangtrainer GT1	randomisiert kontrollierte Studie	45***	E1= 15x20 min Gangtrainer + funktionelle Elektrostimulation + 55 min Physiotherapie E2= 15x20 min Gangtrainer + 55 min Physiotherapie K= 15x20 min herkömmliche Gangschule + 55 min Physiotherapie	Die Patienten beider Experimentalgruppen und die der Kontrollgruppe konnten im Ergebnis ihre Gehgeschwindigkeit und Gehausdauer verbessern. Es wurde zwischen den einzelnen Gruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt.
Husemann et al., 2007	Lokomat	randomisiert kontrollierte Studie	30	E= 20 x20 min Lokomat-Training + 20 min Physiotherapie K= 20x40 min Physiotherapie	Die Patienten der Lokomat- und Kontrollgruppe konnten nach 4 Wochen ihre Gehfähigkeit deutlich verbessern. Zwischen den beiden Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Allerdings wies die Lokomat-Gruppe eine Erhöhung der Muskelmasse im Gegensatz zur Kontrollgruppe auf.

*Akut hemiparetische Patienten, zu Beginn der Studien nicht gehfähig

**A-B-A respektive B-A-B; A: drei Wochen Therapie mit dem Exoskeletongerät; B:drei Wochen Physiotherapie

*** Chronisches Krankheitsbild, Patienten gehfähig

⁶ Angaben über Titel und Autoren der Studien im Quellenregister (alle Studien liegen im PDF-Format der Daten-CD bei)

Tabelle 4: Studien zur oberen Extremität⁷

Autoren der Studien	Rehabilitations-System	Studiendesign	Stichprobe (n)	Therapieform: Experimentalgruppe (E) Kontrollgruppe (K)	Ergebnisse
Volpe et al., 2000	MIT Manus	randomisiert kontrollierte Studie	56*	E= 20x60 min MIT Manus K= 20x60 min Scheintherapie***	Signifikanter Kraftzuwachs für die Schulter- Ellenbogen-Muskulatur in der experimentellen Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Kein Unterschied der Gruppen in Bezug auf Kraftzuwachs der distalen Armmuskulatur und der motorischen Fähigkeiten.
Aisen et al., 1997	MIT Manus	randomisiert kontrollierte Studie	20*	E= 25x60 min MIT Manus K= 25x60 min Scheintherapie***	Signifikanter Kraftzuwachs für die Schulter- Ellenbogen-Muskulatur in der experimentellen Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Kein Unterschied der Gruppen in Bezug auf Kraftzuwachs der distalen Armmuskulatur und der motorischen Fähigkeiten.
Lum et al., 2002	MIME Roboter	randomisiert kontrollierte Studie plus Follow-up	27**	E= 24x60 min MIME Roboter K= 24x60 Bobath Therapie	Während der Intervention konnte die Experimentalgruppe die motorische Kontrolle und Kraft signifikant steigern. Beim Follow-up ergaben sich zwischen den Gruppen keine Unterschiede mehr.
Hesse et al., 2005	BI-Manu-Track	randomisiert kontrollierte Studie plus Follow-up	44*	E= 30x20 min BI-Manu-Track K= 30x20 min Elektrostimulation (Beide Gruppen erhielten zusätzlich übliche Rehabilitationsmaßnahmen)	Die Experimentalgruppe wies im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikant höhere Kontrolle der motorischen Funktion und Verbesserung der Kraft der proximalen und distalen Segmente auf. Beim Follow-up wurde das gleiche Ergebnis erzielt.
Masiero et al., 2007	NeReBot	randomisiert kontrollierte Studie plus Follow-up	35*	E= 25x50 min NeReBot K= 25x30 min Scheintherapie***	Die Experimentalgruppe erzielte einen signifikant größeren Zugewinn an motorischer Kontrolle und Kraft der oberen Extremität. Beim Follow-up konnte kein signifikanter Unterschied mehr festgestellt werden.

⁷ Angaben über Titel und Autoren der Studien im Quellenregister (alle Studien liegen im PDF-Format der Daten-CD bei)

Kahn et al., 2006	Arm-Guide	randomisiert kontrollierte Studie	19**	E= 24 Trainingseinheiten Arm-Guide K= 24 Trainingseinheiten Physiotherapie	In dieser Studie konnte kein signifikanter Unterschied der Gruppen festgestellt werden.
Housman et al., 2007	T-Wrex	randomisiert kontrollierte Studie	23**	E= 24x60 min T-Wrex K= 24x60 min eigenständiges üben zu Hause	Die T-Wrex-Gruppe erzielte einen signifikant höheren Wert im Fugl-Meyer-Score ⁸ .

*Akut hemiparetische Patienten, **Patienten mit chronischem Krankheitsbild,

*** Der Patient arbeitet mit dem nicht betroffenen Arm

4.1 Bewertung der Studienlage

Die vorliegende Studienlage verdeutlicht, dass auf diesem Gebiet noch weitere vergleichende Studien (gegen etablierte Therapien) nötig sind, um einen alltagsrelevanten Zugewinn der robotergestützten Therapie nach Schlaganfall belegen zu können. Um den Alltagsnutzen der Robotersysteme realistisch darzustellen, wäre es zusätzlich sinnvoll, einzelne Kostenaspekte in die Studien mit einzubeziehen (vgl. Maschinen- und Robotereinsatz in der Neurorehabilitation 2009). Auch die Ausweitung der Studien auf weitere Krankheitsbilder würde diesen Aspekt stärken. Teilweise wurde bei den Studien zur oberen Extremität (Volpe et al., Aisen et al., Masiero et al.) für die Kontrollgruppe eine Scheintherapie durchgeführt, in der die Patienten den Roboter mit dem nicht betroffenen Arm bedienen. Somit entzieht sich bei diesen Studien der Vergleich mit konventionellen Therapien und es wird für den therapeutischen Alltag kein Mehrwert der robotergestützten Therapie dargestellt. Keine der Studien zur oberen Extremität konnte gravierende Vorteile für die Therapie von Schlaganfall nachweisen. Infolgedessen ist der therapeutische Effekt noch schwer einzuschätzen (vgl. Bast, 2008).

Die Studien zur unteren Extremität zeigen in der Tendenz, dass die robotergestützte Therapie durchaus Vorteile gegenüber der alleinigen konventionellen Therapie bietet und somit weitere Forschungen und Entwicklungen auf diesem Gebiet durchaus gerechtfertigt sind (vgl. Hesse, 2008).

⁸ Der Fugl-Meyer Test ist eine Untersuchung zur Verbesserung der Motorik nach Schlaganfall.

5 Herangehensweise

Um sich der Fragestellung der vorliegenden Arbeit zu nähern und die einzelnen Aspekte herauszuarbeiten, hat sich der Autor für eine wesentliche Herangehensweise, dem Experteninterview entschieden. Da bisher bei der Entwicklung des Exoskeletts im DFKI noch keine Expertenmeinung von Ärzten, Therapeuten und potentiellen Anwendern mit einbezogen wurde, ist dessen Einsatz in der Medizin, beispielsweise im Bereich der Rehabilitation von bestimmten Erkrankungen noch nicht hinreichend beschrieben und begründet. Neben der obligatorischen Literaturrecherche ist das Experteninterview eine Möglichkeit, zu erschließen, welche Meinung Ärzte und Therapeuten zu einzelnen Aspekten in Bezug auf Anwendung, mögliche Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit zu dem System haben. Auch aufgrund der unzureichenden Studienlage über die Wirksamkeit und den Nutzen von robotergestützten Therapiesystemen der oberen Extremität in der Medizin (vgl. Hesse, 2008), war es schlüssig, ein leitfadengestütztes Experteninterview durchzuführen.

5.1 Expertenbefragung

Das Experteninterview ist eine „ermittelnde Befragung, bei der sich die Befragungsperson durch einschlägiges Wissen auszeichnet und Zielobjekt der Informationsbeschaffung ist“ (vgl. Frackmann, 1980)

Bei einem Experteninterview geht es in erster Linie darum, die Leitfragestellung zu ergründen. Der Experte beschreibt die spezifische Rolle des Interviewpartners als Quelle von Spezialwissen über den zu erforschenden Sachverhalt. Bei der Auswahl geeigneter Interviewpartner ist zu beachten, dass der Interviewte die Art und Qualität der Informationen, die man erhält, vorgibt. Auch ist klar, dass für die Beschaffung aller benötigten Informationen mehrere Gruppen befragt werden müssen. Aufgrund der spezifischen Stellung der befragten Personen und deren jeweilige Informationen könnten gleiche Sachverhalte anders gedeutet und bewertet werden (vgl. Gläser, 2008).

Bei der Auswahl der Experten war es wichtig, dass die Personen, die befragt werden sollten, einen direkten Bezug zu robotergestützten Reha- und Therapiesystemen hatten. Hier war es also sinnvoll, Personen zu befragen, die potentielle Anwender dieses Systems sind.

Für die Rekrutierung von möglichen Interviewpartnern, wurde ein Anschreiben⁹ entwickelt, welches eine kurze Projektbeschreibung beinhaltet und das Interviewvorhaben beschreibt. Insgesamt wurden 20 Personen per Anschreiben und telefonisch kontaktiert. Für ein Interview sagten 6 Personen zu. Interviewt wurden drei Ärzte, zwei Physiotherapeuten und eine Ergotherapeutin.

Interviewte Personen:

1. Chefarzt der Abteilung Orthopädie und Unfallchirurgie der Asklepios Klinik Harburg, Herr Prof. Dr. Christian Flamme
2. Physiotherapeut, Teamleiter der Physiotherapie eines Allgemein Krankenhauses in Hamburg
3. Chefarzt des Querschnittgelähmten-Zentrums des Berufsgenossenschaftlichen Unfallkrankenhauses Hamburg, Herr Dr. R. Thietje
4. Ergotherapeutin des Berufsgenossenschaftlichen Unfallkrankenhauses Hamburg, Frau Bettina Corinth
5. Chirurg der Abteilung Orthopädie und Unfallchirurgie der Asklepios Klinik Harburg, Herr Kai Herrmann
6. Physiotherapeutin des Albertinen-Hauses Hamburg, Frau Barbara Winter

⁹ Anschreiben im Anhang

5.2 Leitfadeninterview

Die genannten Personen wurden mit Hilfe eines leitfadengestützten Interviews befragt. Ein geeigneter Rahmen für ein Experteninterview stellt ein qualitatives leitfadengestütztes Interview in Form eines halbstandardisierten Einzelinterviews dar (vgl. Gläser, 2009). Hierbei wird nur der thematische Rahmen vorgegeben, die Reihenfolge der Fragen bzw. der Gesprächsverlauf kann offen gestaltet werden. Die Vorteile dieser Befragungsmethode liegen darin, dass bei konsequenter Nutzung die Vergleichbarkeit der Daten erhöht und dem Interview eine Struktur gegeben wird, sodass unter anderem wichtige Aspekte nicht vergessen werden. Bei dieser Methode bleibt dennoch genug Raum das Interview der gegebenen Situation anzupassen. Der Interviewer hat immer die Möglichkeit, die Reihenfolge der Fragen im Verlauf des Gespräches zu ändern oder gezielt nachzufragen, wann immer es der Interviewsituation dienlich ist (vgl. Mayer, 2008).

5.3 Entwicklung des Leitfadens

Ausgehend von den theoretischen Vorüberlegungen und der Literaturrecherche wurden Hypothesen entwickelt, die als Grundlage für den Leitfaden genutzt wurden. Auch wurden eigene Erkenntnisse und Erfahrungen, die der Autor als Physiotherapeut mitbringt, in die Generierung der Hypothesen einbezogen. Ein weiterer zu berücksichtigender Punkt, waren konkrete Fragestellungen, die in Zusammenhang mit der Entwicklung des Exoskeletts im DFKI aufkamen. Die Generierung der Hypothesen erfolgte auf Grundlagen der im Lehrbuch „Qualitative Sozialforschung“ (Lamnek, 2005) vorgestellten Vorgehensweisen.

Im Folgenden werden die Hypothesen vorgestellt und der entsprechende Hintergrund erläutert.

5.4 Hypothesen

Folgende Hypothesen wurden entwickelt:

1. Hypothese: Befragte Personen, die Erfahrungen mit robotergestützten Rehabilitationssystemen und Interesse an Neuentwicklungen auf diesem Sektor

haben, sind in der Beurteilung des im DFKI entwickelten Exoskeletts hierdurch beeinflusst.

Experten, die bereits mit robotergestützten Rehabilitationssystemen oder ähnlichem arbeiten, haben durch ihre persönlichen Erfahrungen, die sowohl positiv als auch negativ sein können, ein anderes Bild derartiger Systeme vor Augen, als Experten die weniger Erfahrungen auf diesem Gebiet haben. Da bereits einige Systeme auf dem Markt sind (hauptsächlich für die untere Extremität), können die Anwender Therapieerfolge, Alltagstauglichkeit und Einsatzgebiete bestehender Systeme beurteilen und z.B. auf mögliche Anwendungsgebiete des VI-Bot-Exoskeletts übertragen. Auch technisch interessierte Experten und solche, die den aktuellen Entwicklungsstand auf diesem Sektor aufmerksam verfolgen, beurteilen sicher anders als Experten, die erstmalig mit der Fragestellung konfrontiert werden, ob ein Einsatz von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin eine sinnvolle Entwicklung ist oder nicht. Abhängig von den Erfahrungen der befragten Experten, ist mit einem unterschiedlichen Verlauf der Interviews zu rechnen und muss in der Auswertung der Daten berücksichtigt werden.

2. Hypothese: Der Einsatz des Exoskeletts in der Medizin kann eine sinnvolle Ergänzung zur herkömmlichen Rehabilitation durch Physiotherapie darstellen, aber nicht die Therapie von Menschenhand ersetzen.

Aufgrund der schon erwähnten zunehmenden Verknappung von Ressourcen und dem Einsparungszwang in der Medizin wird nach Alternativen gesucht. Gerade in den Bereichen, die sehr personalintensiv sind, wie es in der Rehabilitationsmedizin der Fall ist, werden immer wieder Einsparungen vorgenommen. Auf der anderen Seite ist dies aber auch ein Wachstumsmarkt für Medizintechnik (vgl. Maschinen- und Robotereinsatz in der Neurorehabilitation, 2009). Durch den Einsatz des mobilen Oberkörperexoskeletts könnte Personal entlastet werden und der Patient in die Lage versetzt werden, eine kontinuierliche Therapie selbständig durchzuführen. Grundsätzlich wird aber eine roboterunterstützte Therapie nie den wichtigen personellen und zwischenmenschlichen Kontakt zwischen Therapeut und

Patient ersetzen können. Das Exoskelett bietet eine zusätzliche Option zur Intensivierung der Therapie und Unterstützung für den Patienten (vgl. Hesse 2008).

3. Hypothese: Erkrankte Personen könnten in Zukunft durch den Einsatz des Exoskeletts den Alltag besser bewältigen (dies schließt auch geriatrische Patienten mit ein).

Durch den Einsatz als alltagsunterstützendes Hilfsmittel kann das Exoskelett helfen, dem Patienten mehr Selbständigkeit zu ermöglichen. Wenn die technischen Voraussetzungen des Systems dieses zulassen, würde eine maßgeschneiderte Unterstützung im beruflichen und privaten Bereich einen großen Zugewinn von Lebensqualität bedeuten. Senioren mit alterstypischen Erkrankungen und Pflegebedürftigkeit könnten in die Lage versetzt werden, ihren Alltag autonomer zu gestalten und weniger auf die Pflege dritter angewiesen zu sein.

4. Hypothese: Es ist sinnvoll, das Exoskelett so zu konzipieren, dass es so breit wie möglich eingesetzt werden kann.

Ein Exoskelett, welches verschiedene Eigenschaften in sich vereint, ist generell technisch möglich und auch in der Praxis praktikabel. Der Einsatz als Diagnosegerät¹⁰, Therapiegerät (Trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau etc.) und als alltagsunterstützendes System für die permanente Anwendung im privaten und beruflichen Bereich ist eine sinnvolle Kombination. Durch die Verknüpfung der einzelnen Eigenschaften können Kosten im Bereich der Produktion und der Anschaffung für den Anwender eingespart werden¹¹.

5. Hypothese: Die Anforderungen an das Exoskelett im Einsatz in der Medizin sind sehr speziell und erfordern stärkere Anpassungsfähigkeiten als im Einsatz für beispielsweise industrialisierte Zwecke.

¹⁰ Durch die Integrierung von verschiedenster Sensorik zur Erlangung von Messdaten, kann das Exoskelett nach Auffassung des Autors als Diagnosegeräte zum Einsatz kommen und beispielsweise Therapiefortschritte messbar machen.

¹¹ Allerdings besteht hierbei die Gefahr, dass es zu einem sogenannten „over-engineering“ kommt. Das heißt, dass das Exoskelett technisch zu aufwändig gestaltet wird und das Maß der Praktikabilität dadurch überschreitet wird. Hierbei muss also das Gleichgewicht zwischen dem technisch Machbaren und der Praxistauglichkeit für ein sinnvolles Produkt eingehalten werden.

Ein Robotersystem, welches im Bereich der Medizin eingesetzt werden soll, müsste sicherlich von der Konzeption und Gestaltung her grundsätzlich auf die Bedürfnisse des Menschen (Patienten) aufgebaut werden. Hier steht also der Mensch mit seiner Erkrankung und entsprechenden Einschränkungen im Vordergrund. Anders ausgedrückt, muss sich das Exoskelett dem Menschen anpassen und nicht der Mensch dem Exoskelett. Diese Hürde in der Konzeption und im Aufbau des Systems stellt sich sicher nicht in diesem Maße bei einem Einsatz in der Industrie, da hier vom Anwender eher verlangt werden kann, sich dem Robotersystem anzupassen.

6. Hypothese: Die äußere Gestaltung des Exoskeletts ist für die Anwendung in der Medizin ein wichtiger Faktor. Das Aussehen und die Funktionalität, wie beispielsweise das Anlegen und der Umgang mit dem Exoskelett, sind für die Akzeptanz als Hilfsmittel für den Patienten wichtig.

Die äußere Gestaltung eines medizinischen Hilfsmittels kann für die Akzeptanz für den Patienten eine große Rolle spielen. Hierbei spielt nicht nur der optische Eindruck eine Rolle, sondern vielmehr auch die Praktikabilität, die Passgenauigkeit (komfortables Tragegefühl) und eine einfache Bedienung.

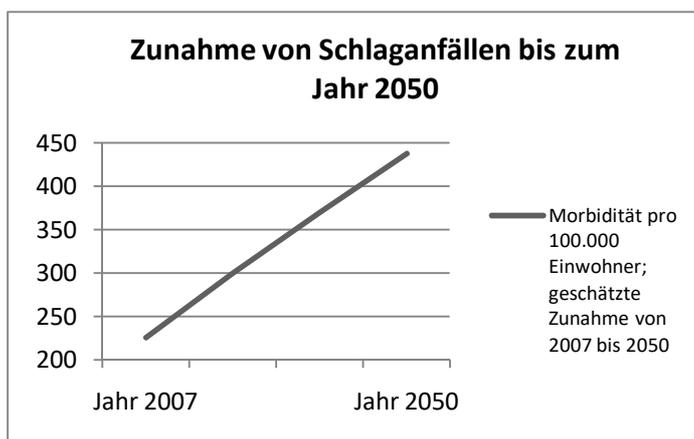
Bei Verordnungen selbst durchzuführender Maßnahmen im medizinischen Bereich, wie beispielsweise bei der Medikamenteneinnahme oder bei Vorsorgeuntersuchungen, ist eine geringe Befolgung ein bekanntes Phänomen. Auch bei der Nutzung medizinischer Hilfsmittel verringert sich durch Non-Compliance¹² die therapeutische Effizienz. Generell bedeutet das Tragen von Hilfsmitteln funktional bedingt (Anliegen an der Haut, Festigkeit, usw.) immer ein Nachteil. So können sich die Vorteile und Verbesserungen für den Patienten, die eigentlich ein Fortschritt in der medizinischen Entwicklung sind, aufheben. Mit geeigneten Maßnahmen, die das Design betreffen (Verbesserung im Bezug auf Zeitaufwand, Anpassung etc.), können Patienten darin unterstützt werden, medizinische Hilfsmittel entsprechend der Therapieempfehlung zu verwenden und die Wirksamkeit von Behandlungen daher positiv zu beeinflussen (vgl. Dannehl, 2009).

¹² Das Nichteinhalten von ärztlichen Ratschlägen bzw. die Nichterfüllung von therapeutisch notwendigen Pflichten wird als **Non-Compliance** bezeichnet.

7. Hypothese: Generell besteht in der Medizin ein Bedarf nach derartigen Systemen.

Aufgrund der, wie schon erwähnten, Verknappung von Ressourcen in der Medizin und im speziellen der hohen Kosten und dem großen personellen Einsatz in der Rehabilitation von bestimmten Erkrankungen, ist es ein logischer Schritt, nach Alternativen zu forschen um Kosten und Personal einzusparen. Zieht man exemplarisch die Erkrankung Schlaganfall hinzu, um zu erläutern, wie hoch der Bedarf auf diesem Gebiet ist, ergibt sich folgendes Bild¹³:

Der Schlaganfall ist eine Erkrankung von besonders großer Relevanz, weil er zur heutigen Zeit die am häufigsten zu dauerhafter Invalidität und Pflegebedürftigkeit führende Erkrankung ist. Die Auswirkungen des Schlaganfalls auf das Gesundheitssystem sind aus diesem Grund enorm. Der Krankenbestand an Personen nach Schlaganfall liegt nach Daten aus dem Bundesgesundheitsveys 1998 bei der deutschen Wohnbevölkerung¹⁴ im Alter von 30 bis 80 Jahren bei etwa 945.000 Personen. Die Neuerkrankungsrate (Inzidenzrate) in Deutschland an Schlaganfällen liegt jährlich bei insgesamt 230.000 Fällen (www.rki.de). Vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung in Deutschland wird die Anzahl an Schlaganfallpatienten in den nächsten Jahren deutlich zunehmen (vgl. Foerch et al., 2008).



Die jährlichen Neuerkrankungen pro 100 000 Einwohner steigen geschätzt von 226 auf 438 und damit um 94% (vgl. Fritz Beske-Institut aus Herz 34, 2009).

Abbildung 10: Zunahme von Schlaganfällen bis zum Jahr 2050

¹³ Bei diesem Beispiel geht der Autor hypothetisch davon aus, dass in Zukunft das VI-Bot-Exoskelett ein geeignetes Instrument zur Rehabilitation und Unterstützung für den Patienten nach einem Schlaganfall darstellt.

¹⁴ Unter Wohnbevölkerung versteht man in der Bevölkerungsstatistik alle Einwohner, die am maßgebenden Ort ihre alleinige Wohnung haben. Beziehungsweise bei Einwohnern, die mehrere Wohnsitze haben, nur diejenigen, die vom maßgebenden Ort aus ihrer Arbeit oder Ausbildung nachgehen.

Die direkten medizinischen Kosten dieser Erkrankung liegen nach einer Studie des Kompetenznetzes Schlaganfall bedingt durch die zu erwartenden 3,5 Mio. Patienten in den nächsten 20 Jahren bei 108,6 Mrd. Euro. Bereits für das Jahr 2004 lagen die direkten Kosten in Deutschland für diese Erkrankung bei 7,1 Mrd. Euro (Foerch et al., 2008). Ausgehend von diesen Zahlen wird deutlich, dass bei diesem Beispiel ein großes Potential für die Anwendung des Exoskeletts gesehen werden kann. Bei einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis geht der Autor davon aus (vorausgesetzt das Exoskelett ist technisch ausgereift und erprobt), dass eine flächendeckende Anwendung des Systems möglich ist und wie am Beispiel Schlaganfall erläutert ein Bedarf besteht.

8. Hypothese: Das Exoskelett ist in der Medizin nur dann finanzierbar, wenn die Kosten nicht die schon bestehenden Kosten für Hilfsmittel in der Medizin erheblich überschreiten und wenn die Kosten-Nutzen-Rechnung in einem positiven Verhältnis steht.

Wenn es darum geht in der Medizin Kosten einer bestimmten Maßnahme im Verhältnis zu dem resultierenden Nutzen zu setzen, steht man grundsätzlich vor dem Problem den Nutzen einer Maßnahme für den Patienten bzw. für die Gesellschaft in monetären Einheiten auszudrücken. In der Gesundheitsökonomie können Wirtschaftsanalysen einen Vergleich alternativer Diagnose- und Behandlungsverfahren in Bezug auf Kosten und Nutzen ermöglichen. Die Analysen werden durch verschiedene ethische Theorien gerechtfertigt (vgl. Gandjour et al 1999).

