

# Schlussbericht

**Zuwendungsempfänger:** Universität Ulm

Prof. Dr. Eberhard P. Hofer  
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik  
Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik

Universitätsklinikum Heidelberg

Dr.-Ing. Rüdiger Rupp  
Stiftung Orthopädische Universitätsklinik  
Klinik für Paraplegiologie

**Förderkennzeichen:** Verbundvorhaben 01EZ0601, 01EZ0602

**Vorhabensbeschreibung:** MotionTherapy@Home: Ein automatisierter Bewegungstrainer für die häusliche Therapie

**Laufzeit des Vorhabens:** 01EZ6001: 01.05.2006 – 30.09.2009  
01EZ6002: 01.06.2006 – 30.09.2009

**Berichtszeitraum:** 01.05.2006 – 30.09.2009

## **Federführender Antragsteller und Projektleiter**

Prof. Dr. Eberhard P. Hofer  
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik (MRM)  
Universität Ulm  
Albert-Einstein-Allee 41  
89081 Ulm  
Tel.: (07 31) 50 26307  
Fax: (07 31) 50 26344  
E-Mail: eberhard.hofer@uni-ulm.de

## **Mitantragsteller**

Dr.-Ing. Rüdiger Rupp  
Universitätsklinikum Heidelberg  
Stiftung Orthopädische Universitätsklinik (OUH)  
Schlierbacher Landstraße 200a  
69118 Heidelberg  
Tel.: (0 62 21) 96 9230  
Fax: (0 62 21) 96 9234  
E-Mail: ruediger.rupp@med.uni-heidelberg.de

