

# Hybride Bewegungsunterstützung des Arms und der Hand durch FES und Robotik-basierte adaptive Gewichtsentlastung

Arne Passon<sup>1</sup>, Frank Dähne<sup>2</sup>, Andreas Niedeggen<sup>3</sup>, Ingo Schmehl<sup>2</sup> und Thomas Schauer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Regelungssysteme, TU Berlin, Berlin, Deutschland

<sup>2</sup>Klinik für Neurologie mit Stroke Unit und Frührehabilitation, Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland

<sup>3</sup>Behandlungszentrum für Rückenmarkverletzte, Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland

Kontakt: passon@control.tu-berlin.de

## Einleitung

Viele Schlaganfallpatienten und Rückenmarkverletzte leiden unter einer eingeschränkten Kontrolle von Arm und Hand. Die Wiederherstellung und Unterstützung der verlorengegangenen Funktionen ist von großer Bedeutung für die Aktivitäten des täglichen Lebens. Wir kombinieren zur Therapie von Patienten mit schwachen Restfunktionen ein Seilaktuatorik-Robotiksystem mit Funktioneller Elektrostimulation (FES). Die Robotik passt für die Gewichtsentlastung die Seilzugkräfte am Unterarm adaptiv in Abhängigkeit von der aktuellen Armposition an. Mit der FES werden horizontale Bewegungen des Arms sowie Hand- und Fingerbewegungen unterstützt. Das entwickelte System reagiert dabei auf willkürliche Bewegungen des Patienten, sodass die FES nur dann unterstützt, wenn die gewünschte Aktion nicht oder nur teilweise eigenständig ausgeführt werden kann. Die Bewegungen des Patienten werden dazu mittels Inertialsensorik, Sensorik der Robotik und einem Kraftsensor für die Hand erfasst. Die erfassten Sensorwerte werden zusätzlich zur Erkennung der Intention des Patienten und zum visuellen Feedback genutzt. Die beiden Bilder in Abb. 1 zeigen zwei verschiedene genutzte Kombinationen für die hybride Bewegungsunterstützung.



Abb. 1: Hybride Bewegungsunterstützung des Arms und der Hand

## Methoden und Materialien

### Experimenteller Aufbau

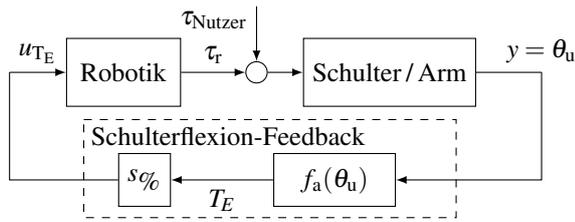
Das Seilaktuatorik-Robotiksystem DIEGO der Firma Tyromotion GmbH aus Österreich wird zur Evaluierung der eingesetzten Methoden benutzt. Zwei Seile der Robotik sind am Vorderarm befestigt, wobei eines neben dem Ellenbogen und das andere am Handgelenk angebracht ist. Kräfte an diesen Seilen werden zur Gewichtsentlastung des Arms eingesetzt. Sensoren der Robotik messen die aktuell wirkenden Seilzugkräfte, Seillängen und Auslenkungen der Seile. Aus

den Längen und Auslenkungen der Seile wird die Position des Vorderarms berechnet und die komplette Armposition geschätzt. Durch die zusätzliche Anbringung von Inertialsensoren am Vorderarm, Oberarm und am Oberkörper wird eine genauere Positionsermittlung des kompletten Arms erreicht. Die Handkräfte werden mit dem Sensorgriff PABLO der Firma Tyromotion GmbH erfasst, wobei Fingerflexion und -extension erkannt werden. Über einen im Pablo integrierten Inertialsensor und dem Inertialsensor am Unterarm können ferner Winkel des Handgelenks bestimmt werden. Die FES-Elektroden für die Unterstützung von horizontalen Bewegungen des Arms sowie Handbewegungen werden am Bizeps und Trizeps sowie am Unterarm über den Flexoren und Extensoren der Hand und der Finger angebracht. Für die zustandsbasierte FES wird ein Stimulator der Firma Hasomed GmbH aus Deutschland eingesetzt. Alle eingesetzten Mess- und Aktuatoriksysteme sind mit einem Computer verbunden. Der Computer führt die entwickelten Algorithmen aus und gibt dem Patienten visuelles Feedback.