Es bestehen verschiedene Methoden von ökonomischen Evaluationsverfahren, wie etwa die Kosten-Minimierungs-Analyse, die Kosten-Nutzen-Analyse, die Kosten-Effektivitäts-Analyse und die Nutzwert-Analyse (vgl. Wasem 1997). Um eine Akzeptanz bei den Krankenkassen, Therapieeinrichtungen, Krankenhäusern und in der Gesellschaft zu finden, muss sich die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit des VI-Bot-Exoskeletts beweisen und sich einem Evaluationsverfahren unterziehen. Zudem muss sich ein medizinisches Produkt auch gegenüber Konkurrenzprodukten abheben, etwa kostengünstiger und effektiver sein, um am Markt bestehen zu können. Am Beispiel Schlaganfall soll dies näher erläutert werden: Nach einer

Studie vom Kompetenznetz Schlaganfall¹⁵ belaufen sich die lebenslangen direkten Behandlungskosten pro Schlaganfallpatient in Deutschland auf durchschnittlich 43.129 Euro (vgl. Kolominsky-Rabas, 2006). Nach Meinung des Autors würde sich der Einsatz eines Exoskeletts, welches vielleicht 10 - 20.000 Euro kostet, zur Behandlung von Schlaganfällen nicht rechtfertigen, da nicht davon auszugehen ist, dass dadurch die direkten Behandlungszeiten und Behandlungskosten erheblich reduziert werden. Nicht berücksichtigt bleiben allerdings bei der Studie vom Kompetenznetz Schlaganfall die so genannten indirekten Kosten, die etwa durch frühzeitige Erwerbsunfähigkeit oder durch unentgeltliche Pflege durch Angehörige und Bekannte entstehen. Es sollte also von weit höheren volkswirtschaftlichen Kosten ausgegangen werden. Konkret bedeutet dies, dass der Schlaganfall die Hauptursache für lebenslange Behinderungen im Erwachsenenalter in Deutschland ist. Rund vierzig Prozent versterben binnen eines Jahres, fast zwei Drittel der Patienten, die einen Schlaganfall überleben, sind behindert und auf fremde Hilfe angewiesen (vgl. Kolominsky-Rabas, 2006). Ausgehend von diesen Tatsachen wäre ein Exoskelett finanzierbar. Wenn es gelänge ein System zu entwickeln welches einen Schlaganfallpatienten selbständiger handeln lässt, die Pflege entlastet und der Patient ggf. wieder ins Berufsleben einsteigen könnte, würden sich auch hohe Kosten für ein Exoskelett rechtfertigen.

9. Hypothese: Der (großflächige) Einsatz eines mobilen Oberkörperexoskeletts kann sich auch nachteilig auf den Anwender auswirken bzw. Gefahren mit sich bringen.

Der Hintergrund dieser Hypothese sind Überlegungen des Autors über mögliche nachteilige Eigenschaften des Exoskeletts bei der Anwendung für den Patienten. Hierfür liegen allerdings in der Literatur keine konkreten Hinweise vor, die auf Gefahren oder nachteilige Eigenschaften schließen lassen. Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass ein Eingriff mit medizinischen Hilfsmitteln in dem Maße, wie das Exoskelett auf den menschlichen Körper einwirkt, immer auch zu den

¹⁵ Das Kompetenznetz Schlaganfall ist ein bundesweites Netzwerk von Ärzten, Wissenschaftlern, Selbsthilfeverbänden und anderen Organisationen zum Austausch von Informationen über den Schlaganfall.

Vorteilen, die so ein System bringen würde, auch Nachteile mit einzukalkulieren sind. Der Autor geht davon aus, dass gerade die Experten, die schon mit robotergestützter Rehabilitation Erfahrungen haben, gewisse nachteilige Aspekte vorbringen die im Zusammenhang mit dem therapeutischen Einsatz derartiger Systeme zu finden sind.

5.5 Der Fragebogen des Leitfadeninterviews

Die Fragestellungen des Leitfadens¹⁶ orientieren sich an den vorher erstellten Hypothesen und deren Hintergründe. Der Interviewleitfaden wurde in fünf Themengebiete geteilt, um die Übersichtlichkeit und spätere Auswertung zu vereinfachen.

Die Themengebiete im Einzelnen, dargestellt mit der konkreten Fragestellung und den dazugehörigen Hypothesen:

1. Allgemeines

a) Wie betrachten Sie allgemein die Entwicklung hingehend zur technisierten Behandlung von Patienten und die Entwicklung hingehend zur Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin?

b) Verfolgen Sie oder Ihre Einrichtung aktuelle Entwicklungen in der medizinischen Forschung auf diesem Bereich (Beispielweise technische Hilfsmittel zur zielgerichteten Rehabilitation)?

Mit dieser Fragestellung ist es möglich, die in Hypothese 1 aufgestellte Behauptung zu überprüfen.

2. Anwendungsbereiche

a) Wie schätzen Sie den Einsatz in der Geriatrie ein? Ist es vorstellbar, Senioren mit alterstypischen Erkrankungen und Einschränkungen durch ein Exoskelett den Alltag zu erleichtern und Pflegepersonal zu entlasten?

¹⁶ Der für die Interviews genutzte Fragebogen ist im Anhang abgedruckt.

b) Auf welchem Fachgebiet sehen Sie die größte Möglichkeit, ein Exoskelett für den Arm bzw. Oberkörper einzusetzen? (Neurologie, Geriatrie, Chirurgie, Orthopädie...)

c) An welche speziellen Erkrankungen denken Sie dabei?

d) In welchem Einsatzgebiet sehen Sie für das Exoskelett die größten Potentiale?

- Als Diagnosegerät?

- Als Therapiegerät (Trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau etc.)?

- Als alltagsunterstützendes System für den Patienten, auch als Alltagssystem für permanente Anwendungen zu Hause oder im Büro?

e) Ist ein System sinnvoll, welches alle Komponenten vereint? In welchem Umfang erscheint dies sinnvoll?

f) Halten Sie das Trainieren im virtuellen Raum für sinnvoll? Mithilfe einer Art Cyberbrille und Filmaufnahmen aus der eigenen Wohnung könnte ein teilweise gelähmter Mensch in einer virtuellen Welt mit dem Exoskelett üben, um sich später zu Hause besser zurechtzufinden (vor Ort, in der Reha oder im Krankenhaus können Bewegungsabläufe mit Therapeuten trainiert und überwacht werden).

Für die Überprüfung der Hypothesen 2 und 3 wurden entsprechende Fragen entwickelt und unter der Überschrift Anwendungsbereiche zusammengefasst.

3. Anforderungen

a) Wie müsste Ihrer Meinung nach ein Exoskelett konzipiert sein?

1. Wie wichtig ist die individuelle Anpassung an die Physiologie des Patienten?

2. Welche Freiheitsgrade sind sinnvoll oder unbedingt nötig?

3. Wie wichtig ist z.B. bei geführten Bewegungen durch das Exoskelett die Nachahmung natürlicher Bewegungsabläufe?

4. Welche Sensorik könnte sinnvoll sein, um Therapiefortschritte messbar zu machen? (Beschleunigungsmesser, Druckmesser etc. um individuelle

*Anpassungen vorzunehmen und um Therapiefortschritte messbar zu machen;
was sollte alles messbar sein?)*

b) Welche speziellen Anforderungen müsste ein Exoskelett noch mit sich bringen, um in der Medizin eingesetzt werden zu können? Dinge, die speziell beachtet werden müssten, auch im Umgang mit Patienten?

c) Wie glauben Sie, würden Patienten ein Exoskelett annehmen?

Als Grundlage dieser Fragestellungen dienten die Hypothesen 4, 5 und 6.

4. Wirtschaftliches

a) Ist ein System wie das Exoskelett in der Medizin generell finanzierbar?

Wenn ja, wie könnte so eine Finanzierung aussehen?

Wie hoch dürften die Kosten eines derartigen Systems maximal sein, um nicht die Wirtschaftlichkeit zu vernachlässigen?

b) Ist ein Exoskelett als individualisiertes Massenprodukt in der Medizin in Zukunft denkbar?

c) Wie sehen Sie den Bedarf derartiger Systeme (auch im Zuge der Rationierung im Gesundheitswesen)?

Als Grundlage dieser Fragestellungen dienten die Hypothesen 7 und 8.

5. Differenzierte Sichtweise¹⁷:

a) Sehen Sie evtl. sogar Gefahren beim Einsatz eines Exoskeletts? Ist es denkbar, dass sich z.B. eine Abhängigkeit entwickelt?

b) Gibt es auch Aspekte, die man Ihrer Meinung nach kritisch betrachten muss?

Für diese beiden Fragen wurde die Hypothese 9 als Grundlage genommen.

¹⁷ Unter dem Themengebiet differenzierte Sichtweise findet sich auf dem Interviewleitfaden noch eine weitere Frage, die aber im Verlauf der Interviews nicht gestellt wurde.

5.6 Durchführung der Interviews

Die Interviews wurden im Zeitraum von 5. Oktober 2009 bis zum 25. Januar 2010 durchgeführt. Vier der Gespräche fanden in den jeweiligen Einrichtungen nach vorheriger Terminabsprache in den Dienstzimmern der interviewten Personen statt. Zwei der Gespräche wurden in einem privaten Umfeld (Gaststätte und private Wohnung der interviewten Person) durchgeführt. Zu den Interviews wurde noch ein Ambienteprotokoll verfasst. Vor dem Interviewtermin bekamen die befragten Personen Informationen über Projektvorhaben und Informationen über das VI-Bot-Exoskeletts in Form eines Anschreibens¹⁸. Zusätzlich zu dem Anschreiben wurden den Interviewpartnern Systemabbildungen und Eckdaten des Exoskeletts zugeschickt.

Fünf der Interviews wurden mit dem Einverständnis der befragten Personen mit Hilfe eines Diktiergerätes aufgezeichnet. Ein Interview wurde schriftlich protokolliert. Auf Wunsch konnte der Interviewpartner angeben, ob das Interview anonym ausgewertet werden sollte. Hierfür entschloss sich eine Person. Die reine Interviewdauer mittels Leitfaden betrug zwischen 30 und 50 Minuten. Mitunter wurden nach Beendigung der Aufzeichnung und Abfragung des Interviewleitfadens einzelne Aspekte zwischen Interviewer und interviewter Person nochmal aufgegriffen und detaillierter besprochen. Nach Beendigung der Interviews kam es bei fünf Interviews noch zu einem Meinungsaustausch über das Exoskelett.

Die Tonaufnahmen wurden anschließend transkribiert und zur Analyse und Auswertung der Interviews herangezogen. Der Meinungsaustausch, der zwischen den Parteien stattfand, wurde nicht zur Auswertung der Daten herangezogen, da hier eine Beeinflussung des Interviewers zu erwarten war.

¹⁸ Im Anhang

5.7 Analyse der Interviews

Die Grundlage der Interviewanalyse sind die angefertigten Transkripte und schriftlichen Aufzeichnungen. Die Personen, die keinen Wert auf Anonymität legten, werden in den Transkripten namentlich genannt und zusätzlich als „IP 1“ bis „IP 6“ durchnummeriert. Die Person, die namentlich anonym bleiben wollte, wird als „IP 4 Physiotherapeut“ in dem Transkript und nachfolgender Auswertung gekennzeichnet. Das schriftlich protokollierte Interview (Interview Nr. 2) fließt ohne Transkribierung in die Analyse mit ein.

Nach der Methode von Mayring¹⁹ wurden die Texte analysiert. Bei dieser Methode werden die Kernaussagen aus den Texten gefiltert und auf diese reduziert. Weiter sollen die einzelnen Textbausteine auf eine einheitliche Sprachebene gebracht werden und einheitlich zusammenfassend reduziert werden. Nach dieser Textbearbeitung wurden die reduzierten Aussagen nach ihrem Inhalt verschiedener Kategorien zugeordnet (vgl. Lamnek, 2005). Folgende Kategorien, die unter der Kategorienbeschreibung dargestellt sind, wurden nach mehrmaliger Sichtung der Interviews im Zusammenhang mit den bestehenden Hypothesen, den Themengebieten und der Fragen aus dem Leitfaden gebildet.

¹⁹ Univ.Prof. Mag. Dr. Philipp A.E. Mayring ist unter anderem in der Methodenforschung der qualitativen Inhaltsanalyse tätig.

6 Resultate

6.1 Kategorienbeschreibung

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse werden folgend die durch die Bearbeitung entwickelten Kategorien in einer Übersicht dargestellt und kurz beschrieben:

1. *Allgemeine Betrachtungen über die Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin:* In dieser Kategorie wird die generelle Meinung über robotergestützte Rehabilitation abgebildet. Das Interesse an den Entwicklungen auf diesem Sektor wird mit dieser Kategorie zusätzlich dargestellt.

2. *Anwendungsbereiche:* Diese Kategorie stellt die von den Experten angenommenen Anwendungsbereiche des Exoskeletts dar. In welchen Fachgebieten und bei welchen bestimmten Erkrankungen der Einsatz des Systems sinnvoll erscheint, wird hier aufgezeigt. Im Speziellen greift diese Kategorie auch die Anwendung in der Geriatrie auf und den Einsatz für das Training in virtuellen Realitäten.

3. *Einsatzgebiete:* Die speziellen Einsatzgebiete des Exoskeletts könnten aus der Sicht der Ingenieure mehrere Bereiche erschließen. Denkbar ist der Einsatz als Diagnosegerät, Therapiegerät (Trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau etc.) und als alltagsunterstützendes System für die permanente Anwendung im privaten und beruflichen Bereich. Hier soll geklärt werden, welche Bereiche aus Sicht der Experten sinnvoll erscheinen und ob gegebenenfalls eine Kombination aus verschiedenen Eigenschaften bei der Entwicklung des Exoskeletts angestrebt werden sollte.

4. *Anforderungen an das Exoskelett für den Einsatz in der Medizin:* Diese Kategorie verdeutlicht, welche Anforderungen ein Exoskelett in der Medizin erfüllen sollte, um praxistauglich eingesetzt werden zu können. Dies beinhaltet bestimmte Eigenschaften in Bezug auf Technik, äußere Gestaltung

und Anwendbarkeit für den Patienten und Anwender wie Physiotherapeut oder Arzt.

5. *Wirtschaftlichkeit und Bedarf:* Hier wird die Frage nach der Wirtschaftlichkeit und dem Bedarf eines derartigen Systems kategorisiert.

6. *Kritische Aspekte:* Hier werden die Aspekte in einer Kategorie zusammengefasst, die sich kritisch mit der Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Rehabilitation von erkrankten Personen auseinandersetzen. Die verschiedenen Sichtweisen der Experten zu diesem Thema können den Ingenieuren wichtige Anhaltspunkte zur Entwicklung des Exoskeletts bieten.

7. *Ausblick:* Aufgrund der Annahme, dass die Entwicklung auf diesem Sektor von Geräteherstellern und Forschung weitergeführt wird und sich wahrscheinlich die Rehabilitationslandschaft in Zukunft verändern wird, ist unter dieser Kategorie die Meinung der Experten diesbezüglich zusammengefasst.

6.2 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse gibt die Meinung der befragten Experten wieder. Grundlage der Ergebnisse sind die von den Interviews angefertigten Transkripte und das vom Interviewer schriftlich aufgezeichnete Gesprächsprotokoll. Aufgrund der teilweise interessanten Aussagen der Interviewpartner, hat sich der Autor entschlossen, die kompletten Interviews in bearbeiteter und teilweise gekürzter Form der Arbeit anzuhängen.

6.2.1 Allgemeine Betrachtungen über die Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin

Die aktuelle Entwicklung auf diesem Sektor wird zum Teil sehr ambivalent bewertet. Gerade die Experten, die durch Anwendung mit robotergestützter Rehabilitation bereits praktische Erfahrungen im Therapiealltag gesammelt haben, stehen der

Anwendung derartiger Systeme eher kritisch gegenüber. So berichtet Dr. Thietje über die Erfahrungen, die er mit dem Lauflernroboter „Lokomat“ gemacht hat:

„Der wurde uns verkauft für viel Geld, von Wissenschaftlern entwickelt unter der Vorstellung, dass man sehr große Erfolge erzielen könnte, wenn man das Gerät nur konsequent nutzt. Aus meiner Sicht stellt sich dies wesentlich problembehafteter dar als dieses uns Initial so vermittelt wurde, in der Gestalt [...], dass man bei weitem nicht so nah an das gewünschte Ziel in der Praxis herankommt, wie es vermutet wurde.“ IP_4

Auch die Erfahrungen eines Physiotherapeuten gehen in diese Richtung:

„Ich arbeite seit über 10 Jahren in der Neurologie und habe schon die größten Geräte, von Motomed bis Hand-Finger-Automat gesehen, die letztendlich für den Patienten immer auch einen Hoffnungsschimmer boten und diese Patienten aber immer nach einem oder halben Jahr zurück kamen und sagten, dass hat es jetzt aber nicht gebracht und die Enttäuschung sehr groß war [...]“ IP_3

Bemängelt wird an dieser Stelle besonders, dass robotergestützte Hilfsmittel auf den Markt kommen, die nicht hinreichend auf die Wirksamkeit und Praxistauglichkeit erprobt und erforscht sind. So treten die von den Herstellern versprochenen Behandlungserfolge aus Sicht der Experten, die mit solchen Systemen arbeiten nicht ein.

Drei der Experten betrachten die Entwicklung auf diesem Sektor auch aus wirtschaftlicher Sicht kritisch. Zum einen, da die Anwendung neuer Systeme zur jetzigen Zeit eben nicht die gewünschten Ziele erreicht und zum anderen wird in Frage gestellt, ob es überhaupt möglich ist, Ressourcen (Personal, Kosten, Zeit) mit derartigen Systemen einzusparen.

„[...] Letztendlich betrachte ich die Funktionsweise natürlich in dem Bereich der Einsparungen [...] - in personellen und qualitativen Einsparungen - und das halte ich für sehr fragwürdig, da Maschinen letztendlich [...] noch nicht die Therapie an sich durchführen können.“ IP_3

„[...] Die Vorstellung, dass man menschliche Ressourcen spart, in dem man technische Ressourcen einsetzt, ist wesentlich problembehafteter [...]. Es geht schon damit los, dass so ein Gerät aufgestellt werden muss, dass es individuell eingestellt werden muss, dass Mitarbeiter eingearbeitet werden müssen und das ist es ein Unterschied, ob ich 25 Mitarbeiter habe, die ich einarbeiten muss, um gelegentlich ein solches Gerät in Betrieb zu haben, oder ob ich einen Wissenschaftler habe, der seine Diplomarbeit damit fertigstellt und natürlich einen vollkommen anderen Zugang hat, vielleicht von der technischen Seite betrachtet einen anderen Zugang hat, aber nicht den Überblick haben kann, was die Anwendung in der Praxis betrifft.“ IP_4

Die Experten, die der Entwicklung solcher Systeme eher positiv gegenüberstehen, sehen diese Entwicklung als Chance für eine bessere Rehabilitation für den Patienten.

„HapticWalker²⁰ oder auch C-Leg²¹ sind ja beides schon praktische Umsetzungen von solcher künstlichen Intelligenz und ich glaube, dass das sehr positiv ist. Zum einen für diejenigen, die eben z.B. keine untere Extremität haben und zum anderen auch positiv im Hinblick auf eine bessere Rehabilitation von Patienten.“ IP_1

Grundsätzlich besteht aber von keinem Experten eine grundlegende ablehnende Haltung gegenüber Neuentwicklungen auf diesem Sektor. Prinzipiell wird von den Experten darauf hingewiesen, dass Forschung hier in erster Linie dem Patienten zugutekommen sollte und nicht das wirtschaftliche Interesse einzelner Gerätehersteller im Vordergrund stehen sollte.

„[...] Nichtsdestotrotz ist die Forschung dies bezüglich nicht nur legitim, sondern auch erforderlich. Nur macht es keinen Sinn, mit einem Gerät an den Markt zu gehen, das keine Marktreife hat“. IP_4

²⁰ Siehe dazu „Rehabilitationsroboter“

²¹ C-Leg ist eine Beinprothese der Firma Otto Bock. Hauptbestandteil dieser Prothese ist ein mikroprozessorgeregeltes Kniegelenk
(Quelle: http://www.ottobock.de/cps/rde/xchg/ob_de_de/hs.xsl/1913.html)

6.2.2 Anwendungsbereiche

Bei der Frage nach den Anwendungsbereichen sind sich die Experten weitestgehend einig. Zum einen wird der Bereich der Neurologie als großes Anwendungsfeld gesehen und zum anderen die Chirurgie.

„Also ich glaube, dass Patienten mit neurologischen Krankheitsbildern genauso in Betracht kommen können wie Patienten mit chirurgisch bedingten Defiziten. Letztlich wirken die sich ja auch ganz ähnlich aus.“ IP_3

Auch was den Einsatz in der Geriatrie betrifft herrscht Einigkeit. Hier sieht keiner der befragten Experten eine sinnvolle und zielgerichtete Anwendung für den Patienten.

Für die Einsätze in virtuellen Szenarien, z.B. das Trainieren von bestimmten Bewegungsabläufen im virtuellen Raum, sehen die Experten hingegen Potentiale.

Nach Meinung der Experten kann das Exoskelett eingesetzt werden, wenn die normale Armfunktion eingeschränkt oder gar nicht mehr vorhanden ist. Die genannten Krankheitsbilder in der Neurologie und in der Chirurgie sind: Plexusparesen, hoher Querschnitt, periphere Nervenläsionen, neurologische Erkrankungen, die zu einem Muskelausfall führen und Traumata im Armbereich wie Frakturen, Muskelabrisse und Kompartmentsyndrome. Die Anwendung bei Schlaganfall wird eher kritisch gesehen, da diese Krankheit von den Experten vielmehr als Erkrankung des alten Menschen gesehen wird und hier der Einsatz des Exoskeletts als unwahrscheinlich beurteilt wird.

„[...] aber sowas flächendeckend einzusetzen, bei Schlaganfall oder ähnlichem, halte ich für vollkommen abwegig.“ IP_4

„[...] wenn ich den geriatrischen Verlauf sehe, sind es eher Krankheitsbilder, wo ich denke, da wird es wahrscheinlich nicht eingesetzt [...]“ IP_5

Gegen den Einsatz in der Geriatrie spricht vor allen Dingen, dass die Senioren mit der Handhabung eines solchen Systems nicht zurechtkommen würden und der allgemeine Zugang zur Technik fehlt. Zudem sieht es ein Experte als schwierig an, ein Exoskelett in diesem Bereich finanzierbar zu gestalten.

„[...] Erstens ist der Zugang solch alter Menschen zu solchen Systemen erschwert und zum zweiten, da brauchen wir uns gar nichts vormachen, das wird unsere Volkswirtschaft sich nicht erlauben können. [...] Es gibt dann vielleicht eine Hand voll, die ihr Erbe verpfänden, um sowas zu versuchen, aber sowas flächendeckend einzusetzen, [...] halte ich für vollkommen abwegig.“ IP_4

„[...] Senile Patienten sind, so glaub ich nicht die geeigneten Patienten für so eine hoch schwierige und technisch auch anspruchsvolle Situation. Da überhaupt zurechtzukommen, das kann ich mir nicht vorstellen.“ IP_5

„[...] wir haben`s ja bei den geriatrischen Patienten eher mit multimorbiden Krankheitsbildern zu tun. Es kommt meistens nicht nur eine Sache dazu, sondern zwei, drei Geschichten, von Arthrosen bis Muskelatrophie und so weiter und so fort. [...] da kann ich mir das nicht vorstellen.“ IP_3

In dem Bereich der virtuellen Realitäten fehlten den befragten Experten die Erfahrung, um fundierte Aussagen treffen zu können. Grundsätzlich wird aber beispielsweise das Trainieren im virtuellen Raum als mögliche Therapieoption angesehen. Zum einen wird als Vorteil wahrgenommen (technische Möglichkeit vorausgesetzt), Szenarien der eigenen häuslichen Umgebung in der Rehabilitationseinrichtung virtuell nachzustellen, um sich später zu Hause besser zurecht zu finden.

Zum anderen kann eine Simulation der häuslichen Umgebung für den Patienten aufdecken, welche Möglichkeiten er in Zukunft zu Hause mit diesem System haben wird und an welcher Stelle beispielsweise Umbaumaßnahmen der Wohnung getroffen werden müssen, um vielleicht eine dauerhafte selbständige Versorgung des Patienten zu gewährleisten.

