

**5. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
15.-16. Oktober 2004 in  
Saarbrücken**



**„ARMin - Roboter für die kooperative Armtherapie“**

T. Nef, G. Colombo  
Forschung Paraplegikerzentrum, Universitätsklinik Balgrist, Zürich, Schweiz  
E-Mail: riener@control.ee.ethz.ch

R. Riener  
Institut für Automatik - Rehabilitation Engineering, Eidgenössische Technische Hochschule,  
Zürich, Schweiz

Band: „Tagungsband, Automed 2004“  
Editors: W. I. Steudel  
ISBN: 3-00-013509-X  
Pages: 77-78

# ARMin - Roboter für die kooperative Armtherapie

T. NEF<sup>1</sup>, G. COLOMBO<sup>1</sup>, R. RIENER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschung Paraplegikerzentrum, Universitätsklinik Balgrist  
Forchstraße 340, CH-8008 Zürich

<sup>2</sup>Institut für Automatik - Rehabilitation Engineering, Eidgenössische Technische Hochschule  
Physikstraße 3, CH-8092 Zürich

E-Mail: [riener@control.ee.ethz.ch](mailto:riener@control.ee.ethz.ch)

## MOTIVATION

### A. Gründe für die Armtherapie

Aufgabenorientierte, repetitive Bewegungen können die Muskelkraft und die Bewegungskoordination von Patienten mit neurologischen oder orthopädischen Beeinträchtigungen verbessern. Armtherapie wird in der Rehabilitation von Patienten mit gelähmten oberen Extremitäten nach Hirnschlag oder Läsionen im Rückenmark eingesetzt. Mehrere Studien beweisen den positiven Effekt der Armtherapie auf den Rehabilitationsfortschritt [Platz2003].

Man hat festgestellt, dass längere Trainingseinheiten pro Woche und längere Trainingsperioden einen positiven Effekt auf den Therapiefortschritt haben [Kwakkel1997]. Dies motiviert zur Anwendung von roboterunterstützter Armtherapie.

### B. Gründe für die roboterunterstützte Armtherapie

Manuelles Bewegungstraining hat mehrere relevante Einschränkungen. Das Training ist arbeitsintensiv, und deshalb ist die Trainingsdauer beschränkt durch die verfügbare Zeit der Therapeuten. Folglich sind die Trainingseinheiten häufig zu kurz, um einen optimalen Therapieerfolg zu erreichen. Weiterer wesentlicher Nachteil des manuellen Bewegungstrainings ist, dass keine objektive Messung der Patientenleistung möglich ist und dass die Wiederholgenauigkeit der Bewegungen nicht gegeben ist.

Mit automatisiertem, d. h. roboterunterstütztem Training kann die Länge und die Anzahl der Trainingseinheiten erhöht werden. Dank Rehabilitationsrobotern wird ein Therapeut in Zukunft möglicherweise mehrere Patienten gleichzeitig trainieren können. Des Weiteren erlauben Therapieroboter wegen der integrierten Messsensorik eine Quantifizierung von Patientenaktivität und Therapieerfolg während des Trainings.

## METHODEN

### A. Wichtigste Spezifikationen von ARMin

Damit der Roboter zum Training von ADL's verwendet werden kann, muss er die Schulter (genähert durch drei rotatorische Freiheitsgrade) und den Ellbogen (genähert durch einen rotatorischen Freiheitsgrad) bewegen können. Pro/Supination des Unterarms bedingt einen weiten Freiheitsgrad. Der Bewegungsraum des Roboters muss möglichst mit dem des menschlichen Arms übereinstimmen.

Um modellbasierte, patientenkooperative Regelungsstrategien, basierend auf Impedanz- und Admittanzrege-

lungsarchitekturen, realisieren zu können, muss der Roboter eine möglichst kleine Trägheit, wenig Reibung und ein geringes Spiel aufweisen. Um eine gute Performanz bei der Impedanzregelung zu erreichen, müssen zudem die Motoren und Getriebe rücktreibbar sein. Der Roboter soll die Patientenhand näherungsweise mit der Geschwindigkeit 1 m/s und der Beschleunigung 10 m/s<sup>2</sup> bewegen können. Die Sicherheit des Patienten und des Therapeuten muss immer gewährleistet sein.

### B. Kinematisches Konzept von ARMin

Um den menschlichen Arm bewegen zu können, sind zwei Methoden denkbar: Ein Roboter mit serieller oder paralleler Kinematik wird am Boden fixiert und der Endeffektor des Roboters mit dem Unterarm des Patienten verbunden. Alternativ kann der Roboter als Exoskeletton so konstruiert werden, dass er dieselbe kinematische Struktur wie der menschliche Arm hat und an mehreren Stellen mit diesem verbunden wird (Abb. 1).

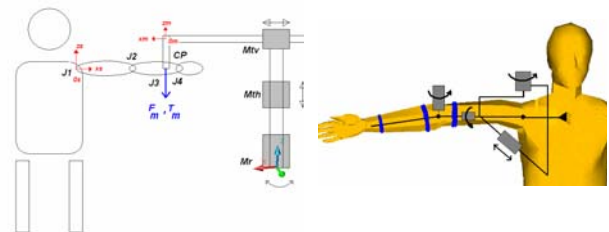


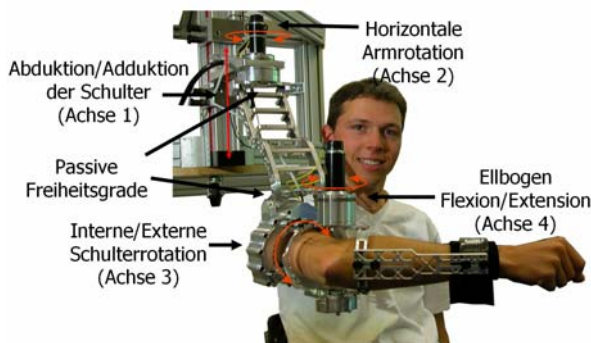
Abb.1: Links: Endeffektorbasierter Roboter, Rechts: Exoskelett

Nachteil des endeffektorbasierten Roboters ist, dass sich der Winkel des Ellbogens ändert, wenn sich die Position der Schulter verändert. Deshalb wurde für den Bau von ARMin eine Kombination gewählt. Der Ellbogen wird von einem Exoskelett bewegt, während die Schulter von einer externen Aufhängung bewegt wird. Bei diesem Semiexoskelett ist der Winkel des Ellbogens genau bestimmt.