### Angewandte Methoden

*Adaptive Gewichtsentlastung:* Aktuelle Entwicklungen von Arm-Rehabilitationsrobotiken nutzen großteils zwei Strategien zur Unterstützung der Armhebung. Sie kompensieren entweder Abweichungen von vorgegebenen Bewegungsabläufen, wodurch willkürliche Bewegungen ausgeschlossen werden, oder sie unterstützen mit manuell gewählten konstanten Kräften, was zu über- oder unterkompensierter Gewichtsentlastung führen kann [1, 2]. Wir haben ein einfaches statisches Modell entwickelt, um die wirkenden Drehmomente in der vertikalen Ebene an der Schulter zu schätzen, welche durch den Nutzer und die Robotik erzeugt werden. Mittels des invertierten Modells  $f_a(\theta_u)$  berechnen wir die notwendige Seilzugkraft  $T_E$ , die notwendig ist, um die aktuell erfasste Schulterflexion  $\theta_u$  zu erzeugen. Der Therapeut wählt einen Skalierungsfaktor  $s_{\%}$  ( $<1$ ) um eine wirkende Seilzugkraft  $u_{T_E}$  zu erreichen. Das resultierende Unterstützungsmoment  $\tau_r$  wird durch die Robotik generiert, sodass der Patient in der Lage ist, durch sein willkürlich erzeugtes Drehmoment  $\tau_{\text{Nutzer}}$  seinen Arm relativ frei in der gewählten vertikalen Ebene zu bewegen. Der komplette Algorithmus sowie erste Ergebnisse mit Patienten werden auf der ICNR 2016 in Segovia, Spanien vorgestellt [3].

*Zustandsbasierte FES:* Zur hybriden Bewegungsunterstützung wird die Robotik um FES für horizontale Bewegungen des Arms sowie Hand- und Fingerbewegungen ergänzt. Die eingesetzte Robotik bietet einen großen Bewegungsfreiraum

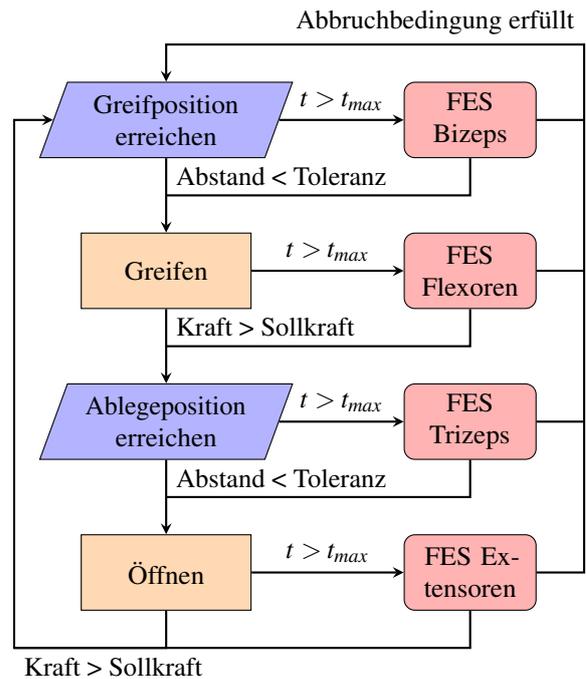


**Abb. 2:** Das Zusammenspiel der Robotik, welche mit dem Drehmoment  $\tau_r$  unterstützt und dem Nutzer, welcher das Drehmoment  $\tau_{Nutzer}$  erzeugt, kann als SISO System mit der wirkenden Kraftamplitude  $u_{T_E}$  als Eingang und der sich ergebenden Schulterflexion  $\theta_u$  als Ausgang beschrieben werden. Das entwickelte Schulterflexion-Feedback ist dabei durch das inverse statische Modell  $f_a(\theta_u)$  und dem Skalierungsfaktor  $s_{c\%}$  gegeben.  $f_a(\theta_u)$  bestimmt dabei die notwendige Seilzugkraft  $T_E$  für vollständige Gewichtsentlastung.