„Prinzipiell könnte ich mir das aber in verschiedenen Bereichen vorstellen, zumindest für den Bereich Querschnittslähmung, allein schon um eine Vorstellung davon zu bekommen, ob es überhaupt Sinn macht in den Räumlichkeiten weiter zu wohnen.“ IP_4

„[...] Wenn es aber in die ganz spezielle Richtung geht, wie ist das Badezimmer geschnitten, wie hoch ist zu Hause tatsächlich der Schrank um irgendwo hin zugreifen? Dann denke ich, ist das schon sehr interessant, das mit einer Cyberbrille zu machen.“ IP_5

6.2.3 Einsatzgebiete

Bei der Beurteilung der Einsatzgebiete ist das Ergebnis relativ eindeutig. Bis auf eine der befragten Personen sehen es die Experten nicht als vorteilhaft, ein Exoskelett zu konzipieren, welches verschiedene Aufgaben z.B. Therapie und Diagnostik, übernehmen könnte. Vielmehr wird hiervon sogar abgeraten.

„Also, die eierlegende Wollmilchsau macht nie alles gut. Also, man sollte sich wirklich auf einen speziellen Bereich dort begrenzen.“ IP_3

„Als Diagnosesystem halte ich das für vollkommen ungeeignet, im Vergleich zu den Untersuchungsmethoden, die heute schon zur Verfügung stehen. Ich kann mir keinen einzigen Aspekt vorstellen, was dieses Gerät besser machen könnte, im Vergleich zu den bestehenden Methoden.“ IP_4

Als eine sinnvolle Anwendung wird von allen Experten der Therapiebereich gesehen und vor allem die Anwendung als alltagsunterstützendes System. Für diesen Bereich wird dem Exoskelett die größte Chance eingeräumt, einen Platz in der Medizin zu finden.

„Ich würde es komplett für den Therapiebereich einsetzen. Vielleicht einmal zur Kräftigung bei bestimmten Erkrankungen und da denke ich natürlich auch an die ganzen querschnittgelähmten Patienten, die entlassen werden, ohne dass sie den Arm in irgendeiner Weise einsetzen können.“ IP_5

„Also ich denke schon, wenn die Konzentration auf so ein Gerät da ist, sollte man sich wirklich auch auf Alltagssituationen beziehen, verstärkte und

passive Bewegungen innerhalb dieses Bereichs [...] alles andere ist too much.“ IP_3

„Also ich würde auch den Einsatzbereich in einer dauerhaften Hilfsmittelversorgung sehen - mit einer vorrausgehenden intensiven Therapie natürlich.“ IP_1

Ein Exoskelett, das in der Lage ist, einem Patienten mit funktionseingeschränkter oberer Extremität den Alltag zu erleichtern und die Selbständigkeit des Patienten zu verbessern, bedeutet aus Sicht der Experten ein Zugewinn an Lebensqualität. Es würde auch dazu beitragen, die Kosten der Pflege und Rehabilitation zu vermindern, da der Patient in die Lage versetzt wird, Aufgaben aus diesen Bereichen ohne Hilfe durchzuführen.

6.2.4 Anforderungen an das Exoskelett für den Einsatz in der Medizin

Die Frage danach, wie exakt ein Exoskelett individuell an den Patienten angepasst und eingestellt werden muss, ist eindeutig. Alle Experten sprechen sich dafür aus, dass eine Anwendung in der Medizin nur dann möglich ist, wenn das Exoskelett in der Lage ist, sich genau dem Patienten anzupassen.

„Das ist das A und O, wenn sowas einsetzbar sein soll, das muss hochindividuell eingestellt werden.“ IP_4

Durch die Individualität des Menschen muss das Exoskelett in erster Linie Anpassungen an die Körpermaße und an entsprechenden Hebelverhältnisse ermöglichen. Darüber hinaus spielt, nach Ansicht der Experten, die individuelle Anpassung an die Bewegungsphysiologie des einzelnen Patienten eine ebenso große Rolle. Das Exoskelett sollte sich praktisch dem gewohnten Bewegungsmuster des Individuums anpassen, um gezielt, sinnvoll, aber auch gefahrlos in der Medizin eingesetzt werden zu können. Das Gerät sollte Patienten nicht in Positionen zwingen, die vielleicht physiologisch richtig sind, aber nicht dem Bewegungsmuster des Patienten entsprechen.

„Da die Personen sehr, sehr unterschiedlich sind, müsste nicht nur auf die Körperlängen und die entsprechenden Hebelverhältnisse eingestellt werden, sondern das Gerät müsste rein theoretisch schon auf die gewohnten Bewegungen des Patienten eingestellt werden.“ IP_3

„Das Gerät selber soll den Patienten nicht in eine Position zwingen, die das Zentralnervensystem seit 30 Jahren nicht mehr kennt. So wird es nicht zum Erfolg führen.“ IP_3

Durch eine nicht exakte Einstellung besteht nach Meinung der Experten sogar ein erhebliches Verletzungsrisiko für den Patienten. Es könnte also bei einer schlechten Anpassung des Exoskeletts zu Frakturen, Muskeltraumata und Reizungen der Gelenke kommen. Auch unerwünschte Nebenwirkungen, wie beispielweise Schädigungen der Wirbelsäule, könnten durch eine schlechte Anpassung und durch Zwangshaltungen entstehen.

„Die Extremitäten sind alle unterschiedlich lang, wenn das Gelenk nicht an der richtigen Stelle ist, dann haben wir gleich verloren. Dann geht das nicht oder es kommt zu einer Fraktur. [...] Dann wäre vielleicht die Schulter wieder in Ordnung, aber danach die BWS oder HWS²² hinüber.“ IP_3

Für den Einsatzbereich in der Medizin ist weiterhin das Gewicht des Systems ein wichtiger Punkt. Zwei Experten gehen davon aus, dass durch ein zu hohes Gewicht des Exoskeletts die Rumpfstabilität des Patienten erheblich beeinträchtigt werden könnte und sich somit zum einen die Sturzgefahr erheblich erhöht und zum anderen aus Mangel der Stabilität und das Gewicht des Systems sich eine erhöhte Bandscheibenvorfallanfälligkeit einstellen könnte.

Das Maß an Freiheit, welches das Exoskelett in den Gelenken ermöglichen sollte, müsste sich an den Tätigkeiten des alltäglichen Lebens orientieren. Bewegungsgrade, die z.B. Körperpflege und Tätigkeiten im Haushalt ermöglichen, sind anzustreben. Drei Experten gehen davon aus, dass für Alltagsbewegungen ohnehin nur 50 - 60% vom Bewegungspotential des Schultergelenkes genutzt

²² BWS= Brustwirbelsäule, HWS= Halswirbelsäule

werden. Das Exoskelett muss demnach nicht unbedingt das volle physiologische Bewegungspotential des Menschen ausnutzen können. Nach Meinung der Experten ist vielmehr wichtig, dass Alltagssituationen überhaupt gemeistert werden und einfache Tätigkeiten selbständig vom Patienten durchgeführt werden können.

„[...] Wenn man z.B. 15 - 20% Streckdefizit im Ellenbogen hat, hat das sicherlich im alltäglichen Leben wenig Konsequenz.“ IP_4

„Der Mensch ist immer in dem Bereich, dass er sich in einem freien Raum bewegen kann, das heißt, wir haben einen extrem hohen Range of Motion²³ in allen Gelenken, gerade im Schultergelenk, um dann letztendlich davon 50% , vielleicht 60% im Alltag auszunutzen.“ IP_3

Die Wichtigkeit der Nachahmung natürlicher Bewegungsabläufe²⁴ durch das Exoskelett wird durch die Befragten unterschiedlich bewertet. Für einen Experten ist hierbei primär wichtig, dass überhaupt funktionelle Bewegungsabläufe möglich sind. Die Funktion spielt also für ihn aus ärztlicher bzw. therapeutischer Sicht, eine übergeordnetere Rolle, als die Natürlichkeit der Bewegungen. Allerdings gibt er zu bedenken, dass es aus Sicht des Patienten anders aussehen könnte, da unnatürliche Bewegungsabläufe stark auffallen würden und der Patient dadurch eine Benachteiligung erfahren würde.

„Ich denke die Natürlichkeit ist nicht das entscheidende Kriterium, sondern die Funktionalität. Also es muss so sein, dass die Funktion, die man damit verbindet, auch umgesetzt werden kann. Ob es deswegen zwingend harmonisch ist, halte ich persönlich für nicht so wichtig.“ IP_1

Im Gegensatz dazu besteht die Meinung, dass natürliche Bewegungsabläufe für die Rehabilitation und Nutzung im Alltag für das Exoskelett eine wichtige Funktion sind. Gerade für die feinmotorischen Bewegungsabläufe des Arms scheint es (insbesondere für vier Experten) besonders wichtig, die individuellen und

²³ Der Range of Motion beschreibt, auf den menschlichen Körper bezogen, den möglichen Bewegungsbereich einzelner Gelenke.

²⁴ Unter „natürlichen Bewegungsabläufen“ versteht der Autor den normalen Bewegungsfluss des menschlichen Körpers. Im Gegensatz dazu stehen roboterhafte, abgehackte Bewegungsabläufe.

natürlichen Bewegungsabläufe des Patienten aufzugreifen und in das Bewegungsschema des Exoskeletts zu integrieren. Allerdings spielt bei ausschließlich passiv geführten Bewegungen, wie sie z.B. in der Rehabilitation zur Mobilisierung (Erhalt und Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit) durchgeführt werden, dieser Punkt keine große Rolle.

„[...] wenn ich ein Organ wie die Hand nehme, was extrem auf Feinmotorik geeicht ist, braucht man da entsprechende Feinjustierung, während man bei groben Sachen, wie Stehen oder Strecken im Hüftgelenk, relativ viel an Ungenauigkeit zulassen könnte.“ IP_4

Ein großes Problem für die Experten stellt sich in der Beschaffenheit der Kontaktpunkte zwischen Exoskelett und Träger. Gerade wenn es in den Bereich der dauerhaften Anwendung als medizinisches Hilfsmittel geht. Hierbei steht nicht nur der Tragekomfort im Mittelpunkt, sondern es besteht auch die große Gefahr von Druckwunden, die an den Kontaktstellen entstehen können. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Entwicklung des Exoskeletts eine befriedigende Lösung für das Problem gefunden werden muss, um es in der Medizin einsetzen zu können. Das Exoskelett muss so beschaffen sein, dass zu keinem Zeitpunkt eine Gefahr für den Träger oder für Dritte von ihm ausgeht.

Die Anwendbarkeit sollte so einfach wie möglich gestaltet sein. Das beinhaltet unter anderem das Bedienen, die Handhabung und das Anlegen des Exoskeletts. Dies erhöht nicht nur die Sicherheit, sondern auch die Akzeptanz beim Anwender.

„[...] das Anlegen eines solchen Teils muss innerhalb kurzer Zeit möglich sein [...] mit möglichst wenig Helfern [...] das Tragen muss auch sicher sein. Es muss sichergestellt sein, dass man sich da nicht verletzen kann [...] und nicht sich Selbst oder Dritte dabei beschädigt.“ IP_5

„Je einfacher sie vom Handling ist, umso besser wird es vom Patienten akzeptiert und umso geringer ist auch die Gefahr, dass irgendwelche Sachen nach hinten losgehen.“ IP_3

Die Akzeptanz von medizinischen Hilfsmitteln, so sind sich die Experten einig, ist im Allgemeinen eher gering. Gerade bei jüngeren Patienten wird beobachtet, dass die Zuhilfenahme von technischen Hilfsmitteln häufig abgelehnt wird. Ein Grund hierfür ist das offensichtliche Wahrnehmen ihrer Behinderung.

„Wir sehen das ja schon an scheinbar einfachen Fragestellungen, wie einem Patienten zu vermitteln, dass er in einem Elektrorollstuhl eigentlich besser aufgehoben ist, als in einem mechanischen Rollstuhl. Selbst dieser Sprung ist für viele Patienten schon fast unmöglich anzunehmen, weil der mechanische Rollstuhl klein ist und kompakt, man ist offensichtlich weit weniger behindert als mit einem Elektrorollstuhl. Und gerade unsere jungen Patienten, wo man sagen könnte, gerade die profitieren von der hochtechnisierten Gerätschaft, gerade die tun sich überproportional schwer, das anzunehmen.“ IP_5

„ [...] es kommt immer wieder vor, dass Patienten die Computerversorgung ablehnen und dann erst im Lauf der Therapie der Punkt kommt, wo die Patienten sagen, ich probiere das jetzt mal. Gerade bei diesen Geräten z.B. bei der Help-Arm-Versorgung ist es schwierig, die Patienten von Anfang an damit zu versorgen.“ IP_5

Für die Akzeptanz eines Hilfsmittels, das für die dauerhafte Versorgung eines Patienten konzipiert ist, spielt das Design eine tragende Rolle. Je unauffälliger, organischer und körpernah das Exoskelett konstruiert ist, desto höher ist die Chance, dass ein Patient die Hilfsmittelversorgung annimmt und der ärztlichen Verordnung nach anwendet.

„ [...] Und der wissenschaftliche Aspekt in Ehren und das technisch heute Machbare in Ehren, das garantiert aber keineswegs einen Erfolg hinsichtlich der Anwendung, wenn es vom Patienten nicht angenommen wird.“ IP_4

6.2.5 Wirtschaftlichkeit und Bedarf

Die Experten orientieren sich bei der Einschätzung über die Kosten eines derartigen Systems an dem, was derzeit Prothesen oder ähnliche Hilfsmittelversorgungen kosten. Die Experten gehen davon aus, dass Hilfsmittel, die weitaus teurer sind, nicht mehr verordnungsfähig sind und deshalb für den medizinischen Alltag als unerheblich eingeschätzt werden. Natürlich können die Kosten im experimentellen Bereich höher angesetzt werden, jedoch sind auch hier Grenzen gesetzt. Die Experten halten Kosten auf diesem Gebiet bis ca. 10.000€ für realistisch. Die Preise für derartige Systeme müssen aber im Verhältnis zu den Leistungen und Nutzen gesehen werden, die ein entsprechendes Gerät bringen kann.

Zum Nutzen eines Exoskeletts in der Medizin werden keine konkreten Aussagen getroffen. Grundsätzlich besteht nach Meinung der Experten erst mal die Notwendigkeit, einen funktionierenden Prototyp zu testen und dies nicht nur unter Laborbedingungen, um eine konkrete Aussage über den Nutzen treffen zu können. Generell wird aber angenommen, dass in Zukunft solche Systeme zunehmend eingesetzt werden und der Bedarf sich danach richtet, bei welchen Erkrankungen es zum Einsatz kommen kann.

6.2.6 Kritische Aspekte

Die Experten, die bereits Erfahrung mit Robotersystemen in der Medizin gesammelt haben, sehen es als größtes Problem an, dass Systeme auf den Markt kommen, die nicht ausgereift und praxistauglich sind. Die Gefahr hierbei ist, dass die teuer angeschafften Geräte trotz geringen Nutzens eingesetzt werden, um keine Verluste zu machen. Für den Patienten wirkt sich dies gleich doppelt negativ aus. Erstens entstehen falsche Hoffnungen in Bezug auf die Wirksamkeit der Geräte und zweitens verstreicht viel Zeit bei der Anwendung von Robotersystemen, die im therapeutischen Sinne an anderer Stelle sinnvoller hätte eingesetzt werden können.

„[...] Ich habe schon die größten Geräte [...] gesehen, die letztendlich für den Patienten immer auch einen Hoffnungsschimmer boten, aber diese Patienten, die diese Geräte nutzten, immer nach einem oder halben Jahr

zurück kamen und sagten, das hat es jetzt aber nicht gebracht und die Enttäuschung sehr groß war [...] und sehr viel Kapazität und Know-how in die Anpassung, in die Anlernung des Patienten hineinfließt, ohne das letztendlich danach irgendein Ergebnis dabei raus kommt. Vielleicht sogar eine Verschlechterung. Am Anfang finden alle solche Systeme ganz prima aber dann am Ende werden alle wieder den klassischen weg der Physiotherapie nehmen.“ IP_3

Auch wird allgemein die Gefahr gesehen, dass robotergestützte Systeme in Zukunft als Allheilmittel in der Rehabilitation eingesetzt werden könnten, um Kosten zu sparen und dies unabhängig von der individuellen Situation des Patienten.

Die Experten, die keine praktischen Erfahrungen mit robotergestützte Systeme gemacht haben, sehen keine Gefahren in der Anwendung eines Exoskeletts.

6.2.7 Ausblick

Die Forschung an neuen Behandlungsmöglichkeiten und Rehabilitationsverfahren wird auf diesem Gebiet von allen Experten als legitim und sogar als notwendig eingeschätzt. Auch wird vermutet, dass sich derartige Systeme weiter in der Medizin etablieren werden und sich entsprechend des technischen Fortschrittes die Alltagstauglichkeit und der Behandlungserfolg deutlich verbessern wird. Die Entwicklung in diese Richtung wird als Chance verstanden, Patienten mit körperlichen Einschränkungen eine effektivere Rehabilitation zu ermöglichen und die Selbständigkeit der betroffenen Personen zu verbessern. Als Voraussetzung hierfür wird vorgeschlagen, eine enge Kooperation zwischen Ärzten, Therapeuten und Geräteherstellern anzustreben.

„Da gibt es einfach eine große Diskrepanz zwischen dem theoretisch Sinnvollen und der wirklichen praktischen Umsetzung. Und dann darf man auch nicht darüber hinwegsehen, dass es eine erhebliche Diskrepanz gibt zwischen der Einschätzung von der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit eines

Systems, zwischen dem, der das System entwickelt hat und dem, der das hinterher anwendet bzw. bezahlen muss“ IP_4

Es wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung sinnvoller und gut funktionierender Systeme noch lange Zeit in Anspruch nehmen wird und eine Vielzahl an Studien und Tests notwendig sein werden, damit sich Robotersysteme in der Medizin durchsetzen können.

„[...] ich habe große Probleme mir vorzustellen, dass sowas innerhalb kürzerer Zeit zu einem Massenprodukt wird.“ IP_4

Die befragten Personen sind sich ebenfalls in dem Punkt einig, dass auch in Zukunft robotergestützte Rehabilitation immer nur eine zusätzlich Option zum notwendigen interpersonellen Kontakt zwischen Patient und Therapeut darstellen wird. Niemals wird ein Roboter bei einer sinnvollen Rehabilitation die Arbeit von Menschenhand ersetzen können.

6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse des Experteninterviews

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Erkenntnisse der Interviews noch einmal zusammenfassend dargestellt und erläutert, welche Elemente besonders wichtig sind bei der Entwicklung und Anwendung eines Exoskeletts.

Die Anwendung eines Oberkörper-Exoskeletts erfordert von Patienten, die potentielle Nutzer dieses Systems wären, ein gewisses Maß an Kompetenzen. Es muss beispielweise verstanden werden, um was es sich bei diesem System handelt. Welche Eigenschaften es mit sich bringt und wie es angewendet wird (ein Schlaganfall kann beispielweise neben motorischen Störungen auch die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen einschränken). Der Patient sollte eine positive Grundeinstellung gegenüber technischen Hilfsmitteln haben, um eine zielgerichtete und sinnvolle Anwendung zu ermöglichen. Gerade ältere Menschen könnten eine ablehnende Haltung gegen derartige Systeme einnehmen, sodass eine Anwendung in der Geriatrie wenig sinnvoll erscheint.

Das Oberkörper - Exoskelett benötigt eine flexible Anpassungsmöglichkeit, um den Bedürfnissen des individuellen Patienten und der Krankheitsform gerecht zu werden. Das Exoskelett muss in der Lage sein, sich dem Patienten anzupassen. Die verschiedenen Krankheitsbilder in der Neurologie, Orthopädie, Chirurgie, etc. erfordern unterschiedliche Eigenschaften von einem technischen Hilfsmittel wie einem Exoskelett. Auch die Anwendungsausrichtung in z.B. Therapie, Diagnose oder als alltagsunterstützendes System erfordert große Unterschiede in der Konzeption. Es scheint aber ohnehin sinnvoll zu sein, eine Anwendungsausrichtung des Exoskeletts im Vorfeld festzulegen. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit, sind für den Einsatz die Bereiche der Therapie und als alltagsunterstützendes System am vielversprechendsten. Es spricht also einiges dafür, vor der Geräteentwicklung genau zu klären, an welche Patientengruppe sich das Konzept des Exoskeletts richten soll. Auch muss beispielsweise beachtet werden, dass bei gleichen Krankheitsbildern die Ausfälle in Ausprägung und Art deutlich variieren können. Es ist davon auszugehen, dass es nicht die vollendete Wundermaschine geben wird, die allen Patienten im gleichen Maße gerecht werden kann.

Eine technisierte Therapie kann und wird niemals die konventionelle Behandlung durch Therapeuten ersetzen können. Sinnvoll ist jedoch die gezielte Kombination aus beidem. So sind (natürlich) die Ressourcen einer Therapie von Menschenhand begrenzt. Hier kann das Oberkörper-Exoskelett die Lücke schließen und eine kontinuierliche Therapie bzw. Unterstützung für den Patienten gewährleisten.

Beachtet werden muss, dass häufig unter anderem mit einer neurologischen Schädigung eine Störung des Vegetativums einhergeht. Dies kann z.B. bedingt durch Durchblutungsstörungen der Haut, den Patienten für Dekubitus besonders anfällig machen. Die Kontaktstellen zwischen Mensch und Exoskelett müssen daher besonders gefertigt werden um Verletzungen durch Druckstellen zu vermeiden.

Die Gestaltung eines Exoskeletts ist ein wichtiger Faktor. Damit ein Patient einen direkt am menschlichen Körper getragenen Roboter als Hilfsmittel akzeptiert, sind die Alltagsstauglichkeit (Anpassung, Flexibilität, Steuerung, Gewicht) und das äußere Design maßgebliche Faktoren für den Erfolg einer entsprechenden Maßnahme.

Die Wirtschaftlichkeit ist maßgeblich vom Bedarf und Kosten-Nutzen-Verhältnis abhängig. Um hierzu Aussagen zu treffen ist es nötig, die derzeit unzureichende Studienlage zu verbessern und das Kosten-Nutzen-Verhältnis messbar zu machen.

Anwendung bei bestimmten Erkrankungen

Folgend werden die von den Experten vorgeschlagenen Krankheitsbilder, bei denen möglicherweise das Exoskelett zum Einsatz kommen könnte zusammengefasst und erläutert.

Zerebraler Insult:

Bei einem zerebralen Insult (Schlaganfall) kommt es bedingt durch eine mangelnde Blutversorgung des Gehirns zu einem plötzlichen Ausfall von Hirnfunktionen. Je nach Stärke und Lokalisation der Schädigung kommt es zu einer Vielzahl von Ausfallerscheinungen. Typische Symptome einer Apoplexie sind Lähmungen von einzelnen Gliedmaßen bis hin zu einer Hemiplegie (komplette Lähmung einer Körperseite). Die zu nächst schlaffen Lähmungen, entwickeln sich im Verlauf der Krankheitsgeschichte zu einer spastischen Lähmung. Desweiteren nehmen Schlaganfallpatienten ihre betroffene Seite weniger wahr, als sei sie nicht vorhanden (vgl. Lexikon der Medizin und Pschyrembel). Diese Tatsachen führen dazu, dass die Anwendung eines Exoskeletts hier nur bedingt sinnvoll erscheint. In einer späten Phase der Rehabilitation könnte der Einsatz eines Exoskeletts aber durchaus denkbar sein. Voraussetzung hierfür ist, dass die Plastizität (neu Organisation) des Gehirns soweit fortgeschritten ist, dass der Patient in der Lage ist, die erkrankte Seite selbständig zu aktivieren und die Spastik durch therapeutische Maßnahmen weitgehend abgeklungen ist.

Periphere Lähmungen / Plexuspareesen:

Ursachen von peripheren Lähmungen sind z.B. traumatische Schädigungen, Entzündungen oder idiopathische Lähmungen der peripheren Nerven. Das Leitsymptom dieser Schädigung ist eine schlaffe Lähmung der betroffenen Extremitäten, einhergehend mit einer folgenden Muskelatrophie (vgl. Lexikon der

Medizin und Pschyrembel). Bei peripheren Lähmungen könnte die Anwendung eines Oberkörper-Exoskeletts unterstützend bzw. kraftverstärkend für den betroffenen Arm eingesetzt werden. Auch um dauerhafte Bewegungseinschränkungen der Gelenke (Kontrakturen) durch Verkürzung von Muskeln, Sehnen, Bändern und Faszien zu verhindern. Durch eine passive Stimulation in Form von Bewegung, kann einer vollständigen Atrophie der betroffenen Muskulatur entgegen gewirkt werden. Für den Einsatz bei peripheren Schädigungen der Nerven könnte das Exoskelett ein geeignetes Therapie- und Hilfsmittel darstellen.