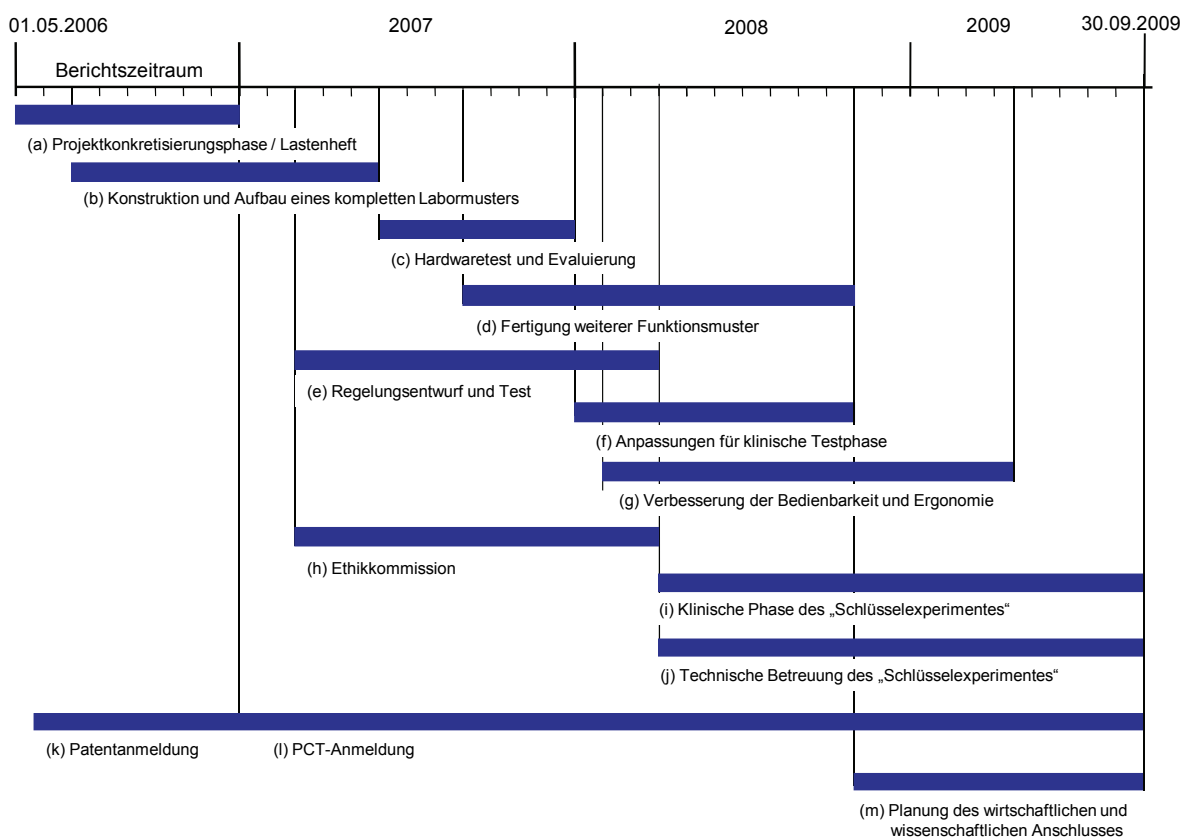
## I.1 Aufgabenstellung

Das Prinzip des Lokomotionstrainings beruht auf einer vielfachen Wiederholung der gleichen Bewegungsaufgabe, wobei eine intensive sensorische äußere Reizgebung zur Anregung spinaler und supraspinaler Nervennetzwerke die Basis für die erzielten Gehfunktionsverbesserungen bildet. In Grundlagenstudien konnte über die letzten Jahre gezeigt werden, dass eine schrittphasenbezogene, zyklische Belastung der Fußsohle, eine physiologische Bewegung der Gelenke sowie die Hüftextension vor Beginn der Schwungphase die Schlüsselreize darstellen. Im stationären Umfeld stehen mittlerweile einige technische Lösungen für eine effektive Lokomotionstherapie von neurologischen Patienten zur Verfügung. Dazu zählt vornehmlich das Laufbandtraining unter partieller Gewichtsentlastung. Nach dem klinischen Aufenthalt ist im ambulanten Umfeld aber ein funktionelles Gangtraining nur noch sehr wenigen Patienten zugänglich, wodurch die antrainierten Fähigkeiten häufig wieder verloren gehen bzw. nicht weiter ausgebaut werden können. Aus diesem Grund sollte ein neues Therapiegerät für den Heimbereich entwickelt werden, dessen Aufbau anhand der vorliegenden Erkenntnisse auf das Wesentliche reduziert wurde, ohne die für ein selbstständiges Training im Heimbereich grundlegenden Faktoren Patientensicherheit, ergonomische Handhabung sowie Modularität und Transportierbarkeit zu vernachlässigen.

## I.2 Voraussetzungen

Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung des Projekts waren durch die einschlägigen Vorarbeiten der Kooperationspartner gegeben.

## I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens



**Abbildung 1: Projektphasen und ihre zeitliche Abfolge**

Das Balkendiagramm in Abbildung 1 stellt die wesentlichen Arbeitspakete des Gesamtprojekts dar. Änderungen der Ablaufplanung gegenüber dem Antrag ergaben sich insbesondere bei der Fertigung der Kleinserie von fünf Labormustern (d) sowie bei der Durchführung der klinischen Pilotstudie (i, j). Die mit diesen Projektphasen korrelierenden Zeiträume (f) und (g) mussten ebenfalls verlängert werden.

Die Projektphasen und die darin erzielten Ergebnisse werden in Abschnitt II.1 detailliert erläutert.

#### **I.4 Wissenschaftlicher und technischer Ausgangspunkt**

Im Bereich der Lokomotionstherapie wurde das Lokomotionstraining unter Einsatz eines Laufbandes bei inkomplett Querschnittgelähmten [1, 2, 3] und Schlaganfallpatienten [4] am umfangreichsten untersucht, wobei positive Effekte auf das Gehvermögen und anderer Lähmungsfolgen nachgewiesen wurden. Da initial zumeist erhebliche Probleme bestehen, Schreitbewegungen willkürlich zu initiieren, werden diese entweder durch einen Gangroboter, ein aktives Stehbrett oder manuell unterstützt. Aus Gründen der Therapeutenbelastung, des nicht reproduzierbaren Gangmusters und der Zeitbeschränkung ist die automatisierte Lokomotionstherapie zu bevorzugen.