Der Roboter ist an der Wand fixiert, und der Patient sitzt auf einem davor platzierten Stuhl (Abb. 3). Der distale Teil des Roboters ist als Exoskelett aufgebaut. Der Arm des Patienten ist an drei Stellen mit speziellen körperverträglichen Manschetten mit dem Roboter verbunden (Abb. 2). Die aktuelle Version hat vier aktuierte Freiheitsgrade und ermöglicht die Flexion und Extension des Ellbogengelenks sowie räumliche Schulterbewegungen in drei Freiheitsgraden.

Das vertikal aufgehängte Linearmodul (Achse 1) erlaubt die Abduktion und Adduktion der Schulter. Die Rotation der Schulter in der horizontalen Ebene wird mit einem Rotationsantrieb (Achse 2) realisiert. Dieser Antrieb ist mit dem Schiff des Linearantriebs verbunden. Das speziell für

diesen Roboter entwickelte Rotationsmodul (Achse 3) erlaubt interne und externe Schulterrotation und ist mittels einer Manschette mit dem Oberarm des Patienten verbunden. Ellbogenflexion und -extension werden mittels eines weiteren Rotationsantriebs (Achse 4) ermöglicht.



**Abb. 2:** Vier aktivierte und zwei passive Freiheitsgrade von ARMin

Der Roboter ist dank den zwei nicht aktivierte Freiheitsgraden bei der Verbindung von der Orthese mit dem Lineararmodul nur in Kombination mit dem Patientenarm statisch bestimmt. Dadurch können Vorspannungen zwischen dem Roboter und dem Patientenarm ausgeschlossen werden.

### C. Sensorik und Aktorik

Vier direkt mit den Motorachsen verbundene Positionssensoren und zwei auf dem Roboter verteilte mehrachsige Kraftsensoren messen Position und Kraft des Roboters. Unmittelbar unter dem Antrieb von Achse 2 ist ein sechssachsiger Kraft/Drehmomentsensor (JR3) und direkt am Getriebeflansch der Achse 4 ist ein Drehmomentaufnehmer montiert.

### D. Passive und Aktive Sicherheit

Sicherheit war beim Bau des Roboters ein Hauptaspekt. Passive Sicherheitsmaßnahmen, wie zum Beispiel das Verhindern von scharfen Ecken und Kanten sowie mechanische Endanschläge, wurden kombiniert mit aktiven Sicherheitsmaßnahmen, wie z. B. Notausschalter. Zusätzlich enthält die Software Überwachungsfunktionen, welche bei einem zu großen Stromfluss oder einem zu großen Regelfehler die Stromversorgung unterbrechen. Eine detaillierte Risikoanalyse ist in Planung.

## ERSTE ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Das erste Labormuster von ARMin (Abb. 2) ist fertig aufgebaut und betriebsbereit. Die implementierte Regelung ist noch als reine Positionsregelung aufgebaut und reagiert nicht auf die Patientenintention. Trotzdem können mit diesem Aufbau erste Tests durchgeführt werden.

Die ersten Resultate der Tests an gesunden Probanden sind sehr positiv ausgefallen. Die Mechanik, Regelung und Elektronik funktionieren zuverlässig und robust. In der jetzt schon realisierten Anwendung kann der Therapeut eine beliebige Bewegung des Patienten aufnehmen. Die Bewegung wird vom Roboter gespeichert und kann dann

beliebig lange wiedergegeben werden. Diese Anwendung ist geeignet für das Durchbewegen des Patientenarms.



**Abb. 3:** ARMin mit einem gesunden Probanden

## SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Mit dem gebauten Labormuster konnte gezeigt werden, dass das ARMin-Konzept grundsätzlich funktioniert. Kritische Teile, wie das Rotationsmodul, funktionieren einwandfrei. Erste Reaktionen des Klinikpersonals waren durchwegs positiv.

Als nächstes wird die Positionsregelung mit kooperativen Regelstrategien ergänzt werden. Mehrere Patientenübungen sind in Planung. Ebenfalls wird zurzeit ein Stuhl, welcher die Schulter gut stützt und positioniert, konstruiert.

### Danksagung

Wir danken den Ergotherapeuten und Ergotherapeutinnen sowie den Ärzten, insb. Prof. V. Dietz der Uniklinik Balgrist, für ihre wertvolle Mithilfe und Beratung bei diesem Projekt. Den Projektmitarbeitern, Dany Wegmann, Thomas Rey, Jürg Schneebeili und Emanouil Kelaidis, sei für ihre technischen Beiträge gedankt.

## LITERATUR

[Platz2003]

T. Platz, "Evidenzbasierte Armrehabilitation: Eine systematische Literaturübersicht", *Nervenarzt* 74, p 841-849, 2003

[Kwakkel1997]

G. Kwakkel, R. C. Wagenaar, T. W. Koelman, G. J. Lankhorst, J. C. Koetsier, "Effects of intensity of rehabilitation after stroke. A research synthesis", *Stroke* 28, p 1550-1556, 1997