Traumatische Defektwunden:

Nach einem Trauma kann eine Vielzahl von Defekten auftreten. Neben Knochenbrüchen kann es auch zu Verletzungen des Weichteilmantels kommen, die z.B. durch offene Frakturen, Quetschungen und Abrisswunden hervorgerufen werden. Hierbei können ganze Strukturen des Bewegungsapparates zerstört werden. Ein Exoskelett kann hierbei die verlorengegangenen Funktionen von beispielsweise einzelnen Oberarmmuskeln kompensieren.

Frakturen:

Bei der Rehabilitation von Frakturen spielt eine schnelle Funktionsherstellung der betroffenen Körperregion eine große Rolle. Es gilt Kontrakturen zu vermeiden, ohne die Bruchstelle zu stark zu belasten. Die Mobilität und Eigenständigkeit des Patienten soll so schnell wie möglich wieder hergestellt werden. Ein Oberkörper-Exoskelett könnte für diese Rehabilitationszwecke eine Anwendung finden.

6.4 Überprüfung der Hypothesen

Zur Komplementierung der Ergebnisse, sollen in diesem Abschnitt nun die zuvor aufgestellten Hypothesen in einer kurzen Übersicht anhand der Interviewresultate überprüft werden.

1. Hypothese: Befragte Personen die Erfahrungen mit robotergestützten Rehabilitationssystemen und Interesse an Neuentwicklungen auf diesem Sektor haben, sind in der Beurteilung des im DFKI entwickelten Exoskeletts hierdurch beeinflusst.

Im Verlauf der Interviews hat sich herausgestellt, dass sich diese Hypothese bestätigt hat. Interviewpartner mit direkten Erfahrungen auf diesem Sektor sehen die robotergestützte Therapie kritischer und können dieser Entwicklung nicht nur positive Seiten abgewinnen.

2. Hypothese: Der Einsatz des Exoskeletts in der Medizin kann eine sinnvolle Ergänzung zur herkömmlichen Rehabilitation durch Physiotherapie darstellen, aber nicht die Therapie von Menschenhand ersetzen.

Diese Hypothese konnte durch die Interviewpartner bestätigt werden. Auch in der Literatur wird dieser Punkt mehrfach betont.

3. Hypothese: Erkrankte Personen könnten in Zukunft durch den Einsatz des Exoskeletts den Alltag besser bewältigen (dies schließt auch geriatrische Patienten mit ein).

Diese Hypothese konnte nur teilweise bestätigt werden, da alle Interviewpartner davon ausgehen, dass der Einsatz des Exoskeletts für geriatrische Patienten noch nicht sinnvoll bzw. möglich erscheint. Generell sind die Experten sich aber darüber einig, dass das Exoskelett den Alltag von Patienten erleichtern kann.

4. Hypothese: Es ist sinnvoll, das Exoskelett so zu konzipieren, dass es so breit wie möglich eingesetzt werden kann.

Diese Hypothese ließ sich nicht bestätigen. Ein Exoskelett- System, welches verschiedenste Funktionen in sich vereint, wie beispielsweise Diagnose und

Therapie, wird von den Experten nicht befürwortet. Vielmehr sollte sich der Fokus auf eine Disziplin beschränken und diese müsste dann voll ausgereift sein.

5. Hypothese: Die Anforderungen an das Exoskelett im Einsatz in der Medizin sind sehr speziell und erfordern stärkere Anpassungsfähigkeiten als im Einsatz für beispielsweise industrialisierte Zwecke.

Aufgrund der besonderen Sorgfalt, die beim Umgang mit erkrankten Menschen angezeigt ist, ist diese Hypothese strenggenommen keine Vermutung, sondern eine Selbstverständlichkeit und wurde von den Experten uneingeschränkt bestätigt.

6. Hypothese: Die äußere Gestaltung des Exosketts ist für die Anwendung in der Medizin ein wichtiger Faktor. Das Aussehen und die Funktionalität, wie beispielsweise das Anlegen und der Umgang mit dem Exoskelett, sind für die Akzeptanz als Hilfsmittel für den Patienten wichtig.

Die Gestaltung des Exosketts ist nach Meinung der Experten erst einmal der Funktion anzupassen. Dass heißt, die Akzeptanz dieses Systems ist in erster Linie davon abhängig, wie funktionell und alltagstauglich es konzipiert ist. In zweiter Linie ist hier das Aussehen bzw. das optische Design von Bedeutung.

7. Hypothese: Generell besteht in der Medizin ein Bedarf nach derartigen Systemen.

Dieser Hypothese wurde zugestimmt. Nach Einschätzung der Experten besteht ein Bedarf an Systemen die das Personal entlasten, die Kosten einsparen können und die den Patienten in die Lage versetzen die Rehabilitation eigenmotiviert voranzutreiben. Somit wurde diese Hypothese bestätigt.

8. Hypothese: Das Exoskelett ist in der Medizin nur dann finanzierbar, wenn die Kosten nicht die schon bestehenden Kosten für Hilfsmittel in der Medizin überschreiten und wenn die Kosten-Nutzen-Rechnung in einem positiven Verhältnis steht.

Generell wurde diese Hypothese von den Experten unterstützt, allerdings ist hier nicht so sehr die Orientierung an den schon bestehenden Hilfsmitteln der ausschlaggebende Punkt, sondern vielmehr die Frage nach dem Nutzen dieses

Systems. Dies bedeutet folglich, dass ein Exoskelett entsprechend teurer sein kann, wenn der Nutzen dieses rechtfertigt.

9. Hypothese: Der (großflächige) Einsatz eines mobilen Oberkörperexoskeletts kann sich auch nachteilig auf den Anwender auswirken bzw. Gefahren mit sich bringen.

Diese Hypothese wurde im Prinzip nicht bestätigt. Eine Gefahr wird grundsätzlich nur dann gesehen, wenn ein Produkt (Exoskelett) auf den Markt kommt, welches nicht ausgereift und auf die Wirksamkeit untersucht worden wäre. Bestimmte Faktoren könnten sich dann nachteilig auf den Patienten auswirken.

7 Fazit / Diskussion

7.1 Zusammenfassende Schlussbetrachtung

In dieser Arbeit wurde ein Überblick über die Thematik robotergestützter Rehabilitation in der Medizin dargestellt. Einzelne Studien zur Neurorehabilitation rechtfertigen die Entwicklung auf diesem Sektor und es ist davon auszugehen, dass die geräte- und robotergestützte Therapie einen festen Platz in der Rehabilitationsmedizin einnehmen wird. Weite Teile der Arbeit beschäftigen sich mit der Durchführung und Auswertung von Experteninterviews. Die Ergebnisse der Befragung zeigen auf, dass auch die Experten generell diese Entwicklung befürworten. Auffällig ist, dass die Experten eine Anwendung des Exoskeletts bei Schlaganfällen nur bedingt befürworten. Dies steht diametral zu dem was in der Literatur beschrieben wird. Auch die bestehenden Systeme zielen auf die Rehabilitation von Schlaganfällen ab. Die Ausweitung auf andere Krankheitsbilder könnte demzufolge von Klinikern erwünscht sein und es besteht die Chance neue Teilbereiche der robotergestützten Rehabilitation zu erschließen.

Allerdings wird auch deutlich, dass die robotergestützte Therapie noch am Anfang steht und die bereits eingeführten Systeme nicht als Allheilmittel eingesetzt werden können. An dieser Stelle soll auch nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Entwicklung nicht dahingehend sein sollte konventionelle Therapien, wie sie in der Physio- und Ergotherapie üblich sind, zu ersetzen, sondern Systeme zu entwickeln die diese unterstützen. Die Belange des Patienten, schnelle und gute Rehabilitation, sollten gewahrt bleiben und nicht über wirtschaftliche Interessen stehen. Die Verantwortung für eine gute Therapie kann nicht an Maschinen abgegeben werden und sollte auch aus Gründen der wichtigen interpersonellen Kontakte zwischen Therapeut und Patient in Menschenhand bleiben.

7.2 Beantwortete und offene Fragen

Im Rahmen dieser Arbeit konnte die Leitfragestellung, ob es möglich ist, bedarfsorientierte medizinische Einsatzbereiche bzw. Anwendungen eines mobilen Oberkörper-Exoskeletts auf Basis des im VI-Bot-Projektes entwickelten Systems zu erschließen, grundsätzlich beantwortet werden. Aus der Literatur geht hervor und die Experten bestätigen dieses, dass gerade bei Krankheiten, die eine lange Rehabilitationszeit mit sich bringen unterstützende Robotersysteme sinnvoll eingesetzt werden können. Es zeigt sich, dass bei einer Reihe von Krankheitsbildern der Einsatz eines mobilen Oberkörper-Exoskelett denkbar ist. Auch gibt die Arbeit Hinweise darüber, wie ein Exoskelett möglicherweise gestaltet sein müsste und welche Funktionen bzw. Aufgaben es in der Medizin zukünftig übernehmen könnte. Insofern wird also klar, dass ein Markt für derartige Systeme besteht und sich medizinische Einsatzbereiche bzw. Anwendungen erschließen lassen.

Für den nächsten Schritt der Entwicklung eines mobilen Oberkörper-Exoskeletts, welches in der Rehabilitationsmedizin eingesetzt werden kann, bleiben viele Fragen offen und eine Reihe von Entwicklungsschritten müssen bewältigt werden. Kooperationen von Klinikern und Entwicklern müssen angestrebt werden, eine Zielgruppe muss in Abhängigkeit von der Betroffenheit der Patienten den Anforderungsspezifikationen der Anwender und dem zu erwarteten Nutzen in der Praxis festgelegt werden. Unvermeidbar ist die Durchführung von Studien, um Effektivität und Effizienz im Vergleich zu konventionellen Therapien festlegen zu können (vgl. Hesse, 2009). Nicht zuletzt muss sich ein neues System auch mit den schon bestehenden Systemen vergleichen und behaupten können.

Das weitere Vorgehen in diese Richtung muss natürlich auch im Einklang mit dem stehen, was technisch möglich ist und ob die Anforderungsspezifikationen der Anwender überhaupt umzusetzen sind.

Literaturverzeichnis

Aisen, M.L / Krebs, H.I./ Hogan, N./ McDowell, F./ Volpe, B.T: The effect of robot-assisted therapy and rehabilitative training on motor recovery following stroke, Arch Neurol, 54, 1997 S. 443– 446

Argo Medical Technologies Ltd., ReWalk, Internetauftritt der Firma, www.argomedtec.com, http://www.argomedtec.com/pdfs/Restoing_Mobilty.pdf, letzter Zugriff am 19.05.10

Bast, V.: Reha auf Knopfdruck, Finacial Times Deutschland, Ausgabe vom 14.07.2008

Dannehl, S.: Prospektiv-nutzergerechte Gestaltung von Medizinprodukten – Methoden zur akzeptanzfördernden Gestaltung von durch Patienten selbst genutzten Hilfsmitteln, http://www.zmms.tu-berlin.de/prometei/download/poster/BWMMS09_prometei_Poster-Dannehl.pdf, letzter Zugriff am 25.05.2010

ETH Zürich: Sensory-Motor Systems Lab, ARMin, www.smsmavt.ethz.ch/research/projects/armin, letzter Zugriff am 19.05.10

Fischer, H. / Voges, U. : Medizinische Robotersysteme, in: Kramme, R. (Hrsg.) Medizintechnik: Verfahren - Systeme – Informationsverarbeitung, Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2007, S. 853 ff

Frackmann, M.: Experten-Interview, in Arbeiten und Lernen, Friedrich Verlag, Velber, 1980, Heft 10-10a, S. 34

Fraunhofer IPK und TU Berlin, Flyer der Forschungsgruppe Rehabilitationsrobotik <http://www.ipk.fraunhofer.de/reharobotik>, letzter Zugriff am 19.05.10

Foerch, C. et al.: Die Schlaganfallzahlen bis zum Jahr 2050, für die Arbeitsgruppe Schlaganfall Hessen, Deutsches Ärzteblatt, Heft 26, 2008, S. 467-473

Gläser, J. / Laudel, G.: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse, 3. Auflage, GWV Verlag, Wiesbaden 2008, S. 11 ff

Gandjour, A. / Lauterbach, K. W.: Allokationsproblematik im Kontext beschränkter finanzieller Ressourcen, Der Internist, No. 3 ,1999, S.255-259

Groß, D. / Jakobs, E. (Hrsg.): E-Health und technisierte Medizin - Neue Herausforderungen im Gesundheitswesen, LIT Verlag, Berlin 2007

Hesse, S. / Werner, C. / Brocke, J.: Maschinen- und Robotereinsatz in der Neurorehabilitation - Erwartungshaltung der Kliniken, Orthopädie-Technik, Heft 2, 2009, S. 74-77

Hesse, S. / Mehrholz, J. / Werner, C.: Roboter- und gerätegestützte Rehabilitation nach Schlaganfall - Gehen und Arm-/Handfunktion, Deutsches Ärzteblatt, Heft 18, 2008, S. 330-336

Hesse, S. / Werner, C. / Bardeleben, A.: Der schwer betroffene Arm ohne distale Willküraktivität – ein »Sorgenkind« der Rehabilitation nach Schlaganfall?!, Neurol Rehabil, 10 (3), 2004, S.120-126

Hesse, S. / Werner, C. / Pohl, M. / Rueckriem, S. / Mehrholz, J. / Lingnau, M.L.: Computerized arm training improves the motor control of the severely affected arm after stroke. A single-blinded randomized trial in two centres. Stroke 2005; 36: 1960–1966.

Housman, S. / Le, V. / Rahman, T. / Sanchez RJ, Reinkesmeyer DJ: Arm-training with T-WREX after chronic stroke: preliminary results of a randomized controlled trial. Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 12–15, Noordwijk, The Netherlands

Husemann, B. / Mueller, F. / Krewer, C. / Heller, S. / Koenig, E.: Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. Stroke 2007; 38: 349–54.

Hocoma, Lokomat: Hersteller Internetauftritt,

www.hocoma.com/produkte/lokomat, letzter Zugriff am 19.05.10

Hocoma, Armeo: Hersteller Internetauftritt,

www.hocoma.com/produkte/armeo/armeo-spring, letzter Zugriff am 19.05.10

Kahn, L.E. / Zygmán, M.L. / Rymer, W.Z. / Reinkesmeyer, D.J.: Robot-assisted reaching exercise promotes arm recovery in chronic hemiparetic stroke: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehab* 2006; 3: 12–6

Kolominsky-Rabas, P. et al: Lifetime Cost of Ischemic Stroke in Germany: Results and National Projections From a Population-Based Stroke Registry, The Erlangen Stroke Project, *Stroke* Heft 37, 2006, S. 1179-83

Lamnek, S.: *Qualitative Sozialforschung: Lehrbuch*, 4. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim, Basel 2005

Lum, P.S / Burgar, C.G. / Shor, P.C. et al.: Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 952–9.

Lexikon der Medizin, Urban & Schwarzenberg, München 1997

Masiero, S. / Celia, A. / Rosati, G. / Armani, M.: Robotic-assisted rehabilitation of the upper limb after acute stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88: 142–9.

Masur, H.: Sinnvoller Einsatz von Robotern in der Neurorehabilitation – Fiktion oder Realität, *Deutsches Ärzteblatt*, Heft 18, 2008, S. 329

Mayr, A. / Kofler, M. / Quirbach, E. / Matzak, H. / Fröhlich, K. / Saltuari, L.: Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair* 2007; 21: 307–14

Mayer, H. O.: *Interview und schriftliche Befragung*, 4. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2008, S.37 ff

Naeser, T.: Ein Roboter mit viel Gefühl, Faszination Forschung, Wissenschaftsmagazin der Universität München, Ausgabe 3, München 2008, S. 56-61, das Magazin steht auf der Internetseite - http://portal.mytum.de/pressestelle/faszination-forschung/2008nr3/index_html zum Download bereit, letzter Zugriff am 27.05.2010

Nef, T. / Riener, R.: Shoulder Actuation Mechanisms for Arm Rehabilitation Exoskeletons Proceedings of the 2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics Scottsdale, AZ, USA, October 19-22, 2008, STAATS U UNIBIBL BREMEN. Downloaded on July 8, 2009

Peurala, S.H. / Tarkka, I.M. / Pitkänen, K. / Sivenius, J.: The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients with chronic stroke. Arch Phys Med Rehabil 2005; 86: 1557–64.

Pohl, M. / Werner, C. / Holzgraefe, M. et al.: Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multi-centre trial. Clin Rehabil 2007; 21: 17–21

Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, 260. Auflage, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin 2004

Robert Koch-Institut: Auswertungsergebnisse: Herz- und Kreislauf-Krankheiten, http://www.rki.de/cln_169/nn_197444/sid_D2C63B20242CAC84F595AB456CF80E7C/DE/Content/GBE/Auswertungsergebnisse/nichtuebertragbareKrankheiten/HerzKreislaufKrankheiten/hkk__inhalt.html?__nnn=true, letzter Zugriff 25.05.2010

Reha-Stim Produktflyer Gangtrainer GT1:

<http://www.rehastim.de/cms/assets/files/Flyer/Gangtrainer%20GT%20I.pdf>, letzter Zugriff am 19.05.10

Spiegel Online: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,druck-582728,00.html>, letzter Zugriff am 19.05.10

Tong, R.K. et al.: Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer, with and without functional electric stimulation, in subacute stroke: a randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil 2006; 87; 1298–304

Volpe, B.T. / Krebs, H.I. / Hogan, N. / Edelstein, O. / Diels, C. / Aisen, M.: A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. Neurology 2000; 54: 1938–1944.

WaveFlex OrthoMotion: Produktinformationsflyer

http://www.orthorehab.com/intl_Documents/Brochures/MM6000XBR2b.pdf,

letzter Zugriff am 19.05.10

Weber, S.: Systeme für die Rehabilitation, Vortragsreihe zu Medizingerätetechnik, Technische Universität München, 2007

Wasem, J.: Ökonomische Evaluation als Entscheidungshilfeinstrument für die Etablierung und Sicherung eines medizinischen Standards, in: Nagel, E. Fuchs, Ch. (Hrsg.): Leitlinien und Standards im Gesundheitswesen, Köln, 1997

Welt online: Artikel: Roboter ersetzen Menschen,

http://www.welt.de/wirtschaft/article703475/Roboter_ersetzen_Menschen.html,

letzter Zugriff am 25.05.2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, 18.06.2010

Niels Will

Anhang

Anhang A Anschreiben

Anhang B Fragebogen

Anhang C Transkripte

Anhang A

Niels Will [REDACTED]
[REDACTED] Hamburg

Telefon [REDACTED]
Mobil [REDACTED]
Email [REDACTED]

DFKI Bremen
Robotics Innovation Center
Robert-Hooke-Straße 5
28359 Bremen

Telefon (0421) 218-64100
Telefax (0421) 218-64150

Internet:
<http://www.dfki.de/robotik>

Ihr Zeichen:

Ihre Nachricht vom:

Unser Zeichen:

Datum:

Anfrage für ein Interview zur Erstellung einer Forschungsarbeit

Sehr geehrte Damen und Herren,

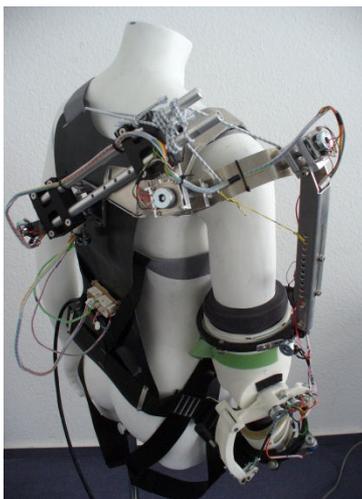


Abb. Prototyp des im DFKI entwickelten Exoskeletts

im Rahmen meiner Forschungsarbeit an dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Bremen untersuche ich die medizinische Anwendungsmöglichkeit für ein neuartig entwickeltes Exoskelett (Außenskelett). Zurzeit wird im DFKI an der Entwicklung eines mobilen Oberkörper-Exoskeletts gearbeitet. Das mobile Exoskelett ist Teil des VI-Bot-Projektes (Virtula Immersion Robot) gefördert durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung). Das mobile Exoskelett des VI-Bot-Projektes dient als Schnittstelle zum Menschen bei der Fernsteuerung von

z.B. Roboterarmen oder als Steuereinheit in der virtuellen Realität. Das Exoskelett ist mit aktiven Gelenken ausgestattet, die es ermöglichen die Kräfte auf den Arm des Trägers zu übertragen und so einen Eindruck zu vermitteln über die Art und Stärke der auf den Roboterarm einwirkenden Kräfte (Force Feedback).

Das Exoskelett befindet sich momentan im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium und neben der rein technischen Anwendung sind auch Einsatzmöglichkeiten im medizinischen Sinne hierfür denkbar. Die Überlegungen reichen von dem Einsatz zur Kompensation und Unterstützung betroffener Gliedmaßen (ähnlich einer Orthese) bis hin zu einem Trainingssystem zum Muskelaufbau oder Trainieren von Bewegungsabläufen. Potentiale werden auch im Bereich der neurologischen Erkrankungen gesehen (beispielsweise bei der Therapie von Schlaganfällen, Lähmungen, etc.).

Ich möchte mit meiner Arbeit aufzeigen welche Möglichkeiten und Chancen Experten für die Anwendung derartiger Systeme, beispielsweise in der Rehabilitation und Unterstützung von erkrankten Personen, in Zukunft sehen. Hierfür sind konkrete Anwendungsgebiete, Anforderungen an das System und Markteinschätzungen interessant.

Bisher wurde bei der Entwicklung des Exosketts im DFKI noch keine Expertenmeinung von Ärzten, Therapeuten, etc. mit einbezogen. Somit ist der Einsatz beispielsweise im Bereich der Rehabilitation von bestimmten Erkrankungen noch nicht hinreichend beschrieben und begründet.

Um weiter praxisorientiert und sinnvoll aus medizinischer Sicht am Exoskelett zu forschen, ist die Meinung von Experten wichtig und bietet weitere Anhaltspunkte zur zielgerichteten Entwicklung derartiger Systeme.

Für meine Arbeit wäre es sehr hilfreich hierzu mit Ihnen ein Interview durchführen zu können. Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie mir mitteilen, ob Sie an einer Befragung interessiert sind.

Mit freundlichen Grüßen

Niels Will

Anhang B

Interviewnummer.....

Datum.....

Einrichtung.....

Name, Beruf und ggf. Funktion in der Einrichtung.....

.....

- Vorstellung
- Zusammenarbeit mit dem DFKI erläutern (Vorstellung DFKI)
- Darlegung der Ziele der Befragung
- Erläuterung des Exoskeletts, Fragen dazu beantworten
- Um die Verwendung eines Tonbandes ersuchen
- Klären, ob das Interview anonym ausgewertet werden soll

1. Allgemeines:

a) Wie betrachten Sie allgemein die Entwicklung hingehend zur technisierten Behandlung von Patienten und die Entwicklung hingehend zur Integrierung von Mensch-Maschine-System in der Medizin?

.....
.....
.....

b) Verfolgen Sie oder Ihre Einrichtung aktuelle Entwicklungen in der medizinischen Forschung auf diesem Bereich (beispielweise technische Hilfsmittel zur zielgerichteten Rehabilitation)?

.....
.....

2. Anwendungsbereiche:

Generell ist die Möglichkeit des Exoskeletts vielfältig. Es könnte beispielsweise als Kraftverstärker zum Einsatz kommen, das passive Führen von Bewegungsabläufen steuern oder als Trainingssystem dienen. Die Gestaltung des Exoskeletts kann an die verschiedenen Gegebenheiten angepasst werden, z.B. an die Physiologie und Krankheitsbildern (verschiedene Module möglich). Weiter ist es möglich, verschiedene Sensorik zur Erlangung von Messdaten am Exoskelett zu koppeln.

a) Auf welchem Fachgebiet sehen Sie die größte Möglichkeit ein Exoskelett für den Arm bzw. Oberkörper einzusetzen? (Neurologie, Geriatrie, Chirurgie, Orthopädie...)

.....
.....
.....

b) An welche speziellen Erkrankungen denken Sie dabei?

- Schlaganfall
- Paresen
- etc.

.....
.....
.....

c) Wie schätzen Sie den Einsatz in der Geriatrie ein? Ist es vorstellbar, Senioren mit alterstypischen Erkrankungen und Einschränkungen durch ein Exoskelett den Alltag zu erleichtern und Pflegepersonal zu entlasten?

.....
.....

d) Halten Sie das Trainieren im virtuellen Raum für sinnvoll? Mithilfe einer Art Cyber-Brille und Filmaufnahmen aus der eigenen Wohnung könnte ein teilweise gelähmter Mensch in einer virtuellen Welt mit dem Exoskelett üben, um sich später zu Hause besser zurechtzufinden. (Vor Ort, in der Reha oder Krankenhaus, können Bewegungsabläufe mit Therapeuten trainiert und überwacht werden)

.....
.....
.....

e) In welchem Einsatzgebiet sehen Sie für das Exoskelett die größten Potentiale?