Stand der Technik in der häuslichen Bewegungstherapie waren Geräte, die Bewegungen der Beine ähnlich dem Radfahren ermöglichen (RECK MOTOMed GmbH, Betzenweiler; medica Medizintechnik GmbH, Hochdorf). Dabei beruhen diese Geräte auf einem rotatorischen Antrieb, der computergesteuert verschiedene Bewegungsprofile, z. B. zur Lockerung der Muskulatur oder zur Verringerung spastischer Reaktionen, ausführen kann. Apparaturen zur Durchführung eines funktionellen Gangtrainings, mit denen die für die Anregung der neuralen Reorganisationsprozesse wesentliche Reizgebung erreicht werden kann, sind nicht bekannt.

Der Stand der Technik beinhaltete zum Antragszeitpunkt kein System, welches die essentiellen Reizgebungen zur Aktivierung der Lokomotionszentren, wie die standphasenbezogene Fußsohlenbelastung bei physiologischer Bewegung der unteren Gliedmaßen, in einer stabilen Patientenlage bei selbstständiger Bedienbarkeit gewährleistet. Da alle Verfahren zur Lokomotionsschulung auf den Prinzipien des motorischen Lernens beruhen, ist davon auszugehen, dass sich ein entscheidender Therapiefortschritt mit der vielfachen Wiederholung der Bewegungsaufgabe einstellt. Dieses Prinzip ist nur durch ein Bewegungstherapiegerät für die Heimanwendung zu realisieren, welches ebenfalls in dieser Form nicht existiert.

- [1] **Dietz V., Colombo G., Jensen L., Baumgartner (1995):** Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients, *Ann Neurol* 37, 574-82
- [2] **Wernig A., Müller S., Nanassy A., Cagol E. (1995):** Laufband therapy based on 'rules of spinal locomotion' is effective in spinal cord injured persons, *Eur J Neurosci* 7, 4, 823-829
- [3] **Edgerton V.R., De Leon R.D., Harkema S.J., Hodgson J.A., London N., Reinkensmeyer D.J., Roy R.R., Talmadge R.J., Tillakarante N.J., Timoszyk W., Tobin A.: Topical review (2001):** Retraining the injured spinal cord, *J Physiol* 533 (1), 15-22
- [4] **Hesse S., Werner C. (2003):** Partial body weight supported treadmill training for gait recovery following stroke, *Adv Neurol.* 3;92:423-8

#### **I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Außer der Kooperation zwischen dem Hauptantragsteller Universität Ulm und dem Mit Antragsteller Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg war keine weitere Zusammenarbeit mit anderen Stellen nötig.

## II.1. Erzieltes Ergebnis

Die erzielten Ergebnisse sollen anhand der einzelnen Projektphasen aus Abbildung 1 aufgezeigt werden:

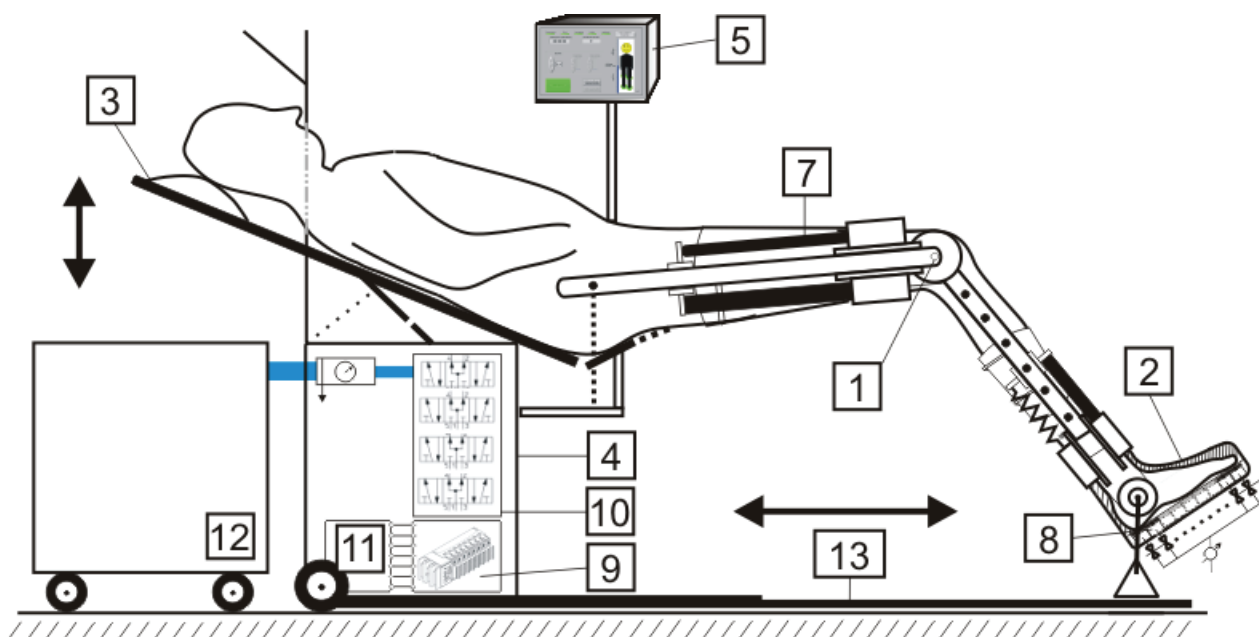
(a) [MRM, OUH] Während der Projektkonkretisierungsphase wurde das nachfolgende Konzept eines kompakten und eigenständigen Trainingsgerätes entwickelt. Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau des Trainingsgerätes.