bei diesen Bewegungen, kann diese aber selbst nicht aktiv unterstützen. Die FES bietet dabei den Vorteil, dass sie gezielt für Muskeln eingesetzt werden kann, welche der Patient nicht mehr oder nur noch eingeschränkt selber ansteuern kann. Das entwickelte zustandsbasierte Therapiekonzept gibt dem Patienten zuerst die Möglichkeit, die gewünschte Aktion selber auszuführen und assistiert erst nach einer abgelaufenen Zeit durch ergänzende FES. Der gewählte Ansatz eignet sich insbesondere für vorgegebene Aufgaben in Spielumgebungen, wie sie bei Rehabilitationsrobotiken häufig eingesetzt werden. Eine mögliche Aufgabe kann, wie in Abb. 3 gezeigt, das Greifen eines Gegenstandes an einer vorgegebenen Position, das darauffolgende Transportieren zu einer zweiten Position und das dortige Ablegen des Gegenstandes sein. *Visuelles Feedback:* Zur Motivationssteigerung werden die Bewegungen des Patienten in einer virtuelle Realität dargestellt. Der Patient sieht seinen Arm, seine Hand und die ausgeführte Bewegung, sowie den Gegenstand den er Greifen und Transportieren soll. Gleichzeitig wird immer rückgemeldet, wie lange für die aktuelle Aufgabe noch Zeit ist. Der Gegenstand wird bei sich schließender Hand und übereinstimmender Position gegriffen oder fällt aus der sich öffnenden Hand sobald die dazu definierten Kraftgrenzen über- bzw. unterschritten werden. Die erzeugte Handkraft wird gleichzeitig visualisiert, wobei zwischen willkürlicher und durch FES induzierte Kraft unterschieden wird. Der Patient bekommt damit ein direktes Feedback über seine Leistungen und wird zu Eigeninitiative angeregt.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die adaptive Gewichtsentlastung durch die Robotik wurde bereits an zwei Rückenmarksverletzten (Verletzungshöhen C4-komplett und C1-inkomplett) getestet. Es zeigten sich leichte Verbesserungen im Bewegungsumfang im Vergleich zu einer konstanten Gewichtsentlastung. Wir erwarten, dass stärker beeinträchtigte Patienten noch mehr profitieren werden. Zur weiteren Evaluierung sind Versuche mit Schlaganfallpatienten und weiteren Rückenmarksverletzten in Vor-



**Abb. 3:** Zustandsautomat für das Greifen, Transportieren und Ablegen eines Gegenstandes

bereitung. Außerdem wollen wir das Modell in Zukunft auf dreidimensionale und höher dynamische Bewegungen erweitern.

Die zustandsbasierte hybride Therapie wurde bisher nur mit gesunden Probanden getestet und soll nun ebenfalls mit Schlaganfallpatienten und Rückenmarksverletzten validiert werden.

## Literatur

- [1] MARCHAL-CRESPO, Laura ; REINKENSMEYER, David J.: Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury. In: *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 6 (2009), Nr. 1, S. 20+
- [2] ROSATI, Giulio ; GALLINA, Paolo ; MASIERO, Stefano: Design, implementation and clinical tests of a wire-based robot for neurorehabilitation. In: *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 15 (2007), Nr. 4, S. 560–9
- [3] KNUTH, S. ; PASSON, A. ; DÄHNE, F. ; NIEDEGGEN, A. ; SCHMEHL, I. ; SCHAUER, T.: Adaptive Arm Weight Support using a Cable-Driven Robotic System. In: *Submitted to ICNR 2016*. Segovia, Spain, 2016

## Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Verbundprojektes BeMobil durchgeführt, welches durch das BMBF unter dem Förderkennzeichen FKZ16SV7069K gefördert wird. Die Autoren bedanken sich bei der Firma Axelgaard Manufacturing Co., Ltd., USA für die Unterstützung der Forschung durch die Spende von Stimulationselektroden.