- Als Diagnosegerät
- Als Therapiegerät (Trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau etc.)
- Als alltagsunterstützendes System für den Patienten auch als Alltagssystem für permanente Anwendungen zu Hause oder im Büro?
- Ist ein System sinnvoll, welches alle Komponenten vereint?

In welchem Umfang erscheint dies Ihnen sinnvoll?

.....
.....
.....

3.Anforderungen:

a) Wie müsste Ihrer Meinung nach ein Exoskelett konzipiert sein?

1. Wie wichtig ist die Individuelle Anpassung an die Physiologie des Patienten?
2. Welche Freiheitsgrade sind sinnvoll oder unbedingt nötig?
3. Wie wichtig ist z.B. bei geführten Bewegungen durch das Exoskelett die Nachahmung natürlicher Bewegungsabläufe?
4. Welche Sensorik könnte sinnvoll sein, um Therapiefortschritte messbar zu machen? (Beschleunigungsmesser, Druckmesser etc. um individuelle Anpassungen

vorzunehmen und um Therapiefortschritte messbar zu machen; was sollte alles messbar sein?)

.....
.....
.....

b) Welche speziellen Anforderungen müsste ein Exoskelett noch mit sich bringen um in der Medizin eingesetzt werden zu können? Dinge, die speziell beachtet werden müssten, auch im Umgang mit Patienten?

.....
.....
.....

c) Wie glauben Sie, würden Patienten ein Exoskelett annehmen?

.....
.....
.....

4. Wirtschaftliches:

a) Wie hoch dürften die Kosten eines derartigen Systems maximal sein, um nicht die Wirtschaftlichkeit zu vernachlässigen?

.....
.....
.....

b) Ist ein System wie das Exoskelett in der Medizin generell finanzierbar?

Wenn ja, wie könnte so eine Finanzierung aussehen?

.....
.....
.....

c) Ist ein Exoskelett als individualisiertes Massenprodukt personalisiert in der Medizin in Zukunft denkbar?

.....
.....
.....

d) Wie sehen Sie den bedarf derartiger Systeme (auch im Zuge der Rationierung im Gesundheitswesen)?

.....
.....
.....

5. Differenzierte Sichtweise:

a) Gibt es auch Aspekte, die man Ihrer Meinung nach kritisch betrachten muss?

.....
.....
.....
.....

b) Sehen Sie evtl. sogar Gefahren beim Einsatz eines Exoskeletts? Ist es denkbar, dass sich z.B. eine Abhängigkeit entwickelt?

.....
.....
.....

c) Wie denken Sie, würde sich unsere Gesellschaft verändern, wenn jeder die Möglichkeit hätte körperliche Mängel mit einem Exoskelett auszugleichen?

(diese Frage nur als Zusatz)

Vielen Dank für das Gespräch!

Anhang C

Interview Transkription Nr.01 Interviewer Niels Will und interviewte Person Prof. Dr. IP1_Flamme, AK Harburg am 09.Oktober 2009

***Will:** Also erst mal Allgemeines: Wie betrachten Sie allgemein die Entwicklung hingehend zur technisierten Behandlung von Patienten und die Entwicklung hingehend zur Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin? Also z.B. dieser Haptic Walker.*

IP1_Flamme: Ja haben wir ja schon besprochen. Haptic Walker oder auch C-Leg sind ja beides schon praktische Umsetzungen von solcher künstlichen Intelligenz und ich glaube, dass das sehr positiv ist. Zum einen für diejenigen, die eben keine untere Extremität z.B. haben und zum anderen auch positiv im Hinblick auf eine bessere Rehabilitation von Patienten.

***Will:** Verfolgen Sie oder Ihre Einrichtung aktuelle Entwicklungen in der medizinischen Forschung auf diesem Bereich? Also z.B. technische Hilfsmittel zur zielgerichteten Rehabilitation?*

IP1_Flamme: Ja. Gerade vorhin war jemand hier, der vorgestellt auch was ganz neues. Unterarm-Gehstützen die über einen Sensor erfassen, wie viel Gewicht man tatsächlich über die Arme abfängt, von seinem eigenen Körpergewicht und daraus dann rückschließen kann, ob die Teilbelastung oder Entlastung des Beines auch umgesetzt werden kann oder nicht. Sehr interessanter Aspekt und ganz neu, den wir hier verfolgen.

***Will:** Generell ist die Möglichkeit des Exoskeletts vielfältig, oder soll sie zumindest sein. Es könnte beispielsweise als Kraftverstärker zum Einsatz kommen, das passive Führen von Bewegungsabläufen steuern, oder als Trainingssystem dienen. Die Gestaltung des Exoskeletts kann an die verschiedenen Gegebenheiten angepasst werden, z.B. an die Physiologie und Krankheitsbildern (verschiedene Module möglich). Weiter ist es möglich, verschiedene Sensorik zur Erlangung von Messdaten am Exoskelett zu koppeln. Auf welchem Fachgebiet sehen Sie die größte Möglichkeit ein Exoskelett für den Arm bzw. Oberkörper einzusetzen? Neurologie, Geriatrie oder Orthopädie*

IP1_Flamme: Das ist ne schwierige Frage. Also ich glaube das Patienten mit neurologischen Krankheitsbildern genauso in Betracht kommen können wie Patienten mit chirurgisch bedingten Defiziten. Letztlich wirken die sich ja auch ganz ähnlich aus. Also es gibt da bestimmte neurologische Krankheitsbilder, die wie ein

Muskelausfall erscheinen und deswegen könnte ich mir vorstellen, dass sowohl neurologische als auch orthopädische, chirurgische Aspekte da eine Rolle spielen, aber auch rehabilitative. Also das habe ich ja vorhin schon gesagt, dass im Rahmen der Rehabilitation von welchen Erkrankungen auch immer, die können konservativ oder operativ sein, dieses Exoskelett durchaus auch eingesetzt werden könnte.

Will: *An welche speziellen Erkrankungen denken Sie dabei?*

IP1_Flamme: Also mir fällt spontan, tatsächlich ähnlich dem C-Leg diese intelligente Exoprothese, so nennt man das ja auch, ein. Ja?

Will: *Also eben bei vollständigen Lähmungen des Armes*

IP1_Flamme: Oder Amputationen eben auch, oder Teilamputation, das man also tatsächlich ne intelligente Prothese dann hat. Exoprothese. Wir Orthopäden nenne das ja auch Prothese, ne? (Prof. IP1_Flamme zeigt eine Knie TEP) Das ist ne Endoprothese und im Gegensatz dazu die Exoprothese, die außen angebracht wird. Und da könnte ich eben, wie es das ja fürs Bein schon gibt, eben auch die intelligente Exoprothese für den Arm mir vorstellen. Aber genau so auch den gezielten Ersatz von bestimmten ausgefallenen Nerven z.B.. Ja, es gibt ja Patienten mit Plexuslähmungen, angeboren, also bei der Geburt, durch das Trauma bei der Geburt kann sowas passieren oder eben auch später z.B. Motorradtraumata. Da reißt das einfach aus und dann hängt der Arm so runter und da kann man sich schon vorstellen, dass bestimmte Chips jetzt in der Lage sind die Muskeln auf dieser Ebene (Prof. IP1_Flamme zeigt auf seinen Oberarm) wieder anzusteuern, dass diese Funktion einfach wieder da ist. Also auch das kann ich mir vorstellen.

Will: *Wie schätzen Sie den Einsatz in der Geriatrie ein? Ist es vorstellbar, Senioren mit alterstypischen Erkrankungen und Einschränkungen durch ein Exoskelett den Alltag zu erleichtern und Pflegepersonal zu entlasten?*

IP1_Flamme: Glaube ich nicht. Erstens weil die senilen Patienten, glaub ich nicht die geeigneten Patienten sind für so eine hoch schwierige und technisch auch anspruchsvolle Situation da überhaupt zurechtzukommen, das kann ich mir nicht vorstellen. Und dazu kommt noch, dass ja die Armfunktion weniger notwendig ist für die Lagerung oder die Pflege von Patienten als z.B. die Beine. Also wenn sie nicht gehen können und sie müssen gestützt werden, ist das schon relevanter für die Pflege, als wenn sie nur ihren Arm nicht bewegen können. Also ich persönlich glaube nicht, dass das im geriatrischen Bereich, aber gut ich kann mich da auch täuschen. Ich weiß nicht.

Will: *Gut. Halten Sie das Trainieren im virtuellen Raum für sinnvoll? Mithilfe einer Art Cyber-Brille und Filmaufnahmen aus der eigenen Wohnung könnte ein teilweise*

gelähmter Mensch in einer virtuellen Welt mit dem Exoskelett üben, um sich später zu Hause besser zurechtzufinden.

IP1_Flamme: Ja. Ja, das sind schwierige Fragen ne. Die kann man nicht einfach so beantworten. Also ich kann mir schon vorstellen, dass man sowas trainieren kann in einer künstlichen Welt. Gut, ich meine viele Menschen leben ja schon überwiegend in einer künstlichen Welt, dass scheint ja auch einen Trainingseffekt zu haben. Also das kann ich mir schon vorstellen, dass das geht, aber auch da glaube ich nicht, dass es primär die alten Menschen unterstützen kann. Ich wage einfach zu bezweifeln, dass das; vielleicht haben wir da auch unterschiedliche Gruppen vor Augen, aber die ich hier so sehe die aus dem Heim kommen und eine Schenkelhalsfraktur haben, die werden mit sowas nicht zu trainieren sein. Die sind leider schon vielen anderen nicht mehr zugänglich, ne. Aber junge Menschen, die; oder jüngere Menschen die aus welchen Gründen auch immer ein Teil ihrer Sinne verloren haben, bei denen wird das wahrscheinlich, kann ich mir schon vorstellen, dass das was bringt.

***Will:** In welchem Einsatzgebiet sehen Sie für das Exoskelett die größten Potentiale? Als Diagnosegerät, als Therapiegerät zum Trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau usw. oder als alltagsunterstützendes System für den Patienten auch als Alltagssystem für permanente Anwendungen zu Hause oder im Büro?*

IP1_Flamme: Das ist im Grunde genau die Frage wie die erste. Ich glaube nicht, ich kann jetzt nicht beurteilen was davon am erfolgversprechendste ist. Ich glaube, dass alle genannten Möglichkeiten ihre Bedeutung haben, was sich am Ende durchsetzt oder was am erfolgreichsten ist, vermag ich nicht zu sagen. Also wie gesagt, dies C-Leg z.B. hat einen sehr, sehr hohen Absatz in Deutschland das wäre also keine dieser Gruppen die sie da erwähnt haben. Aber so ist es ja heute so, dass es Kinematoren gibt für verschiedene Gelenke, auch wo man schon versucht, bestimmte Wege, Kräfte zu analysieren und dadurch ein besseres Training zu ermöglichen. Das wird sicherlich eher ein kleinerer Hochleistungsbereich sein, den das betrifft. Das wird nicht die normale Rehabilitation sein, aber vielleicht von Hochleistungssportlern. In der Situation ist es zumindest mengenmäßig kleiner, vielleicht nicht kostenmäßig. Ja und der Alltag wiederum also so eine richtige intelligente Exoprothese wenn das gelänge, das wäre schon glaube ich schon eine gute Sache.

***Will:** Wie müsste Ihrer Meinung nach ein Exoskelett konzipiert sein? Also wie wichtig ist die individuelle Anpassung an die Physiologie des Patienten?*

IP1_Flamme: Ich glaube, dass das individuell angepasst werden muss. Die Erfahrung von dem C-Leg, die ich ein bisschen kenne, zeigen eigentlich, dass für jeden Menschen das individuell programmiert werden muss, damit der Bewegungsablauf

der eben sehr individuell ist, dann auch nachvollzogen werden kann und wenn das schon beim Gehen so ist, glaub ich, wird das bei der oberen Extremität auch so sein.

Will: Wie wichtig ist z.B. bei geführten Bewegungen durch das Exoskelett, die Nachahmung natürlicher Bewegungsabläufe?

IP1_Flamme: Ich denke die Natürlichkeit ist nicht das entscheidende Kriterium, sondern die Funktionalität. Also es muss so sein, dass die Funktion die man damit verbindet auch umgesetzt werden kann. Ob, dass es deswegen zwingend harmonisch ist halte ich persönlich für nicht so wichtig. Primär. Sekundär, oder sagen wir aus Sicht des Patienten, mag das anders sein. Denn ein Grund für die, solcher intelligenten Systeme ist natürlich so wenig wie möglich seiner Umwelt von seinem Defizit preiszugeben und dann ist natürlich eine möglichst individuelle Anpassung an die Gegebenheiten wiederum von Bedeutung. Rein für die Funktion, für die Alltagstauglichkeit wahrscheinlich nicht so sehr.

Will: Also da ist dann eher wichtig, dass Zähneputzen oder Haarkämmen möglich ist usw.

IP1_Flamme: Ja, dass es überhaupt möglich ist. Das muss jetzt aber nicht für jeden individuell ganz exakt programmiert werden. Aus ärztlicher Sicht wie gesagt. Aus Patienten Sicht, ist es ein bisschen anders.

Will: Welche speziellen Anforderungen müsste ein Exoskelett noch mit sich bringen um in der Medizin eingesetzt werden könnte? Dinge, die speziell beachtet werden müssten, auch im Umgang mit Patienten? Z.B. die Kontaktstellen zwischen Exoskelett und Mensch.

IP1_Flamme: Also das Hauptproblem von allen Exoprothesen ist ohnehin der Kontakt zu dem vorhandenen Körper, das ist immer so. Das ist bei den Beinen so sehr problematisch, zum Teil was die Hautverhältnisse angeht, weil ja auch dieser Stumpf der am Ende da ist, das ist ja der abgesetzte Knochen, nehmen wir mal an da ist jetzt der Oberarm (Zeigt auf seinen Oberarm) weil da immer wieder mechanische Druckpunkte entstehen können, das ist allerdings beim Arm nicht so das Problem, wie beim Bein, weil wir auf den Armen ja nicht laufen. Trotzdem könnte ich mir vorstellen, denke ich, ist auch hier das Hauptproblem die individuelle Anpassung an die Gewebebeschaffenheit, Dicke, Durchmesser usw., sodass es die Haut möglichst wenig irritiert, denn es ist zwar weniger Kraft, die man mit den Armen hat aber es sind auch andere Belastungen. Es sind ja nicht nur Druckbelastungen, sondern auch Zugbelastungen, denen es widerstehen muss und da bin ich mir nicht ganz sicher, wie man das auch technisch sinnvoll umsetzt. Aber auf jeden Fall wird es ein Weichteilproblem mit sich ziehen.

Will: Wie glauben Sie, würden Patienten ein Exoskelett annehmen?

IP1_Flamme: Kommt natürlich darauf an wie das ganze konstruiert ist. Also, wenn es so aussieht wie hier (zeigt auf Abbildung des Exosketts) wohl nicht.

Will: Gut, ist jetzt natürlich ein Prototyp.

IP1_Flamme: Schon klar. (Zeigt eine Abbildung von C-Leg) da sieht man überhaupt keinen Unterschied mehr. Und wenn das so konzipiert ist, dann bin ich mir sicher, dass sie da nicht so viel.

Will: (Fällt Dr. Flamme ins Wort) Also Sie glauben schon, je auffälliger das Gerät ist desto größer die Ablehnung?

IP1_Flamme: Ja, schon. (Beschreibt die Funktionsweise und das Aussehen des C-Leg außerhalb des Diktiergerätes) (ist wieder am Tisch) Wenn es eben gelingt, auf dieses Niveau runter zu strukturieren, bin ich mir sicher, dass auch eine gute Akzeptanz gefunden werden kann. Also, das ist der Renner jetzt seit einigen Jahren, 2,3,4 Jahren in der Exoprothetik der Beine und vielleicht gibt es da schon Entwicklungen für die Arme, an denen sie da partizipieren können, kann ich nicht sagen. Wenn die noch keine haben, ist das vielleicht aber ein interessanter Drittmittel Geber. Otto Bock.

Will: Wie hoch dürften die Kosten eines derartigen Systems maximal sein, um nicht die Wirtschaftlichkeit zu vernachlässigen? Gibt es da eine Zahl die Sie nennen können?

IP1_Flamme: Kann ich Ihnen nicht sagen. Also diese Prothese von der ich gerade gesprochen habe, kostet ungefähr, ich weiß es auch nicht genau, ich meine so um die 2000€. 1600 bis 2000€. Der Preis hängt natürlich auch von der Nachfrage ab, oder sagen wir mal die volkswirtschaftliche Bedeutung hängt von der Nachfrage ab. Nech, also wenn am Ende nur 100 im Jahr für sowas in Frage kommen, sag ich jetzt mal so, dann spielt der Preis eine geringere Rolle als wenn es 10 000 sind. Deswegen kann ich das... Also die Frage kann ich nicht beantworten.

Will: Ok. Also die nächste Frage kann ich dann, glaube ich, dann weglassen. Da ging es darum, ob sowas generell finanzierbar ist, aber das hängt dann wohl vom Bedarf und der Menge ab.

IP1_Flamme: Und vom Preis.

Will: Und generell wäre so was als personalisiertes Massenprodukt in der Medizin schon denkbar, oder?

IP1_Flamme: Generell ja. Klar.

Will: Wie sehen sie denn den Bedarf derartiger System?

IP1_Flamme: Ich kann Ihnen nicht sagen, wie hoch der Bedarf ist. Ich denke, da müssten sie mal vielleicht bei den Krankenkassen nachfragen. Die haben Überblick, wie häufig überhaupt Patienten, entweder mit einer Amputation im Oberarmbereich konfrontiert sind, pro Jahr. Und zum zweiten eben auch die neurologischen Erkrankungen, also wie häufig Patienten einseitig oder vielleicht sogar beidseitig betroffen sind. Das kann ich, das weiß ich nicht. Aber das wären so zwei Möglichkeiten, wo sie sowas rausfinden könnten.

Will: *Gibt es für Sie auch Aspekte, die man Ihrer Meinung nach kritisch betrachten muss?*

IP1_Flamme: Ach, eigentlich nicht. Also ich denke schon, dass das ne tolle; wenn es richtig funktioniert und auch mit einer etwas anderen Optik funktioniert als dieser Prototyp hier, das es da wenig Probleme gibt. Klar, es gibt die Stromversorgung z.B. ne. Wie kann man sicherstellen, dass das nicht plötzlich alle ist und solche Sachen. Aber das werden sie alles selber wissen. Also die Akzeptanz, darauf kommt es ja an, wird davon abhängen, wie gut das Ganze funktioniert und wie sich die Optik letztendlich gestaltet. Daran hängt dann auch der Erfolg. Der Wirtschaftliche natürlich auch.

Will: *Sehen Sie evtl. sogar Gefahren beim Einsatz eines Exoskeletts? Ist es denkbar, dass sich z.B. eine Abhängigkeit entwickelt?*

IP1_Flamme: Nein, das sehe ich nicht. Ich meine da ist ja nichts, es ist ja nicht so, dass man so zu sagen, die eigene Entwicklung auch die eigene Gesundheit oder die Gesundung der eigenen Extremität dadurch verlangsamt, sondern im Gegenteil, noch beschleunigen würde. Deswegen sehe ich da keine Gefahr. Und ich glaube auch nicht, dass ein Patient aus Faulheit sich darauf verlässt und nicht mehr trainiert. Das kann ich mir nicht vorstellen. Letztendlich ist es ja immer besser man hat die eigene Extremität. Egal, wie intelligent ein Exoskelett am Ende sein mag. Deswegen glaube ich nicht, dass das ein Problem ist. Ich glaube, das ist eher eine Chance. Das glaube ich wirklich.

Will: *Gut. das war mein Fragebogen. Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit für mich genommen haben.*

Interview Transkription Nr.03, Interviewer Niels Will und interviewte Person Anonym, Teamleiter Physiotherapie eines Krankenhauses in Hamburg. Interview am 23. November 2009

Will: Nun möchte ich beginnen. Wie betrachten Sie allgemein die Entwicklung hingehend zur technisierten Behandlung von Patienten und die Entwicklung hingehend zur Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin? Beispielsweise dieser HapticWalker von der Charité in Berlin entwickelt worden.

IP3_Physiotherapeut: Ja. Also letztendlich betrachte ich die Funktionsweise natürlich in dem Bereich der Einsparungen, in personellen Geschichten und auch in der qualitativen Einsparung und das halte ich für sehr fragwürdig, da Maschinen letztendlich momentan noch letztendlich nicht die Therapie an sich herausführen können. Ich betrachte das allerhöchstens für den Patienten für den Alltag für sinnvoll aber nicht in den therapeutischen Situationen. Im Alltag gibt es einige Geschichten die dem Patienten deutlich helfen, das Ziel muss aber weiterhin sein, dass diese Hilfsmittel dann irgendwann wieder abgebaut werden können für den Patienten, solange es die Erkrankung zulässt.

Will: Mmh. Ok. Verfolgen Sie oder Ihre Einrichtung aktuelle Entwicklungen in der medizinischen Forschung auf diesem Bereich.

IP3_Physiotherapeut: Nein. In dem Bereich nicht. Eher Forschung im Eigenaktivitätsförderung und therapeutischen Tun.

Will: Also generell soll die Möglichkeit des Exoskeletts vielfältig sein. Es könnte beispielsweise als Kraftverstärker zum Einsatz kommen oder das passive Führen von Bewegungsabläufen steuern oder als Trainingssystem dienen. Die Gestaltung des Exoskeletts kann an die verschiedenen Gegebenheiten angepasst werden, also spricht an die Körpergröße, anatomischen Gegebenheiten und natürlich wenn möglich auch eben an das spezielle Krankheitsbild des Patienten. Geplant ist es vielleicht es in verschiedene Module aufzubauen, dass man sagt, man hat für Patient A die und die Module und für Patient B kann man die aber weglassen, sodass man eben auch flexibler werden kann in der Kostengestaltung, aber auch eben im Handling und so weiter. Weiter soll es möglich sein verschiedene Sensorik an das Exoskelett zu koppeln. Zur Frage: Auf welchem Fachgebiet sehen Sie die größte Möglichkeit ein Exoskelett für den Arm bzw. für Oberkörper einzusetzen?

IP3_Physiotherapeut: Also letztendlich in dem Bereich der peripheren Läsionen, eventuell, dass heißt periphere Risse von Nerven oder aber auch im Bereich von Muskelabrissen, da kann ich es mir letztendlich vorstellen, wo ich es mir nicht vorstellen kann ist in der Neurologie wenn es zentral gesteuert sein sollte.

Will: *Ah ja. Also wenn es ein Querschnitt ist beispielsweise.*

IP3_Physiotherapeut: Ja, Querschnitt läuft meiner Meinung nach noch in den Bereich der zentralen Läsionen, weil es noch zum Gehirn zählt, wobei ich eher denke, bei Plexuspareesen die entstanden sind bei Lagerungsschäden oder Operationen oder traumatische Geschehen, wobei der Nerv letztendlich durchgetrennt wurde. Und dann aber noch entweder eine Heilungschance besteht weil er genäht wurde, oder im Bereich der Erholung des Nervens einfach liegen kann. Da kann ich es mir letztendlich noch vorstellen. Dann mit passiv geführten Bewegungen.

Will: *Gibt es da ganz bestimmte Krankheitsbilder an die Sie da denken?*

IP3_Physiotherapeut: Da denke ich eher an traumatische Geschichten. Krankheitsbilder an sich eher, wenn man sie versteht durch Hirntraumatas entstanden auch da nicht, aber auch hier hauptsächlich Trauma-Patienten im Bereich Arm, Frakturen, komplizierte Kompartmentsyndrome, Muskelabriss, Abrisse der Rotatorenmanschette, die wirklich auch dann zu einer Dysfunktion des Armes führen.

Will: *Wie schätzen Sie den Einsatz in der Geriatrie ein? Ist es vorstellbar, Senioren mit alterstypischen Erkrankungen und Einschränkungen durch ein Exoskelett den Alltag zu erleichtern und Pflegepersonal zu entlasten?*

IP3_Physiotherapeut: Das glaube ich eher weniger, weil wir haben`s ja bei den geriatrischen Patienten eher mit multimorbiden Krankheitsbildern zu tun. Es kommt meistens nicht nur eine Sache dazu, sondern zwei drei Geschichten, von Arthrosen bis Muskelatrophie und so weiter und so fort. Und da kann ich mir nicht vorstellen, dass da ne passiv geführte Bewegung da Vorteile bietet. Man sieht es auch bei den Armgeräten oder arm-schultermotorischen Geräten den CPM`s dass wir im geriatrischen Bereich eigentlich nicht so sehr damit arbeiten können, weil oftmals der *Humero-Scapulare-Rhythmus* gestört ist und dem entsprechend nicht nur die Schädigung im reinen Oberarmgelenk besteht, sondern in Bezug auch auf die Rumpfstabilität. Und da sehe ich eher Probleme. Die haben eh Schwierigkeiten sich aufrecht zu halten und ein Gerät, egal wie viel es wiegt, und auf den Schultern aufliegt um den Arm zu bewegen, wird sicherlich die Basisstabilität des Rumpfes deutlich herunter setzen und dementsprechend dem Patienten die Anwendung nicht ermöglichen.