Das Gerät besteht aus zwei aktiven Orthesen (1) zur Bewegung des Knie- und Sprunggelenks, zwei *Stimulativen Schuhen* (2), einer verstellbaren Rückenlehne (3), einer Komponenteneinheit (4) und einer Mensch-Maschine Schnittstelle (5).

Die aktive Orthese wird von antagonistisch angeordneten, künstlichen pneumatischen Muskeln (6) angetrieben. Der Luftmassenstrom in die Muskeln wird über Proportionalventile (7) eingestellt. Gepolsterte Orthesenschalen mit Neopren Manschetten sowie eine festzurrbare Schuhzunge gewährleisten durch eine schonende Ankopplung des Patienten an die Orthesenkinematik.

Die *Stimulativen Schuhe* dienen dazu, einen afferenten Reiz auf die Fußsohlen des Patienten aufzubringen, um die Lokomotionszentren zu aktivieren. Um möglichst viele, unterschiedliche Kraftverläufe und Impulse aufbringen zu können, werden mehrere separat ansteuerbare Kurzhubzylinderpaare (8) in der Fußsohle der *Stimulativen Schuhe* angebracht und über Schnellschaltventile angesteuert.

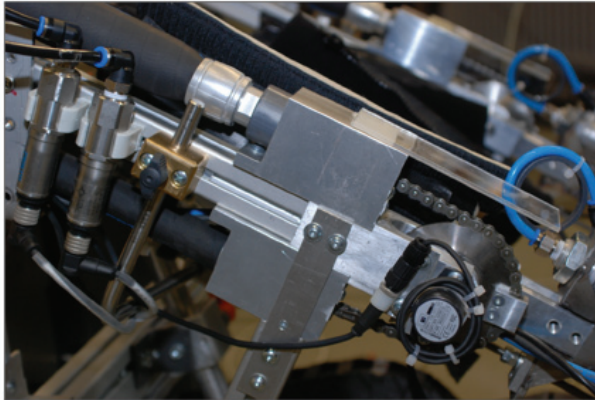
Da das Gangtraining in einer sicheren, halb liegenden Position durchgeführt wird, soll eine verstellbare Rückenlehne eine Variation des Bewegungsbereichs des Hüftwinkels sowie einen vereinfachten Ein- und Ausstieg ermöglichen. Die Komponenteneinheit beinhaltet einen Echtzeitcontroller (9), wo die modellbasierten, stabilen und sicherheitsüberwachten Regelungen für Kniegelenke, Sprunggelenke und Stimulative Schuhe abgearbeitet werden sowie Ventile (10) und Bauteile zur Druckluftaufbereitung. Eine zusätzliche, hardwarebasierte Überwachung (11) kontrolliert die Funktion des Echtzeitcontrollers und schaltet das Gerät im Fehlerfall ab.