Will: *Halten Sie das Trainieren im virtuellen Raum für sinnvoll? Mithilfe einer Art Cyber-Brille und Filmaufnahmen aus der eigenen Wohnung könnte ein teilweise gelähmter Mensch in einer virtuellen Welt mit dem Exoskelett üben, um sich später zu Hause besser zurechtzufinden. Vor Ort, also in der Reha oder Krankenhaus,*

können Bewegungsabläufe mit Therapeuten trainiert werden. Wäre das denkbar, macht das Sinn?

IP3_Physiotherapeut: Auf der einen Seite macht das insofern Sinn, als dass die gewohnte Umgebung quasi dargestellt werden kann, natürlich ein Spiegelneuron erst mal hervorbringt, das heißt, Ideen des Patienten zur Bewegung kommen schon mal. Auf der anderen Seite ist es so, wenn ich in einem virtuellen Raum bin, habe ich immer das Problem, dass sich die Umwelt sich um mich herum bewegt, statt dass ich mich bewege, was dann dazu führt, wenn gerade Gleichgewichtsproblematiken dazu kommen, der Patient sehr, sehr verwirrt wird, sodass es dann zu Defiziten kommen kann in Bereich der Fortbewegung, wenn sie reell stattfindet.

Will: In welchem Einsatzgebiet sehen Sie für das Exoskelett die größten Potentiale? Also eben als Diagnosegerät, als Therapiegerät zum Trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau usw. oder als Alltagsunterstützendes System für den Patienten, auch als Alltagssystem für Anwendungen für zu Hause oder im Büro?

IP3_Physiotherapeut: Ja... im Alltagsbereich sehe ich da wohl die größte Anwendung. Im Trainingsbereich habe ich da so bisschen meine Probleme. Das würde ja bedeuten, dass der Patient gegen Widerstand oder mit Widerständen arbeitet, was in dem Bereich einer nicht fixierten Grundbasis, die Kraft im Körper letztendlich eine Punktum Fixum Verschiebung darstellen würde. Da sehe ich glaube ich nicht so den großen Effekt. Da sind sicherlich andere Geräte die feststehen größere Effekte zu erzielen, aber im Bereich der All Day Activity bei wirklichen Läsionen der Nerven kann ich mir da schon ne deutliche Erleichterung vorstellen auch, dass die Bewegungen insgesamt initiiert werden und auch über die Rezeptoren an das Gehirn weiter gesendet werden.

Will: Also wäre für Sie auch kein System sinnvoll, was alle Sachen in sich vereint und alles können könnte, theoretisch?

IP3_Physiotherapeut: Also, die eierlegende Wollmilchsau macht nie alles gut. Also man sollte sich wirklich auf einen speziellen Bereich dort begrenzen. Also ich denke schon, wenn die Konzentration auf so ein Gerät da ist, sollte man sich wirklich auch auf die Alltagssituationen, -verstärkt und passiven Bewegungen-, innerhalb dieses Bereichs, was natürlich die Sensorik sehr hoch setzen muss. Alles andere ist vielleicht too much.

Will: Zu den Anforderungen. Wie müsste Ihrer Meinung nach ein Exoskelett Konzipiert sein?

Als Beispiel, wie wichtig ist die individuelle Anpassung an die Physiologie des Patienten? Also ist wichtig, dass es exakt angepasst werden kann?

IP3_Physiotherapeut: Auf alle Fälle. Da die Personen sehr, sehr unterschiedlich sind, müsste nicht nur auf die Körperlängen und die entsprechenden Hebelverhältnisse eingestellt werden sondern, das Gerät müsste rein theoretisch schon auf die gewohnten Bewegungen des Patienten eingestellt werden. Wir haben Patienten mit einer starken Scapula, die kyphosierte BWS eingehend ist, sodass dann auch eingestellt werden muss. Das Gerät selber soll den Patienten nicht in eine Position zwingen, die das Zentralnervensystem seit 30 Jahren nicht mehr kennt. So wird es nicht zum Erfolg führen. Das heißt, wir müssen hier eine relativ feine Einstellung haben, wenn wir in dem passiven Bereich sind, sodass es hier nicht noch zusätzlich zu Muskeltraumata kommt, durch idiopathische Muskelansatzbereich weil die Muskeln verschoben sind und ich hatte schon viele Schultern in der Hand gehabt, wo ich gemerkt habe, dass der Bizeps gar nicht mehr da sitzt wo er hingehört und verdreht ist weil die Personen ne innenrotatorische Komponente seit zehn Jahren haben und da raus zu kommen ist schon therapeutisch sehr schwer für die Person und bedeutet sehr viel lernen. Wenn jetzt aber ein Gerät sie dort hin zwingen würde, würde es sicherlich zu weiteren Schädigungen führen. Dann wäre vielleicht die Schulter wieder in Ordnung aber danach die BWS oder HWS hinüber. Das Gerät müsste sehr, sehr leicht sein, ganz, ganz wichtig, weil eine Armbewegung nur damit einhergeht, dass der Rumpf die Gegenseite stabilisiert, wenn er das nicht mehr kann aufgrund des Gewichtes, wird es dann zu massiven Problemen im BWS Bereich kommen was dann zur HWS- Problematik geht und dann sicherlich auch zu vermehrtem Bandscheibenvorfall im Bereich HWS BWS führen könnte.

Will: Oh, das wäre ja nicht so toll. Welche Freiheitsgrade sind denn sinnvoll oder unbedingt nötig? Also was für Bewegungen muss es unbedingt zulassen können? Spielen wir uns nur im Bereich der Alltagsbeweglichkeit ab, wie z.B. Haare kämmen und solche Sachen, sowas ist wichtig aber alles was darüber hinaus geht müsste jetzt nicht unbedingt sein für einen therapeutischen Zweck?

IP3_Physiotherapeut: Also das ist ne große Frage, das stellt die Frage nach der Gelenkbeweglichkeit des Menschen an sich. Der Mensch ist immer in dem Bereich, dass er sich in einem freien Raum bewegen kann, das heißt, wir haben einen extrem hohen Range of Motion in allen Gelenke, gerade im Schultergelenk um dann letztendlich davon 50% vielleicht 60% im Alltag auszunutzen. Sind meine Grenzen schon in dem Alltag belegt, wird es für den Patienten massiv anstrengend sich überhaupt in dem Bereich zu bewegen. Ich glaube aber, dass das Gerät an sich so für den Alltag langt, das dann aber in der Therapie die eigene Beweglichkeit durch den Therapeuten weiter erarbeitet werden muss.

Will: Wie wichtig ist z.B. bei geführter Bewegung durch das Exoskelett die Nachahmung natürlicher Bewegungsabläufe? Sollte dies ganz natürlich sein?

IP3_Physiotherapeut: Ja. Da wir natürlich... die Frage ist, mit der rein passiv geführten Bewegung, da ist es sicherlich nicht ganz so extrem, aber soll es im Alltag stattfinden, -hat unser Gehirn ein Ziel etwas zu greifen- und diese Ziel kann es nur durch das jeweilige Beugen und Strecken der Muskelketten hervorrufen und dem darf das Gerät nicht entgegenstehen. Das Gerät darf jetzt nicht sagen, Ellenbogen streckt sich und dann kommt das Handgelenk dazu, das würde dann dazu führen, dass die Bewegung ataktisch wirken würde und natürlich auch bei der Bereitstellung der einzelnen Stabilitätsphasen keine Gewährleistung mehr besteht. Es könnte also auch hier zu Luxationsproblematiken kommen, Entzündungen und so weiter und so fort. Es muss also schon sehr präzise an die Bewegungsabläufe der Patienten angepasst werden.

Will: Welche Sensorik könnte sinnvoll sein, um Therapiefortschritte messbar zu machen? Oder könnte man für die physiotherapeutische Arbeit darauf verzichten?

IP3_Physiotherapeut: Darauf könnte ich verzichten, aber auf Sensorik generell nicht. Das Gerät darf erst dann aktiv werden und da betrifft es die Sensorik in allen anderen Bereichen, speziell der gesamten Rumpfstabilität, erst dann in Aktivität treten darf, wenn diese bereitgestellt ist. Und das macht die Sensorik eher aus. Ich glaube die Sensorik ist nicht so sehr dazu da um Therapieerfolge zu messen, sondern die Sensorik müsste dann dafür sein, dass die Bewegung erst dann ausgeführt wird wenn der Rest des Körpers dazu bereit ist. Wie es unser Körper normalerweise auch macht. Erst wenn ich mich halten kann, kann ich den Arm hochheben. Und genau diese Sensorik ist die große Kunst und bedeutet eine große Rechnerarbeit, weil damit letztendlich das Stammhirn und Kleinhirn imitiert würden, respektive zumindest auf die Idee des neuronalen Feedbacks eingehen würden. Und dafür sollte die Sensorik da sein. Nicht so sehr um Therapieerfolge zu messen, weil die sich ja letztendlich nur in der Funktion darstellen.

Will: Welche speziellen Anforderungen müsste ein Exoskelett noch mit sich bringen, um in der Medizin eingesetzt werden zu können? Dinge, die speziell beachtet werden müssten, auch im Umgang mit Patienten? Z.B. die Kontaktstellen zwischen Maschine und Mensch, die sicher besonders gefertigt werden müssen.

IP3_Physiotherapeut: Ja, das kommt natürlich darauf an. Also wenn wir es mit Patienten zu tun haben, die einen Morbus Sudeck nach einem großen Trauma haben, ist dieses Gerät da sicher nur begrenzt einsetzbar. Durch mangelnde Durchblutung in den Bereichen müsste es dann wirklich schon so gepolstert sein, dass der Arm praktisch innerhalb eines gelartigen Ringes besteht, sodass da die geführte Bewegung nicht Ad hoc wie ein Schraubstock zugreift, sondern, dass da auch wirklich noch Platz drin ist. Was sowieso sinnvoll wäre, um Eigenaktivität des Arms in verschiedene Bereiche ranzugehen. Und es müsste dann letztendlich bei Eintritt der Eigenaktivität auch in der Lage sein diese Eigenaktivität zuzulassen, das

heißt, da ne sinnvoll Motorik, da bin ich kein Techniker, aber das wäre natürlich das Idealbild in dem Falle, wenn der Patient die Aktivität für eine Bewegung herausbringt, dass sich dann das Geräte nur mitführen lässt und dann nicht als Widerstand da steht, oder die Geschwindigkeit regelt. Wir wissen ja wie sehr wir auf Rhythmus gepolt sind und wir machen Bewegungen in unserer eigenen Geschwindigkeit und das darf von dem Gerät nicht verlangsamt oder beschleunigt werden, sonst wird diese Bewegung für den Menschen nicht mehr durchführbar und hat dann auch keinen großen Effekt mehr auf das ZNS. Aber ganz wichtig ist natürlich die Auflageflächen müssen ganz weich sein, am besten stoffartig über den ganzen Körper angebracht und je größer die Auflageflächen sind, je idealer wäre das. Schwierig zu lösen, keine Frage.

Will: Wie glauben Sie, würden Patienten ein Exoskelett annehmen?

IP3_Physiotherapeut: Also, da muss man natürlich schauen, was wir für einen Patienten haben. Es gibt Patienten, die in einer Generation mit Technik groß geworden sind, die das sicherlich eher annehmen würden, als z.B. geriatrische Patienten, die doch ein bisschen so eine zurückhaltende Einstellung gegenüber Technik haben. Ich glaube ganz persönlich, dass nur dann das Gerät von dem Patienten akzeptiert wird, wenn sein Leidensdruck aufgrund seiner Erkrankung oder Verletzung so groß ist, dass er es akzeptieren würde. Ich sehe das ähnlich wie bei Prothesen, die auch zum Teil Computer gesteuert sind, wo die Patienten dann, wenn sie ihre Erkrankung verarbeitet haben, dann auf technische Hilfsmittel zurückgreifen können. Aber ich kenne viele Patienten, die allerdings der Meinung sind, lieber Arm ab als... gerade im Schlaganfallbereich. Da müsste man wirklich mal schauen. Je zarter so ein Gerät natürlich ist und je weniger es aufträgt, desto eher haben wir die Annahme des Patienten.

Will: Wie hoch dürften die Kosten eines derartigen Systems maximal sein, um nicht die Wirtschaftlichkeit zu vernachlässigen?

IP3_Physiotherapeut: Also, da würde ich schon eher in den Prothetik-Bau gehen, was z.B. eine Beinprothese bei einem Patienten kostet. Das sind so 4 bis 5000 € mit allen Anpassungen und co. Weil ich auch denke, bei dem Exoskelett wird es Abdrücke geben müssen, es wird sein, dass sich das auch permanent verändert, gerade wenn sich die Atrophie der Muskeln verändert, muss das Gerät wieder angepasst werden. Da wäre dann aber letztendlich alles drin, wenn es z.B. über ein Sanitätshaus vertrieben würde. Dann ist da, glaube ich, die Schmerzgrenze einer normalen Arm bzw. Beinprothese anzunehmen. Das liegt glaube ich so um 4 bis 5000€.

Will: Ist ein System wie das Exoskelett generell in der Medizin finanzierbar? Sie sagen so 4 bis 5000€, wenn es darüber hinausgeht, wäre es dann nicht mehr wirklich finanzierbar?

IP3_Physiotherapeut: Da müsste man natürlich eine Kosten-Nutzen-Rechnung dazu machen. Wenn dadurch Jemand z.B. wieder ins Arbeitsleben zurück könnte und das ist natürlich auch immer die Prämisse die wir in der wirtschaftlichen Lage und auch in der Gesellschaft haben. Dann ist es sicherlich sinnvoll. Allerdings wird auch einer Person eine Prothese bewilligt, die ein Bein verloren hat und dann nicht mehr in Arbeit ist. Ich glaube, dass die Bewilligung bei guten Erfolgen nicht so das Problem darstellen sollte. Solange natürlich die Krankenkassen davon überzeugt sind. Das ist natürlich der Weg den sie alle gehen müssen.

Will: Es ist sicher klar, dass Studien vorliegen müssen, die ganz klar den Effekt des Exosketts belegen.

IP3_Physiotherapeut: Genau. Da ist natürlich auch die Frage, wie weit kann z.B. eine Person in der Pflegestufe heruntergesetzt werden oder auch vor der Unselbstständigkeit geschützt werden und somit auch der Pflegeaufwand gering gehalten werden. Gerade das zukünftige Thema, die Generationen werden älter, das heißt, wir haben immer mehr Personen, ist natürlich da ein Faktor der da hineinspielt und wenn es wirklich gelänge das Gerät dort zu etablieren, dann wäre das schon ne Sache und es dann auch helfen würde, mit seinen ganzen Bereichen, dann könnte es schon dazu führen, schon auch in den Pflegebereichen... jedes Mal, wenn sich Jemand sein Essen selber machen kann, ist das natürlich eine wahnsinnige Erleichterung, auch für den Rest der Bevölkerung. Für den Patienten natürlich eben so. Die Lebensqualität steigt schon.

Will: Wie sehen Sie den Bedarf derartiger Systeme? Auch im Zuge der Rationierung im Gesundheitswesen?

IP3_Physiotherapeut: Also, ich denke schon, dass es für bestimmte Krankheitsbilder kommen wird und auch sinnvoll ist, für einige wiederum nicht. Und wenn ich den geriatrischen Verlauf sehe, sind es eher Krankheitsbilder wo ich denke, da wird es wahrscheinlich nicht eingesetzt, aber nichtsdestotrotz wird es wahrscheinlich schon so sein, ich sag mal ne Hausnummer, wir haben 250.000 Schlaganfallpatienten, wenn man davon ausgeht, dass wir noch 10.000 paretische Patienten haben pro Jahr, die dazukommen, könnte man in diesem Bereich schon rechnen. Natürlich ist es immer so, je höher die Erkrankungszahl, desto eher wird sowas finanziert und auch weiter entwickelt. Aber in verschiedenen anderen Anwendungsbereichen sehe ich das Gerät nicht.

Will: Gibt es auch Aspekte, die man Ihrer Meinung nach kritisch betrachten muss?

IP3_Physiotherapeut: Ja mit Sicherheit. Also, die kritische Betrachtung ist, dass sowas dann auch immer gerne als Allheilmittel für Erkrankungen des ZNS eingesetzt wird. Da ist es ja momentan so, dass eigentlich ausschließlich die Physiotherapie als Therapie eingesetzt wird, was dazu führt, dass händeringend nach irgendwelchem Ersatz gesucht wird. Nicht weil man das den Physiotherapeuten nicht gönnt, aber damit ihnen Tor und Tür öffnet die Behandlung durchzuführen. Ich habe schon sehr viele, gerade so motorische Geschichten erlebt, wo ich sage, wir haben es bei einem Schlaganfall nie nur mit einer reinen Parese zu tun, sondern auch mit assoziierten Reaktionen der Patienten zu tun, die dann zu erhöhten spastischen Mustern führen. Wenn das Gerät dann eingesetzt wird, wir hier evtl. zu einer Verschlimmerung kommen. Wenn dann gesagt wird, ok. Wenn wir so ein Gerät haben, das war jetzt wahnsinnig teuer, jetzt wird das eingesetzt, dass dann der therapeutische Bereich nach unten gesetzt wird. Das ist so meine Befürchtung. Ich arbeite seit über 10 Jahren in der Neurologie und habe schon die größten Geräte, von Motormed bis Hand-Finger-Automat gesehen, die letztendlich für den Patienten immer auch einen Hoffnungsschimmer boten und diese Patienten aber immer nach einem oder halben Jahr zurück kamen und sagten, das hat es jetzt aber nicht gebracht und die Enttäuschung sehr groß war und alle erst mal ihr Procedere dort rein lenkten und sehr viel Kapazität und Know-how in die Anpassung, in die Anlernung des Patienten hineinfließt, ohne das letztendlich danach irgendein Ergebnis dabei raus kommt. Vielleicht sogar eine Verschlechterung. Am Anfang finden alle solche Systeme ganz prima, aber dann am Ende werden alle wieder den klassischen Weg der Physiotherapie nehmen. Dann ist allerdings sehr viel Zeit ins Land gegangen. Man müsste eigentlich mit Hirnforschung und Bewegungsforschung an dieses Gerät herangehen, damit es auch die Therapie unterstützen kann.

***Will:** Das geht jetzt auch meine letzte Frage an, also ob es sogar Gefahren im Einsatz geben kann. Da hatten Sie gesagt, dass sich das Krankheitsbild bei den Patienten sogar verschlechtern kann, wenn sie eben nur auf technische Hilfe setzen. Denken Sie, dass es auch noch andere Gefahren geben kann?*

IP3_Physiotherapeut: Ja. Also, speziell beim hemiplegischen Patienten der ja grundsätzlich nicht nur das Problem hat, dass der Arm gelähmt ist, sondern, dass meistens auch eine Subluxation besteht. Wenn das Gerät dann mal nicht so genau angelegt wird, nach dem Motto: ach das Gerät sitzt heute nicht so gut, kann es zu Muskeltraumata und Mikrotraumen kommen, die dann zu Entzündungen des Armes führen und dann das Ganze zu einer Hemi-Hand wird, die dann in eine Krall-Hand geht. Das haben wir schon oft erlebt, wenn in diesem Bereich nicht sauber gearbeitet wurde. Es ist auch eine Sache, die nicht von Laien angelegt werden kann, sondern es muss Fachpersonal sein, die auch darauf achten, dass im Humero-Scapularen-Rhythmus gearbeitet wird, die Scapulastellung mitgeführt wird, ganz, ganz wichtiger Aspekt im Bereich Arm. Vor allen wenn die Läsionen schon etwas

längerfristig vorherrschen und dann mit dem letzten Versuch, `so jetzt versuchen wir es noch mal mit dem Robot-Arm`, dazu führen, dass der Arm in einem Bereich bewegt wird, welches das Schultergelenk gar nicht mehr zulässt. Da wird es sicherlich zu körperlichen Schädigungen kommen. Und dann noch die Frage, was passiert eigentlich wenn ein Patient mit so einem Gerät stürzt?

Will: Mmh, das weiß ich auch nicht. So das sind eigentlich meine Fragen. Haben Sie sonst noch etwas, was Sie anmerken möchten?

IP3_Physiotherapeut: Also grundsätzlich finde ich es schon sehr imposant, dass sich über solche Sachen Gedanken gemacht wird. Und dass im Bereich der neuen Elektronik und im Bereich der neuen Möglichkeiten auch über Sensorik nachgedacht wird. Aber ich glaube, dass wir noch ein ganz großes Stück von dem entfernt sind, was ein Gehirn leisten kann. Was wir auch nicht außer Acht lassen dürfen ist, dass die Fassetten der menschlichen Bewegung so extrem vielfältig sind. Es kommt ja schon darauf an, was ich anfasse und schon ist meine Hand so hingestellt, was mein Kleinhirn an Bildern schon hat. Das habe ich mir als Kind ja lange genug antrainieren müssen. Also das müsste man letztendlich alles mit bedenken. Auch die Tatsache, dass ein Schritt Auswirkungen auf die Arme hat und andersherum, darf nicht vergessen werden.

Will: Vielen Dank für das Gespräch

Interview Transkription Nr.04 und 05, Interviewer Niels Will und interviewte Personen Dr. Thietje, Chefarzt des Querschnittgelähmten-Zentrum des BUKHs und Frau Bettina Corinth, Ergotherapeutin des BUKHs. Interview am 27. November 2009

Will: Wie betrachten Sie allgemein die Entwicklung hingehend zur technisierten Behandlung von Patienten und die Entwicklung hingehend zur Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin?

IP4_Dr. Thietje: Aus meiner Sicht gibt es erhebliche Diskrepanzen, was technisch möglich ist und dem was nach Vorstellung der Mitarbeiter, die unmittelbar mit der praktischen Anwendung dann verbunden sind und welcher Wert dem beigemessen wird. Wir selbst haben hier nicht ganz unerhebliche Erfahrungen mit derartigen Geräten, so einen Lokomat, also ein Laulernroboter.

Will: Ja, das habe ich gesehen im Internet, dass Sie das anwenden.

IP4_Dr. Thietje: Der wurde uns verkauft für viel Geld, von Wissenschaftlern entwickelt unter der Vorstellung, dass man sehr große Erfolge erzielen könnte, wenn man das Gerät nur konsequent nutzt. Aus meiner Sicht stellt sich dies wesentlich problembehafteter dar, als dieses uns initial so vermittelt wurde, in der Gestalt, als die Vorstellung, dass man menschliche Ressourcen spart in dem man technische Ressourcen einsetzt, bei weitem nicht so nah an das gewünschte Ziel in der Praxis herankommt, wie es vermutet wurde. Es geht schon damit los, dass so ein Gerät aufgestellt werden muss, dass es individuell eingestellt werden muss, dass Mitarbeiter eingearbeitet werden müssen und das ist ein Unterschied, ob ich 25 Mitarbeiter habe, die ich einarbeiten muss, um gelegentlich ein solches Gerät in Betrieb zu haben, oder ob ich einen Wissenschaftler habe, der seine Diplomarbeit damit fertigstellt und natürlich einen vollkommen anderen Zugang hat, vielleicht von der technischen Seiten betrachtet einen anderen Zugang hat, aber nicht den Überblick haben kann, was die Anwendung in der Praxis betrifft. Da gibt es einfach eine große Diskrepanz zwischen dem theoretisch sinnvollen und der wirklichen praktischen Umsetzung. Und dann darf man auch nicht darüber hinwegsehen, dass es eine erhebliche Diskrepanz gibt zwischen der Einschätzung von der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit eines Systems, zwischen dem der das System entwickelt hat und dem der das hinterher anwendet bzw. bezahlen muss. Da stehen sich die Auffassungen zum Teil diametral gegenüber.

IP5_Corinth: Ich kann noch ganz kurz sagen, wir haben jetzt in der Ergotherapie das Gripability System, ich weiß nicht, ob Ihnen das was sagt, das ist für Patienten, die keinerlei Greiffunktion mehr haben, die dann über ein Druckkompressor-System über eine Zange greifen können. Da muss man aber auch sehen, dass die Patienten

wenn sie frisch verletzt sind, gar nicht unbedingt immer bereit sind, gleich mit so technischen Ersatzmitteln zu arbeiten. Also, dass es auch noch in diese Richtung einschränkend ist und natürlich auch vom Kostenfaktor. Solche Therapien werden bei weitem nicht immer von den Kassen übernommen.

Will: *Auf welchem Fachgebiet sehen Sie die größte Möglichkeit ein Exoskelett für den Arm bzw. Oberkörper einzusetzen? In der Neurologie, Chirurgie?*

IP4_Dr. Thietje: Da müsste ich zunächst einmal wissen, wie überhaupt der Antrieb dieses Skelettes funktioniert, bzw. die Steuerung des Skelettes.

Will: *Die Frage ist noch offen, aber eine Steuerung über EMG ist z.B. denkbar.*

IP4_Dr. Thietje: Aus meiner Sicht, ist es ein sehr genereller Ansatz mit dem sie jetzt hier kommen. Also, ich weiß überhaupt nicht wie der Antrieb funktionieren soll, ich weiß nicht wie die Steuerung funktionieren soll. Da ist nur die Idee, sowas überhaupt zu bauen. Da gibt es ja mittlerweile Konkurrenzprodukte, ich sag mal, die Firma Otto Bock hat gerade vor kurzer Zeit eine myoelektrische Prothese vorgestellt, wobei eine EEG abgeleitete Funktion getriggert wird. Sprich, der Mensch denkt etwas, die Gehirnströme werden abgemessen und umgewandelt und in einer Greiffunktion, die tatsächlich der gewünschten Funktion entspricht, sodass der Patient in der Lage ist ohne Arme einen PKW zu lenken. Das ist, sozusagen Generationen weiter. (Anmerkung des Interviewers: bei dieser Technik werden EMG-Signale verarbeitet, es handelt sich also nicht um EEG abgeleitete Funktionen²⁵)

Will: *Das hört sich ja zumindest so an.*

IP4_Dr. Thietje: Aber zurück zu den potentiellen Einsatzbereichen. Aus meiner Sicht, könnte das System erst mal Extremitätensatz sein. Sei es nun so, dass die Extremität wirklich verlustig ist, oder sei es, dass sie einfach nicht funktioniert. Es gibt ja Menschen, die haben Verletzungen im Bereich der Nerven entwickelt, die damit einhergehen, dass die oberen Extremitäten nicht mehr willkür-motorisch funktionieren. Und da wäre es natürlich attraktiv so ein System zu entwickeln. Sowohl für die oberen Extremitäten als auch für die unteren Extremitäten. Dann könnte man also eine Steh- und Gehfunktion induzieren.

IP5_Corinth: In dem Zusammenhang würde mich interessieren, geht das hier nur bis zum Handgelenk, würde es die Finger auch mit einbeziehen? Weil dann wäre es ja... wir arbeiten im Augenblick mit diesem Help-Arm, die ja inzwischen teilweise

²⁵ Die gedankengesteuerte Armprothese basiert darauf, dass die noch vorhandenen motorischen Armnerven des Stumpfes chirurgisch in den Pectoralis geleitet werden. Hier werden mittels EMG-Ableitung die Signale der Armnerven verarbeitet und in motorische Befehle in Echtzeit an die Prothesensteuerung weitergeleitet. Die Gedankensteuerung funktioniert also durch die Steuerung des Phantomarmes und nicht wie angenommen über die Ableitung von EEG-Signalen. (Quelle: http://www.ottobock.de/cps/rde/xchg/ob_de_de/hs.xsl/14183.html)

auch schon elektrisch angesteuert werden können, aber immer mit dem Faktor, es muss irgendwie ein Taster ausgelöst werden. Und dazu müssen natürlich auch irgendwelche Muskelfunktionen, sei es nun Schulter, Kopf oder wo auch immer, noch vorhanden sein. Dann, in Kombination, arbeiten wir momentan mit diesem Gripability-System. Es wäre natürlich schön, wenn dann Arm- und Fingerfunktion verbunden wäre.

Will: Sicherlich ist die Erweiterung des Systems auf die Hand denkbar. Der nächste Schritt des Projektvorhabens ist, beide Arme mit so einem System auszustatten.

IP4_Dr. Thietje: Das ist natürlich aus der Sicht einer Ergotherapeutin, da haben Sie wahrscheinlich am meisten Verständnis, das wirklich spannende an der oberen Extremität ist die Hand. Alles andere ist ja noch relativ primitiv und steht natürlich auch im Einklang mit einer mechanistischen Vorgehensweise.

Will: Bei welchen speziellen Erkrankungen können Sie sich den Einsatz des Exoskeletts am ehesten vorstellen?

IP4_Dr. Thietje: Hoher Querschnitt und Plexusparese. Das wären die Klassiker. Wenn ein Arm verlustig ist, wäre das System glaube ich nicht mehr so attraktiv. Da würde ich eher an intelligente Prothetik denken.

Will: Wie schätzen Sie den Einsatz in der Geriatrie ein? Ist es vorstellbar Senioren mit alterstypischen Erkrankungen und Einschränkungen durch ein Exoskelett den Alltag zu erleichtern und Pflegepersonal zu entlasten?

IP4_Dr. Thietje: Ich glaube, da sind wir Meilen weit entfernt. Aus vielerlei Gründen. Erstens ist der Zugang solch alter Menschen zu solchen Systemen erschwert und zum zweiten, da brauchen wir uns gar nichts vormachen, das wird unsere Volkswirtschaft sich nicht erlauben können. Da habe ich überhaupt keinen Zweifel dran. Es gibt dann vielleicht eine Handvoll, die ihr Erbe verpfänden um sowas zu versuchen, aber sowas flächendeckend einzusetzen, bei Schlaganfall oder ähnlichem, halte ich für vollkommen abwegig.

IP5_Corinth: Ich denke auch, der Einsatz von unseren jetzigen technischen Geräten die wir haben, dass es da besonders dem älteren Klientel schwerfällt sich einzuarbeiten in die Materie, sei es nun irgendwelche Umfeld-Kontroll-Systeme, Computer mit denen wir hier arbeiten, mit Kinnsteuerung, Sprachsteuerung, Elektrorollstühle. Gerade auch für hochgelähmte, die Geschichten mit Kinnsteuerung. Also das erfordert schon etwas mehr Compliance da einzusteigen in das Thema.

Will: Halten Sie das Trainieren im virtuellen Raum für sinnvoll? Mithilfe einer Art Cyber-Brille und Filmaufnahmen aus der eigenen Wohnung könnten Menschen in

einer virtuellen Welt mit dem Exoskelett üben, um sich später zu Hause besser zurechtzufinden.

IP4_Dr. Thietje: Da habe ich überhaupt keine praktischen Erfahrungen mit. Prinzipiell könnte ich mir das aber in verschiedenen Bereichen vorstellen, zumindest für den Bereich Querschnittlähmung, allein schon um eine Vorstellung davon zu bekommen, ob es überhaupt Sinn macht in den Räumlichkeiten weiter zu wohnen. Sprich, man bekommt da einen Einblick, kann es funktionieren, ja oder nein. Allein aufgrund der baulichen Voraussetzungen schon.

IP5_Corinth: Also, mit so grundlegenden Sachen sind ja viele Ergotherapieabteilungen ausgestattet. Wir haben eine Küche, die genutzt werden kann für Rollstuhlfahrer oder Fußgänger und wir können Situationen im Bad oder am Bett nachstellen. Also, die ganz grundlegenden Dinge sind gewährleistet, dass wir das hier mit dem Patienten erproben können. Wenn es aber in die ganz spezielle Richtung geht, wie ist das Badezimmer geschnitten, wie hoch ist zu Hause tatsächlich der Schrank um irgendwo hin zugreifen. Dann denke ich ist das schon sehr interessant, dass mit einer Cyber-Brille zu machen.

Will: *In welchem Einsatzgebiet sehen Sie für das Exoskelett die größten Potentiale, als Diagnosegerät, als Therapiegerät z.B. zum Trainieren von Bewegungsabläufen oder Muskelaufbau. Oder eben als Alltagsunterstützendes System, für die permanente Anwendungen zu Hause oder im Büro?*

IP4_Dr. Thietje: Also als Diagnosesystem halte ich das für vollkommen ungeeignet, im Vergleich zu den Untersuchungsmethoden, die heute schon zu Verfügung stehen. Ich kann mir keinen einzigen Aspekt vorstellen, was dieses Gerät besser machen könnte im Vergleich zu den bestehenden Methoden.

IP5_Corinth: Also, ich würde es komplett für den Therapiebereich einsetzen. Vielleicht einmal zur Kräftigung bei bestimmten Erkrankungen und da denke ich natürlich auch an die ganzen querschnittgelähmten Patienten, die entlassen werden, ohne dass sie den Arm in irgendeiner Weise einsetzen können. Und wenn dieses System das unterstützen könnte, oder die Armfunktion ersetzen könnte, mit entsprechenden Schaltern, dass es dann angesteuert werden kann, oder wie auch immer, dann wäre das natürlich sehr interessant.

IP4_Dr. Thietje: Also ich würde auch den Einsatzbereich in einer dauerhaften Hilfsmittelversorgung sehen. Mit einer vorrausgehenden intensiven Therapie natürlich.

Will: *Also ähnlich wie eine Prothese eingesetzt wird?*

IP4_Dr. Thietje: Ja.

Will: Wie müsste Ihrer Meinung nach ein Exoskelett konzipiert sein? Wie wichtig ist die Individuelle Anpassung an die Physiologie des Patienten? Wie genau müsste das an den einzelnen Patienten angepasst werden.

IP5_Corinth: Exakt.

IP4_Dr. Thietje: Muss exakt sein. Die Extremitäten sind alle unterschiedlich lang, wenn das Gelenk nicht an der richtigen Stelle ist, dann haben wir gleich verloren. Dann geht das nicht, oder es kommt zu einer Fraktur. Das ist bereits etwas, was wir an dem sehr primitiven, aus meiner Sicht, sehr primitiven Lokomaten erkennen. Das ist ja ein Industrieroboter, der umgebaut wurde, um so eine scheinbar einfachen Mechanismus wie das Gehen zu reproduzieren und wenn man sich da mal selber reingestellt hat, dann merkt man wie unphysiologisch dieses hochtechnisierte Gangbild ist. Das ist himmelweit entfernt von einer Physiologie. Das ist das A und O, wenn sowas einsetzbar sein soll, das muss hochindividuell eingestellt werden.

IP5_Corinth: Gerade bei den querschnittgelähmten Patienten mit Sensibilitätseinschränkungen sehen wir jetzt schon, bei Miederversorgung oder Sitzschalenanpassungen, dass es sehr, sehr schnell zu Druckstellen kommt. Und das wäre bei diesem Gerät dann natürlich auch. Es muss so exakt sitzen, dass diese Gefährdung komplett ausgeschaltet ist. Und wenn das so alles funktionieren würde und es ist für den Dauereinsatz gedacht, dann würde der Patient das ja wirklich auch von morgens bis abends tragen, um aktiv teilzunehmen und da muss es natürlich ganz ausgeschlossen sein, dass da irgendwelche Gefährdungen bestehen.

IP4_Dr. Thietje: Da ist die Passgenauigkeit das A und O. Einerseits macht hohe Passgenauigkeit gute Funktion möglich, andererseits liegt es eben auch eng an und ist damit ein gefährdendes Agens für die Weichteile. Wenn es nämlich nur locker anliegt, wird man damit keine zielgerichtete Bewegung durchführen können.

Will: Welche Freiheitsgrade sind denn sinnvoll oder unbedingt nötig? Muss das Exoskelett sämtliche Bewegungen durchführen können, die ein Schultergelenk normalerweise durchführen kann? Oder wäre es für den Alltagsgebrauch ok, wenn da Einschränkungen sind?

IP4_Dr. Thietje: Ich denke, die Patienten, für die das in Frage kommt, müssen sich darauf einstellen, dass der Bewegungsradius der entsprechenden Gelenke eingeschränkt ist. Prinzipiell ist es natürlich wünschenswert möglichst viel Bewegungsphysiologie zu erzielen. Es gibt natürlich einen gewissen Range der Gelenkbeweglichkeit, der quasi Grundvoraussetzung ist, um dieses Gelenk nutzen zu können. Da gibt es andere Bereiche, wenn man z.B. 15-20% Streckdefizit im Ellenbogen hat, hat das sicherlich im alltäglichen Leben wenig Konsequenz.

Will: Würden Sie auch sagen, dass man nur ca. 50-60% seines Range of Motion im Schultergelenk für den Alltag nutzt?

IP4_Dr. Thietje: Ja, das würde ich auch so sehen.

Will: Wie wichtig ist z.B. bei geführter Bewegung durch das Exoskelett die Nachahmung natürlicher Bewegungsabläufe?

IP4_Dr. Thietje: Ich glaube, dass es extrem darauf ankommt, welches Gelenk gerade bewegt wird, welche Extremitäten genutzt werden. Wir wissen ja, dass die Nervenverteilung im menschlichen Körper extrem unterschiedlich ist, je nachdem welches Organ gerade versorgt ist und wenn ich ein Organ wie die Hand nehme, was extrem auf Feinmotorik geeicht ist, braucht man da entsprechend Feinjustierung, während man bei groben Sachen, wie Stehen oder Strecken im Hüftgelenk, relativ viel an Ungenauigkeit zulassen könnte.

IP5_Corinth: Das sehe ich genauso. Gerade auf die Hand bezogen, wäre es natürlich wünschenswert, wenn das alles so physiologisch wie möglich wäre, damit halt das Greifen von Gegenständen so gut wie möglich funktioniert. Also mit viel Kraftaufwand bei großen Gegenständen und mit wenig bei kleinen usw. das wäre natürlich wunderbar, wenn das funktionieren würde.

Will: Welche speziellen Anforderungen müsste ein Exoskelett noch mit sich bringen, um in der Medizin eingesetzt werden zu können? Dinge die vielleicht auch im Umgang mit Patienten noch speziell beachtet werden müssen.

IP4_Dr. Thietje: Ja. Der Tragekomfort, sprich das Anlegen eines solchen Teils muss innerhalb kurzer Zeit möglich sein und mit möglichst wenig Helfern dabei und das Tragen muss auch sicher sein. Es muss sichergestellt sein, dass man sich da nicht verletzen kann, dass man Fehlermöglichkeiten hat und nicht sich Selbst oder Dritte beschädigt dabei. Das ist das A und O bei jeder Hilfsmittelversorgung die wir hier machen. Je einfacher sie vom Handling ist, umso besser wird es vom Patienten akzeptiert und umso geringer ist auch die Gefahr, dass irgendwelche Sachen nach hinten losgehen.

IP5_Corinth: Ja, dass auch die Verständnisfähigkeit der Angehörigen später da ist. Dass es dann auch leicht genug anwendbar und anlegbar ist, damit es auch wirklich benutzt wird.

IP4_Dr. Thietje: Also, ein Exoskelett, wo ich vier Fachleute brauche um es anzulegen, braucht man nicht entwickeln. Das ist dann vielleicht für ein paar Forschungsarbeiten an einer Universität interessant, aber nicht im Alltag.

IP5_Corinth: Und ich denke auch, was für den Patienten noch dazu kommt, ist vielleicht die Auffälligkeit dieses Gerätes. Das sieht man ja auch bei hochgelähmten

Patienten, die dann mit diversen Hilfsmitteln ausgestattet sind, wo teilweise das nach Draußen gehen nicht ganz einfach ist. Durch die ganze Zurüstung die dabei ist, wird natürlich sehr viel Auffälligkeit in der Öffentlichkeit bewirkt. Und da ist natürlich die Frage, wie anliegend ist das Ganze, wie ist die Bedienbarkeit realisiert und wie wirkt es nach außen.

Will: Damit ist meine nächste Frage eigentlich schon beantwortet, wie ein Patient ein Exoskelett annehmen würde.

Eine weitere Frage zu wirtschaftlichen Aspekten noch. Wie hoch dürften die Kosten eines derartigen Systems maximal sein, um nicht die Wirtschaftlichkeit zu vernachlässigen? Vielleicht können Sie was dazu sagen.

IP4_Dr. Thietje: Das hängt davon ab, was dieses Ding am Ende leisten kann. Mittlerweile kann man sagen, dass Hilfsmittel die über 10.000 € liegen, praktisch nicht mehr verordnungsfähig sind. Abgesehen mal von einem Elektrorollstuhl, der vielleicht etwas höher liegt, aber das ist schon hochproblematisch. Also, irgendwie ein Exoskelett was 80.000 € kostet ist völlig uninteressant.

Will: Es dürfte sich aber schon in dem Bereich der Kosten einer Prothese bewegen? So 5000 bis 8000 € ist meine Information dazu.

IP4_Dr. Thietje: Ja, das schon. Es gibt auch teurere Prothesen, gerade die myoelektrischen, intelligenten Prothesen, die werden deutlich teurer sein, da liegt man so bei 30 bis 40.000, aber das ist nur experimental Bereich, das ist nicht täglich Brot.

Will: Ist ein Exoskelett als Massenprodukt, als individualisiertes Massenprodukt, in der Medizin für Sie in Zukunft denkbar?

IP4_Dr. Thietje: So weit reicht mein Blick in die Zukunft nicht. Wenn ich mir anschau, wie Prothetik heute aussieht habe ich große Probleme mir vorzustellen, dass sowas innerhalb kürzerer Zeit zu einem Massenprodukt wird.

IP5_Corinth: Und wenn ich sehe, wie aufwändig Versorgungen bei Patienten sind, kann ich mir das jetzt auch nicht massenweise vorstellen. Es sind ja wirklich aufwändige Prozesse, bis z.B. ein Elektrorollstuhl so ideal angepasst ist, und eben auch ein Kostenfaktor, der sehr hoch ansteigen kann und... würde ich jetzt spontan auch nicht so sehen.

Will: Sehen Sie generell momentan überhaupt Bedarf für so ein System?

IP4_Dr. Thietje: Also ich sehe einen Bedarf darin, dieses Thema unter wissenschaftlichen Aspekten zu beleuchten. Und es ist sicherlich so, dass die Technik derartig dramatisch voranschreitet, sowohl hinsichtlich der Geschwindigkeit, aber auch hinsichtlich dessen was technisch möglich ist. Das ist

sicherlich unter wissenschaftlichen Aspekten zu befürworten, dass dort geforscht wird. Zum jetzigen Zeitpunkt, sehe ich da aber keine unmittelbare Nutzung.

IP5_Corinth: Wenn dieses System so ausgereift wäre, dass man es unmittelbar anwenden könnte, wäre es wunderbar und es würde den Menschen sehr helfen, aber das ist wahrscheinlich noch ein längerer Prozess.

Will: Gibt es denn auch Aspekte, die man Ihrer Meinung nach auch kritisch betrachten muss? Vielleicht sogar Gefahren bei der Anwendung? Den Sicherheitsaspekt hatten Sie genannt, aber vielleicht noch andere Dinge wie Abhängigkeit?

IP4_Dr. Thietje: Das Grundproblem ist, dass der Patient ein solches Teil nur anwenden wird, wenn für ihn persönlich der Vorteil größer ist als der Nachteil. Das Ding muss funktionieren, es muss zuverlässig funktionieren und er darf sich nicht in überproportionale Abhängigkeiten begeben, von dem Gerät, von dritter, von Kosten. Wenn dieses ganze Drumherum stimmt und der Patient sagt, so ist es für mich in Ordnung, ich habe mehr Nutzen als Schaden, es hilft mir wirklich weiter, dann wird sich sowas auch durchsetzen, sonst nicht. es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die da mit hinein strahlen. Und der wissenschaftliche Aspekt in Ehren und das technisch heute machbare in Ehren, das garantiert aber keineswegs einen Erfolg hinsichtlich der Anwendung, wenn es vom Patienten nicht angenommen wird.

IP5_Corinth: Ich denke auch, das Gerät müsste in der Klinik langzeiterprobt werden, mit vielen Patienten, um eine Versorgung dann auch sinnvoll durchführen zu können.

Will: Generell ist ja die Studienlage, was solche Hilfsmittel angeht noch sehr beschränkt. Es gibt wenige Studien, die einen klaren Nutzen belegen.

IP4_Dr. Thietje: Ja. Wir sehen das ja schon an scheinbar einfachen Fragestellungen, wie einen Patienten zu vermitteln, dass er in einem Elektrorollstuhl eigentlich besser aufgehoben ist, als in einem mechanischen Rollstuhl. Selbst dieser Sprung ist für viele Patienten schon fast unmöglich anzunehmen, weil der mechanische Rollstuhl ist klein und kompakt, man ist offensichtlich weit weniger behindert als mit einem Elektrorollstuhl. Und gerade unsere jungen Patienten, wo man sagen könnte, gerade die profitieren von der hochtechnisierten Gerätschaft, gerade die tun sich überproportional schwer das anzunehmen.

Will: Tatsächlich? Eigentlich müsste man ja das Gegenteil annehmen, da ja gerade junge Patienten in einer technisierten Welt groß werden und mit Technik ja sehr vertraut sind.

IP4_Dr. Thietje: Ja, das schon, aber auf der anderen Seite, werden sie durch diese Geräte zusätzlich stigmatisiert, zumindest empfinden sie es so. Das sehen wir bei vielen Patienten.

IP5_Corinth: Sie nehmen dann lieber Fehlhaltungen, Schulterprobleme in Kauf, durch das ständige Antreiben des mechanischen Rollstuhles, das trifft natürlich nicht für alle zu, aber es kommt immer wieder vor, dass Patienten die Computerversorgung ablehnen und dann erst im Lauf der Therapie der Punkt kommt, wo die Patienten sagen, ich probiere das jetzt mal. Gerade bei diesen Geräten z.B. bei der Help-Arm Versorgung ist es schwierig die Patienten von Anfang an damit zu versorgen.

Will: Haben Sie noch Dinge, die Sie anmerken möchten? Ich wäre sonst mit meinen Fragen durch.

IP4_Dr. Thietje: Also ich hoffe, dass ich Sie jetzt nicht desillusioniert habe, weil wir so kritisch mit dieser Fragestellung umgehen. Wir sind hier wirklich sehr erfahren und haben viele Beispiele erlebt, die uns gelehrt haben und.... Da komme ich wieder auf meinen Eingangssatz zurück, dass es eben einen Unterschied gibt zwischen dem was technisch möglich ist und dem was praktisch anwendbar ist, oder angewendet wird. Und das muss man auch als Wissenschaftler verstehen. Nichtsdestotrotz ist die Forschung diesbezüglich nicht nur legitim, sondern auch erforderlich. Nur macht es keinen Sinn, mit einem Gerät an dem Markt zu gehen, das keine Marktreife hat.

Will: Wobei das die Gerätehersteller sicherlich anders empfinden, oder?

IP4_Dr. Thietje: Ja, das ist eben das große Problem. Es ist ja auch so, dass heute die Verquickung zwischen Wissenschaft, Lehre und Industrie ja protegiert wird. Das hat Vorteile, hat aber auch Nachteile. Eines der großen Nachteile ist sicherlich, dass es den Blick verklärt hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit. Weil einfach der Wissenschaftler, der vielleicht in seinem Zentrum 30 Patienten hat, jeden Patienten mindestens in eine Studie presst, um auch seine wissenschaftliche Reputation irgendwie dokumentieren zu können und unter diesem Druck wird natürlich auch viel hinein gepresst, was sich eigentlich nicht hineinpressen lässt. Und das führt dazu, dass die Industrie dann mit Entwicklungen auftrumpft, die vielleicht unter Laborbedingungen funktionieren, aber eben nicht im wirklichen Leben. Und die scheitern dann am Markt.

Will: Vielen Dank für das Gespräch.

IP4_Dr. Thietje: Gerne

**Interview Transkription Nr.06, Interviewer Niels Will und interviewte Personen
Frau Barbara Winter, Physiotherapeutin im Albertinen-Haus Interview am 25.
Januar 2009**

Will: Wie betrachten sie allgemein die Entwicklung hingehend zur technisierten Behandlung von Patienten und die Entwicklung hingehend zur Integrierung von Mensch-Maschine-Systemen in der Medizin? Also, beispielsweise der HapticWalker, ich weiß nicht, ob sie den kennen - der in der Charité entwickelt, so ein Gehapparat für Querschnittsgelähmten. In der quasi Alltagssituationen nachgestellt werden können, so, dass halt bestimmte Bewegungsabläufe eintrainiert werden können.