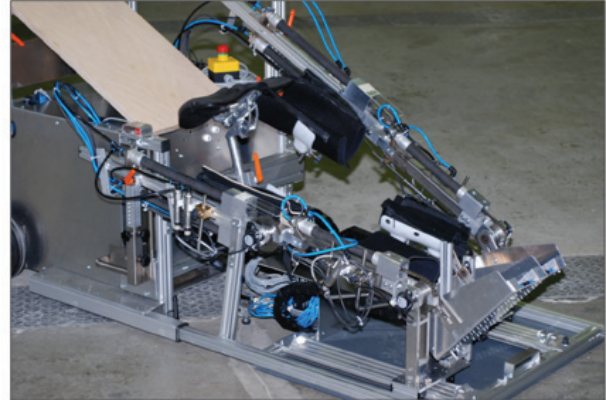
**Abbildung 2:** Schematischer Aufbau des Trainingsgerätes

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (5) visualisiert dem Patienten seine Trainingsaktivität, speichert Mess- und Trainingsdaten und ermöglicht die Ablauf- sowie Betriebssteuerung des Geräts. Ein sehr leiser Druckluftversorger (12) stellt das Betriebsmedium Druckluft mobil zur Verfügung.

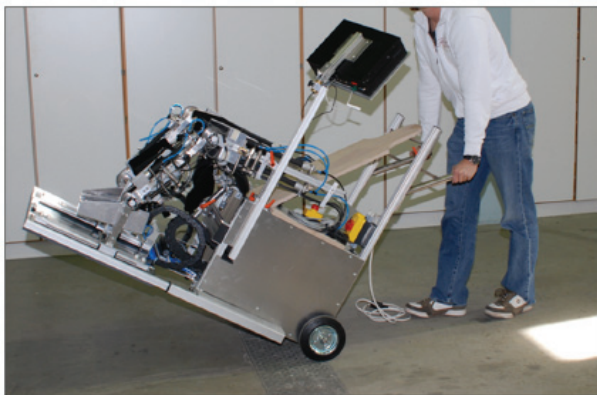
(b) [MRM] Ein komplettes Labormuster bestehend aus zwei Exoskeletonen mit je einem *Stimulativen Schuh* wurde aufgebaut. Abbildung 3 bis Abbildung 6 zeigen das Antriebskonzept am Kniegelenk mit den künstlichen Muskeln, die absenkbare rechte Orthese für einen erleichterten Einstieg, das sackkarrenähnliche Transportkonzept sowie die Stimulativen Schuhe.



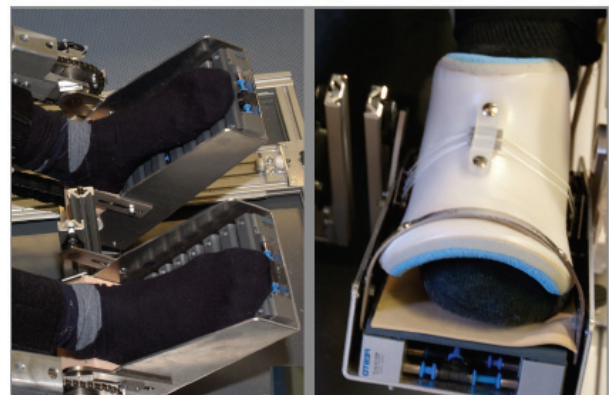
**Abbildung 3:** Knieantrieb durch künstliche Muskeln



**Abbildung 4:** Absenkbare rechte Orthese für erleichterten Einstieg



**Abbildung 5:** Transportkonzept



**Abbildung 6:** Stimulative Schuhe

(c) [MRM] Unter Hardwaretest wird die Inbetriebnahme der Regelungsstrategien auf der verwendeten Rechnerplattform und die Anbindung von Sensoren und Aktoren verstanden. Als Controller-Plattform wurde die sehr kompakte Produktfamilie cRio von National Instruments gewählt. Das Paket aus Controller und Backplane ist individuell mit I/O-Karten bestückbar und bietet daher die notwendige Flexibilität für diese Anwendung. Zudem ist ein unkomplizierter Zugriff auf Messdaten und Einstellungen der Regelungsstruktur über Ethernet möglich.

(d) [MRM] Die Fertigung der fünf Labormuster für den Studieneinsatz zögerte sich auf Grund der vielen speziell anzufertigenden Bauteile und der begrenzten Kapazität der Institutswerkstatt einige Wochen länger hin, als im Antrag eingeplant. Dennoch konnten 5 vollständige Labormuster innerhalb weniger Monate fertiggestellt werden.