IP_6 Winter: Also, im Prinzip finde ich es sinnvoll, dass in diesem Bereich geforscht wird und dass man Kapazitäten und Gelder aufwendet um den Menschen ihre motorische Entwicklung eben zu erleichtern oder Wege zu finden um diese motorische Entwicklung zu erleichtern. Zum Beispiel auch diese Hirnschrittmacher, oder so, das finde ich sehr sinnvoll. Das ist ja auch erprobt - bringt ein gutes Resultat. Was ich nicht positiv sehe, ist, wenn die Maschinen die Therapeuten ersetzen sollen, primär. Wenn sie als Hilfe eingesetzt werden, also so ausgefeilt sind, dass sie wirklich eine gute Unterstützung dem Patienten bei einer Übung bieten und dann so eingesetzt werden, dass sie die therapiefreien Zeiten zum Eigentaining mit unterstützen können, finde ich es je nach Gerät sinnvoll.

Will: Verfolgen sie oder ihre Einrichtung aktuelle Entwicklungen in der medizinischen Forschung auf diesem Bereich?

IP_6 Winter: Naja, wir verfolgen das schon anhand der Berufspresse eben, was man da hört oder was wir von unseren Stations- oder Oberärzten mitgeteilt bekommen, über Artikel die uns vorliegen. Wir haben natürlich jetzt direkt keine Geräte hier im Einsatz, außer einem Stehgerät. Das ist ja im weitesten Sinne auch so eins. Oder ein Balancegerät, aber wir sind jetzt nicht einem Forschungsprojekt beteiligt.

Will: Aber generell ist es schon denkbar, wenn jetzt Geräte auf den Markt kommen, dass die dann eventuell auch angeschafft werden. Also, diese Einrichtung lehnt so etwas grundsätzlich nicht ab.

IP_6 Winter: Nein gar nicht, wir haben hier eine Forschungsabteilung die sich sehr intensiv damit beschäftigt auch. Das sind nicht wir jetzt hauptamtlich, aber über die Forschungsabteilung schon.

Will: Dann komme ich zum nächsten Punkt. Da geht es um die Anwendungsbereiche. Generell ist die Möglichkeit des Exoskeletts vielfältig oder sollte zumindest dann später sein. Es könnte beispielsweise als Kraftverstärker zum Einsatz kommen, das passive Führen von Bewegungsabläufen steuern oder als Trainingssystem dienen.

Die Gestaltung des Exoskeletts kann an die verschiedenen Gegebenheiten angepasst werden. Z.B. an das Krankheitsbild oder an die Physiologie des Menschen und weiter soll es möglich sein verschiedene Sensorik, zur Erlangung von Messdaten, an das Exoskelett zu koppeln. Das ist erst mal so das was momentan denkbar oder möglich wäre. Auf welchem Fachgebiet sehen sie denn die größte Möglichkeit ein Exoskelett für den Arm bzw. den Oberkörper einzusetzen?

IP_6 Winter: Also, eher wenn es um eine periphere Lähmung geht. Es wurde hier gesagt, dass es auch bei Schlaganfällen zum Einsatz kommen sollte. Das halte ich insofern für ungünstig, wenn es jemand ist, der relativ schwer betroffen ist. Wenn es jemand ist, der auch vom Rumpf her stark betroffen ist, dann ist es einfach viel zu schwer mit so einem Rucksack zu hantieren. Wenn jemand neuropsychologische Defizite hat, also praktisch eine Aufmerksamkeitsstörung und seinen Arm oder die Halbseite vernachlässigt, wenn er überhaupt Planungsstörungen hat, also jegliche Defizite auf der neuropsychologischen Ebene, also Planungsstörung, Aufmerksamkeitsstörung, Sensibilitätsstörung, Konzentrationsstörung, wenn die Wachheit eingeschränkt ist und so weiter, dann halte ich das für nicht angemessen, weil dann kein richtiger Umgang damit gewährleistet ist. Ich denke immer, ein Patient müsste in der Lage sein das Ding fast selbstständig anzuziehen und genau wissen und verstanden haben was er damit auch tun soll. Und das ist bei zentralen Hirnschädigungen nur der Fall, wenn die Neuropsychologie nicht betroffen ist und wenn es eher ein Patient ist, also der müsste meiner Meinung nach Fußgänger sein, ohne Hilfsmittel - vielleicht noch mit einem Handstock. Meinetwegen eine Radialislähmung oder eine Plexusschädigung oder so, dann könnte ich mir das eher vorstellen. Vielleicht auch sogar bei Jugendlichen, also ich erinnere mich an Patienten, die ich hatte nach Motorradunfällen, die dann mit einem Plexusschaden keinen Zugang mehr hatten zu dem Arm. Es soll keine Therapie ersetzen aber es kann höchstens – die sind technikbewandert, die sind technikinteressiert, da kann ich mir vorstellen, dass die sich da so ein bisschen reintüfteln und dass man das da mal ausprobiert. Wobei ich immer denke, dass andere Muskelaktivitäten abgerufen werden, wenn es sich um ein so großes Gewicht handelt, als wenn du dieses Gewicht nicht auf dem Körper hast. Das ist immer noch ein Unterschied. Aber in dem Bereich könnte ich mir das eventuell... also könnte man es ausprobieren – in therapiefreien Zeiten.

Will: *Wäre es z.B. für sie auch möglich, das einzusetzen wenn es Muskelabrisse gibt oder Ähnliches, dass man sagt, man könnte vielleicht mit dem System das auch kompensieren, gerade bei Motorradunfällen kommt sowas ja mal vor.*

IP_6 Winter: Ja also, wenn der Muskel wieder angenäht ist und nicht abgerissen bleibt, das wäre dann eher der orthopädische Bereich und nicht mehr Neurologie. Also, nach einer Fraktur oder so, aber ich glaube, dass das die Patienten schon fast

gar nicht brauchen. Aber wenn es so wäre, dass es eine kompliziertere Fraktur ist und es schwer ist für denjenigen wieder in die Alltagsaktion zurück zu kommen, könnte man das möglicherweise ausprobieren. Muss man probieren.

Will: Die nächste Frage wäre wie der Einsatz in der Geriatrie einzuschätzen ist. Da hatten sie ja schon gesagt, dass sie das eher nicht so sehen, wenn sie das gerade auch auf Schlaganfallpatienten übertragen. Wäre es trotzdem für sie denkbar in irgendeiner Form anzuwenden?

IP_6 Winter: Also, im Moment, bei den Patienten die wir haben, wir haben ja viele Leute die gerade gestürzt sind und sich den Humerus gebrochen haben - bei den Wetterverhältnissen - die wäre aber alle nicht in der Lage ein 15 Kilopakete auf dem Rücken zu tragen. Bis auf einen Herrn, der richtig fit ist, auch ein Fußgänger, der hat aber eine Schulterprothese und der dürfte das zurzeit noch gar nicht. Da müsste man noch einige Zeit abwarten und da gehe ich davon aus, der ist zurzeit schon so gut in der Bewegung, also der macht mehr als er darf, dass der das nicht brauchen wird. Also, in Einzelfällen, aber nie als Therapieersatz, sondern als zusätzliches Üben.

Will: Halten sie das Trainieren in virtuellem Raum für sinnvoll? Mit Hilfe einer Art CyberBrille und Filmaufnahmen z.B. aus der eigenen Wohnung, könnte also ein betroffener Mensch in der virtuellen Welt mit dem Exoskelett üben, um sich dann gegebenenfalls später in der eigenen Wohnung besser zurechtzufinden.

IP_6 Winter: Es fällt mir schwer mir das so vorzustellen – es fällt mir schwer mir vorzustellen, dass unsere geriatrischen Patienten, das so umsetzen könnten. Also, wenn es wirklich einen Patienten gibt, auf den das passen könnte, der das ausprobieren könnte, dann wäre der wahrscheinlich auch in der Lage das mit dieser Vorstellungswelt – das wäre vielleicht ganz lustig für ihn.

Will: Aber generell für jüngere Menschen, wäre das was, wo sie denken, dass macht therapeutisch Sinn?

IP_6 Winter: Ja, also die Vorstellung, das ist ja was Motivierendes, auch ne? Das ist ja wie dieses Wii, so ein bisschen. Das mögen jüngere ja, sonst hätte das ja nicht so einen Erfolg. Und wenn man Spaß hat an etwas, dann lernt man leichter bzw. das wirkt ja sehr motivierend und es könnte natürlich... ja, in einigen Fällen könnte es unterstützend wirken.

Will: In welchen Einsatzgebieten sehen sie für das Exoskelett die größten Potenziale? Als Diagnosegerät, als Therapiegerät (also trainieren von Bewegungsabläufen, Muskelaufbau oder ähnliches) oder als alltagsunterstützendes System für den Patienten für die permanente Anwendung z.B. auch bei der Arbeit oder zuhause oder ähnliches.

IP_6 Winter: Ich glaube für die Arbeit zuhause ist es zu schwer und zu umständlich anzulegen und in Betrieb zu nehmen. Ich denke eher, dass es therapiebegleitend ist, also nicht therapieersetzend, wie ich jedes Mal wiederhole, aber mit Absicht auch, weil ich immer noch denke, dass Therapeuten besser sehen als so ein Gerät und auch besser einwirken können. Ich kann es mir wirklich vorstellen, als ein Gerät in therapiefreier Zeit zum Eigenprogramm, also im Eigentraining zu unterstützen beim Patienten, dass er sich wirklich mit seinem Arm beschäftigt und was tut, zusätzlich zu allen therapeutischen Maßnahmen und zwar in einem geschützten Rahmen, also es muss immer noch jemand da sein, der das auch mit kontrolliert, also erst mal eben im Krankenhaus oder in einer Praxis, wo er dann anschließend noch irgendwas macht.

Will: Also, sie würden das demjenigen nicht mit nachhause geben.

IP_6 Winter: Nicht zu Anfang. Also, dazu habe ich das auch nicht live gesehen. Das ist ja für mich jetzt auch etwas, was ich mir darunter vorstelle. Ich könnte es anders beantworten, wahrscheinlich, wenn ich es selber ausprobiert hätte. Ich ziehe auch jede Schiene vom Patienten an, oder so und probier die aus. Und ich würde es gerne ausprobieren, um zu sehen was macht es eigentlich mit mir und meinem Arm und dann könnte ich sagen, okay, für den und den ist das geeignet.

Will: Und als Diagnosegerät, würden sie so etwas sinnvoll finden? Das man sagen kann, man hat bestimmte Messdaten über die Kraft die der Patient ausüben kann, über den Verlauf der Therapie hat sich das halt um x-fach verbessert oder... wär das denkbar oder gibt es Methoden wo man sagt, das was wir momentan anwenden ist eigentlich nicht mehr zu toppen. Also, das würde jetzt gar nichts bringen.

IP_6 Winter: Naja, also das gar nicht mehr zu toppen nicht, wir haben ja immer nur die Muskelfunktionsprüfung und die sind im Ergebnis auch sehr schwankend. Ich denke, wenn das wirklich genau misst, wie dieser Sensorentepich, den wir in der Forschung haben, wo deine Schrittlänge und Gewichtsübernahme gemessen wird, dann hat man ganz objektivierbare Werte, die ja im Zuge der Zeit - also, um zu dokumentieren, dass jemand Fortschritte macht oder etwas dazulernt, mit Sicherheit nicht uninteressant sind. Also, ich denke, wenn man das als Werte misst, die man dokumentiert, um den Verlauf zu beschreiben könnte das sinnvoll sein, wenn es nicht eine halbe Stunde dauert das anzulegen. Also, der praktische Umgang damit muss einfach sein, sonst wird man es nicht machen.

Will: Wäre für den therapeutischen Alltag ein System sinnvoll, welches alle Komponenten in sich vereint? Also, eben Diagnosegerät, Therapiegerät und vielleicht auch ein Ding was man den Leuten mit nachhause geben kann. Oder wäre das dann für sie zu viel in ein Gerät gepackt?

IP_6 Winter: Nein, wenn man das dann entsprechend einstellen kann, warum nicht. Man braucht keine drei Geräte. Alles in einem ist leichter, als drei unterschiedliche Geräte. Aber bei passiven Bewegungsübungen ist es ja so, dass der Patient nichts lernt. Er lernt ja nur, wenn er aktiv ist. Und wenn es ein Impuls wär den das Gerät übernimmt, würde es auch die Kompensation übernehmen, also praktisch unkorrigiert. Dann würde er also praktisch die Kompensation üben und weiter forcieren und nicht die korrekte Bewegung. Also, der therapeutische Aspekt ist in dem Moment nicht da. Wenn man es natürlich als Therapeut vorher so einstellen kann, dass die korrekte Bewegung da ist, dann könnte man da ein sogenanntes repetitives Üben machen. Wobei natürlich wichtig ist, dass der Patient die Idee hat, von der Bewegung vorher und auch die Planung – was will ich jetzt machen. Und dass sich das Gerät anpasst und unterstützt. Also ich stell mir das immer vor, das ist ja was, was dem Alltag Erleichterung bringen soll. Ich stelle mir jetzt vor z.B. einen Patienten, der bei uns in der Ergoküche steht und bimanuell was machen soll. Der soll z.B. auch was aus dem Schrank nehmen können also, er hat jetzt den Auftrag, die backen da öfter mal Kuchen oder stelle irgendeine Speise her. Alltagsrelevant. Und dann hast du ja auch einen Plan, darum geht es ja immer, du machst ja nicht eine Bewegung ohne einen Plan. Also, du hast den Plan, du musst die Schüssel aus dem Schrank holen, gut. Das Gerät merkt, der Arm soll eben angehoben werden und zwar nicht so (macht Armbewegung) aufgrund der Verletzung, das wäre die Schonhaltung, sondern in einer physiologischen korrigierten Haltung. Das würde die Therapeutin machen. In diesem Fall müsste es, wenn das schon gelernt ist, dass zumindest das initiiert wird aber die Kraft nicht ausreicht um den Arm anzuheben, müsste das Gerät einsetzen und da unterstützend mitwirken, aber nicht so, dass der Patient den Arm abgeben kann, sondern, dass er eine leicht Unterstützung kriegt, die aber auch dann wieder abgebaut wird, sofern er das selber halten kann. Das heißt also, die Graduierungen müssten so fein sein, dass es fast für so ein Gerät überfordernd ist oder es fast auch eines Therapeuten bedarf der daneben steht, zumindest für die erste Anleitung. Aber wenn ein Therapeut daneben steht, kann er ihn gleich behandeln. Dann brauchen wir das Gerät nicht mehr. Wenn man es aber so einstellen kann, dass vorher die Therapie lief, dass dieser Arm physiologisch im Stand angehoben wird und dieses Glas nehmen kann. Wenn man es so anpassen kann, dass man das hinterher noch dreimal wiederholen kann, ohne Therapeut, bei einem Patienten der sich sicher in dieser Küche sonst bewegen kann, nicht einer der dann umfällt, ne. Das sind die ganzen Einschränkungen, dann kann man sagen: okay, dann üben sie damit. Frau sowieso, Frau Meier, sie habe jetzt die Aufgabe, diese Schüssel mit drei Eiern zu füllen und Milch, das kippen sie da alles rein und rühren es dann um, damit morgen oder drei Stunden später ziehen sie dieses Ding nochmal an, wir daraus die Pfannkuchen machen können. Das sind so die Differenzen, weil Bewegung so bringt nichts. Das ist wie passives bewegen im Bett. Der Patient muss eine Idee haben, der braucht eine Vorstellung von einer

Bewegung und der muss dieses Feed-forward haben, dass schon gleich der Tonus auch bereitgestellt wird von oben von der Zentrale: was braucht es an Kraft. Und dann fehlt ihm das, weil er noch nicht so eine Ausdauer hat in dem Muskel und da passt sich das Gerät an und hilft ein bisschen. Dann kann ich mir das in Teilbereichen vorstellen. Nicht dauerhaft.

Will: Wie wichtig ist die individuelle Anpassung an die Physiologie des Patienten?

IP_6 Winter: 100% wichtig!

Will: Welche Freiheitsgrade sind denn sinnvoll oder unbedingt nötig? Was muss das Gerät können, von den Freiheitsgraden in den Gelenken?

IP_6 Winter: Also endgradig finde ich, haben sie recht, man muss nicht unbedingt da oben hinkommen wenn man so weit schon ist, dass man den Arm 170 Grad anheben kann, dann macht man den Rest anders, dafür braucht man das nicht. Aber es sollte, je nachdem ob eine neurologische oder orthopädische Läsion vorliegt, bei einer TEP in der Schulter darf man nicht über 90 Grad gehen, das ist ja fast nie möglich. Aber es sollten alle Grundbewegungen, also wie die Flexion des Armes, des Ellenbogen, wie Rotation. Alles, was eben dem Patienten erlaubt ist, auch möglich sein. Wobei bei einem richtigen Hemi-arm, also wenn der nicht Eigenaktivitäten schon hat, würde ich das niemals benutzen. Weil der immer eine Subluxation hat im Schultergelenk, wenn nicht überhaupt eine richtige Luxation und dieses Gerät wenn das mit den 15Kilo noch auf dem Schultergürtel lastet und natürlich zum Teil auch am Arm, dann nützt diese ganze Innervation nichts. Es würde alles nur verschlimmern und der Humeruskopf würde wirklich in den Weichteilen bohren. Also, er muss eine Eigenaktivität haben. In meiner Vorstellung halte ich den Einsatzbereich für dieses Gerät eher für einen kleinen. Aber nicht en grand für alle Menschen, die eine Schädigung am Arm haben. Es wird bestimmt den ein oder anderen Patienten geben, zu dem das passt. Aber ich könnte jetzt nicht sagen, das ist die Errungenschaft für die breite Masse, das sind Orthesen und elektronische Geräte nie, weil dann wären wir als Mensch viel zu einfach konzipiert. Und das sind wir nicht.

Will: Welche speziellen Anforderungen müsste ein Exoskelett noch mit sich bringen um in der Medizin eingesetzt werden zu können? Dinge, die z.B. speziell beachtet werden müssten im Umgang mit Patienten.

IP_6 Winter: Nicht schwerer als 3Kilo. Also es gibt nichts was sich 100% anpasst. Aber ich würde es auf jeden Fall versuchen leichter zu gestalten. Und eine leichte Handhabe.

Will: Spielt da vielleicht auch das optische mit?

IP_6 Winter: Nö, das finde ich nicht so wichtig, die Patienten ziehen sich alles an sofern es hilft. Mit 3Kilo kriegt man nicht sowas, dann wäre das alles kleiner und unauffällig natürlich schon. Damit geht natürlich keiner ins Restaurant. Das nicht, aber wenn du zuhause übst, ist ihnen meistens egal wie sie dabei aussehen. Sie müssen es an einer Hand haben können und es muss leicht sein.

Will: Wie glauben sie, würde ein Patient ein Exoskelett annehmen?

IP_6 Winter: Wenn es ihnen hilft, auch die jüngeren, also diese wenigen auf die es wirklich gemünzt sein könnte, die würden wahrscheinlich Spaß haben, was zu üben und warum sollen sie dann nicht mit so einem Ding üben, wenn es ihnen irgendwie hilft. Eher aber Leute die wirklich nicht in der Zentrale einen Schaden haben und die kein Steuerungsproblem haben, sondern die ein Leitungsproblem haben. Wo irgendwo die Leitung unterbrochen ist. Die können nämlich ihre Impulse aussenden und dann kommt es nicht an, weil die Leitung gestört ist. Aber dann kann das Gerät helfen. Also eher peripher als zentral.

Will: Jetzt noch Fragen zur Wirtschaftlichkeit. Wie hoch dürften die Kosten eines derartigen Systems maximal sein um nicht die Wirtschaftlichkeit zu vernachlässigen?

IP_6 Winter: Also ich würde sagen, dass Patienten sich sowas nie selber kaufen müssten. Sondern, dass sowas ausgeliehen wird von Sanitätshäusern. Ich weiß, dass sowas sehr teuer ist oder sein würde. Und je kleiner umso teurer. Also wenn, dann ist es etwas was über Sanitätshäuser verliehen wird, wie Motorschienen oder sowas, die dann in dem Zeitraum wie jemand es nötig hat, das wird ja auch nicht ewig sein, ausgeliehen wird unter Umstand für eine geringe Gebühr oder an der Beteiligung an einer Gebühr die aber die Krankenkasse bezahlt. Sonst finde ich das irrelevant. Dann kann man besser Therapie machen, das ist billiger. Also, soll man ja sowieso.

Will: Glauben sie, dass sowas überhaupt finanzierbar wäre in der Medizin?

IP_6 Winter: Ach, ich denke schon, es werden ganz andere Sachen finanziert. Also ich glaube, dass sowas teilweise eine Hilfe für einen hohen Querschnitt sein kann. Das müsste man ausprobieren, das ist jetzt nur meine Vorstellung. Ich glaube niemals, dass das in irgendeiner Form Therapie ersetzt. Das wäre nur eine Hilfe in der therapiefreien Zeit um irgendwas zu üben. Aber wie es genau aussieht müsste ich erst mal sehen. Das ist jetzt auch zum Teil auch meine Phantasie.

Will: Aber wäre ja auch als Hilfsmittel denkbar.

IP_6 Winter: Also bevor jemand seine Arme überhaupt nicht bewegen kann, da kann ich mir vorstellen, das einzusetzen. Wir haben beispielweise Leute mit einem Strahlenschaden nach Mama-Ca., die können zwar ihren Alltag noch machen, aber

wenn es soweit ist, dass das nicht mehr geht, also ihren Arm überhaupt nicht mehr anheben können, weil der Nerv weiter degeneriert ist und das wirklich irreversibel ist, dann kann man über so ein System nachdenken. Trotzdem würde ich sowas immer verleihen, auch für einen Zeitraum von einem Jahr oder länger, weil ich denke nicht, dass jemand 15-20.000 Euro dafür ausgeben muss. Wird vielleicht ja noch teurer.

Will: Die Kosten werden wahrscheinlich von vielen Faktoren abhängig sein. Z.B. wie viel davon hergestellt wird usw..

IP_6 Winter: Und wie der Nutzen ist.

Will: Genau.

IP_6 Winter: Also, ich würde das dann eher sehen wie ein Elektrorollstuhl. Wenn Jemand nicht mehr gehen kann und auf einen Elektrorollstuhl angewiesen ist, dann muss der den haben. Wenn Jemand seine beiden Arme nicht mehr bewegen kann und mit diesem Ding seinen Alltag erleichtern kann, dann müsste er das auch von der Kasse bekommen.

Will: Sehen sie eigentlich momentan einen Bedarf von solchen Systemen? Würden sie sich sowas in der Therapie wünschen? Sehen sie da für sich einen Bedarf bzw. insgesamt einen Bedarf?

IP_6 Winter: Bei uns im stationären Alltag nein. Also in den 13 Jahren, in denen ich hier jetzt arbeite, hätte es vielleicht 5, 6 Patienten gegeben, wo ich gesagt hätte, das könnte man mal ausprobieren. Das kann man ja nicht Bedarf nennen.

Will: Und könnten sie sich einen allgemeine Bedarf für so etwas vorstellen, oder geht das für sie eher in den Bereich von Spielereien?

IP_6 Winter: Diese technischen Hilfsmittel sind ja immer ein Stück weit Spielerei, aber sie können auch bevor Jemand nie wieder etwas tun kann auch wirklich eine gute Hilfe sein. Ein Elektrorollstuhl ist für den Patienten keine Spielerei, sofern er ihn wirklich braucht und damit mobiler ist. Sowas hat ja auch immer mit Lebensqualität zu tun. Insofern glaube ich schon, wenn es wirklich funktioniert, dass da ein Bedarf ist. Wichtig ist für mich aber noch mal, das soll keine Therapie ersetzen.

Will: Nun komme ich schon zum letzten Frageblock: die kritische Sichtweise. Gibt es da Aspekte, die sie da kritisch betrachten? Eigentlich hatten sie das ja auch schon gesagt.

IP_6 Winter: Ja, habe ich eigentlich alles gesagt. Einmal das Gewicht und das auf jeden Fall die Planung des Patienten mit einbezogen werden muss. Also der muss

die Idee haben, der muss den Willen haben, also der Reiz muss da sein irgendetwas zu tun, der innere- oder äußere Reiz der dich veranlasst in eine Bewegung zu gehen. Das Feed-forward eben. Diese Anpassung an den Tonus eben, sonst lernt der Patient nichts. Das motorische Lernen findet nicht statt, wenn das Ding den Arm passiv bewegt. Es ist schwer, letztlich geht es ums Gehirn. Das Gehirn muss die Impulse aussenden, muss alles steuern und das in dieser Komplexität zu ersetzen, geht nicht. Und dann versucht man nur die Bewegung der Arme zu ersetzen aber davon kommt hier oben nichts an, dass heißt, es findet kein Lernen statt um es selber hinterher zu übernehmen.

***Will:** Ja, also dann sind wir jetzt am Ende des Interviews. Ich bedanke mich herzlich für die Zeit, die sie sich für mich genommen haben.*

IP_6 Winter: Kein Problem.