

**6. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
24.-25. März 2006 in Rostock-
Warnemünde**



**„Regelung eines Liegedreirads für gelähmte Personen mit
hybridem Antrieb“**

Stephan Schmidt, Thomas Schauer, Jörg Raisch
Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg, Deutschland
E-Mail: schauer@ieee.org

Jörg Raisch
TU Berlin, Berlin, Deutschland

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006
Editors: T. Ellerbrock
ISBN: 3-86009-296-0
Pages: 7-8

Regelung eines Liegedreirads für gelähmte Personen mit hybridem Antrieb

Stephan Schmidt¹, Thomas Schauer¹, Jörg Raisch^{1,2}

¹Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, 39106 Magdeburg

²Technische Universität Berlin, 10587 Berlin

schauer@ieee.org

EINLEITUNG

Durch Verletzungen des Rückenmarks, z.B. nach Sport- oder Verkehrsunfällen, erleiden jährlich 4500 Menschen eine Schädigung des oberen Motoneurons. Die Verbindung des zentralen Nervensystems mit den Extremitäten ist damit ganz oder teilweise unterbrochen. Eine Wiederherstellung des verletzten Nervengewebes ist mit dem bestehenden medizinischen Wissen zurzeit nicht möglich. Die funktionelle Elektrostimulation (FES) stellt derzeit die einzige Möglichkeit dar, verloren gegangene Körperfunktionen teilweise wiederherzustellen. Mittels elektrischen Stroms werden die motorischen Endplatten der Muskeln gereizt und der Muskel so zur Kontraktion gebracht. Durch gezielte Stimulation verschiedener Muskelgruppen lassen sich komplexe Bewegungsabläufe wie das Fahrradfahren auf einem Liegedreirad realisieren. Das Muskeltraining führt zu einer Stärkung des Herz-Kreislauf-Systems und damit zu einer Reihe physiologischer Verbesserungen. Zurzeit stehen verschiedene Ergometersysteme für das Training im häuslichen Bereich sowie Liegedreiräder für das mobile Fahrradfahren zur Verfügung. Durch die geringe Antriebsleistung (<30 W) kommt es jedoch zu einer Reihe von Problemen (z.B. Beschleunigen des Systems, Fahren bei Gegenwind und an Anstiegen). Des Weiteren schränkt die schnelle Ermüdung elektrisch stimulierter Muskeln den Aktionsradius des FES-Fahrradfahrens stark ein. Um die Defizite des rein muskulären Antriebs zu kompensieren, stellt diese Arbeit einen Ansatz zur Regelung eines FES-Liegedreirads mit Hilfsmotor vor. Das Regelungskonzept wurde zunächst simulativ getestet. Dafür wurde ein komplexes Modell des hybriden Antriebssystems erstellt.

SIMULATIONSMODELL

Das erstellte Modell beschreibt einen komplett querschnittgelähmten Fahrer, das Liegedreirad und den Hilfsmotor. Die Modellierung des querschnittgelähmten Fahrers erfolgte in Anlehnung an den Ansatz von Riener und Fuhr [Riener1998]. Für das Fahrradfahren wurden 5 Muskelgruppen pro Körperseite berücksichtigt, welche über drei Stimulationskanäle pro Bein in Abhängigkeit vom Tretkurbelwinkel und der Trittschwindigkeit mittels Hautelektroden aktiviert werden können [Schmidt2006].

Die Beine des Fahrers werden mittels Orthesen an den Pedalen des Fahrrades gehalten, wobei das Sprunggelenk fixiert ist. Folglich besitzt das System nur einen mechanischen Freiheitsgrad (Kurbelwinkel). Für das Fahrradmodell wurden die wichtigsten am Fahrrad auftretenden Widerstände, wie z.B. Luft-, Roll- und Reibwiderstand, sowie der Einfluss des Streckenprofils berücksichtigt. Die Modelle für Fahrer und Fahrrad wurden mit Hilfe der Open Dynamics Engine¹ in Matlab/Simulink implementiert. Bei der Open Dynamics Engine handelt es sich um eine frei verfügbare C-Bibliothek zur Simulation der Bewegung starrer Körper ohne explizites Aufstellen der Bewegungsgleichungen.

REGELUNGSSTRUKTUR

Das Regelungssystem lässt sich als Zustandsautomat darstellen, dessen Transitionen logische Funktionen der Systemgrößen oder der Zeit darstellen (siehe Abb. 1). Der Fahrer gibt über einen „Gasgriff“ in allen Zuständen eine Sollgeschwindigkeit für das Fahrrad vor. Des Weiteren spezifiziert er die muskuläre durch FES generierte Antriebsleistung, mit der er maximal zum Antrieb des Systems beitragen möchte.

Start- und Endzustand ist der Zustand 1 „Fahren mit Motor und ohne Stimulation“. Durch eine Motorregelung wird die vorgegebene Sollgeschwindigkeit realisiert. Sollte eine Mindestgeschwindigkeit überschritten werden und ist das Motorstellsignal größer null, so wird in den Zustand 2 „Fahren mit Motor und mit Stimulation“ umgeschaltet. Zusätzlich zur Motorregelung wird nun ein adaptiver Leistungs-/Momentenregler aktiviert. Aus der zuvor festgelegten maximalen muskulären Antriebsleistung und der aktuellen Trittschwindigkeit wird ein mittleres Sollantriebsmoment errechnet und über die Elektrostimulation eingestellt. Belastungsänderungen werden in diesem Fall durch den Motor ausgeglichen. Sollte die dem Fahrer abverlangte Leistung ausreichen, um ein eigenständiges Fahren zu ermöglichen, wird die Motorregelung im Zustand 3 „Fahren ohne Motor und mit Stimulation“ deaktiviert und auf einen neuen Geschwindigkeitsregler umgeschaltet. Dieser liefert als Stellsignal das mittlere Sollantriebsmoment für den noch aktiven Leistungs-/Momentenregler. Kann die geforderte Antriebsleistung durch stark ermüdete Muskeln dauerhaft nicht erreicht werden, so wird auf den Zustand 4 „Erholungs-

¹ <http://www.ode.org>

phase“ umgeschaltet. Bis zum Ablauf einer definierten Erholungszeit erfolgt der Antrieb nur durch den Motor. Das durch Elektrostimulation erzeugte mittlere Antriebsmoment ist abhängig von der Elektrodenposition und dem aktuellen Fitnesszustand der Muskeln. Zudem gibt es zwischen einzelnen Fahrern starke Schwankungen. Aus diesem Grund erfolgt eine Online-Parameterschätzung der Übertragungsfunktion zwischen Stimulationsintensität und mittlerem Antriebsmoment sowie eine Anpassung des Leistungs-/Momenreglers an die sich verändernde Regelstrecke (Self-Tuning-Regler).

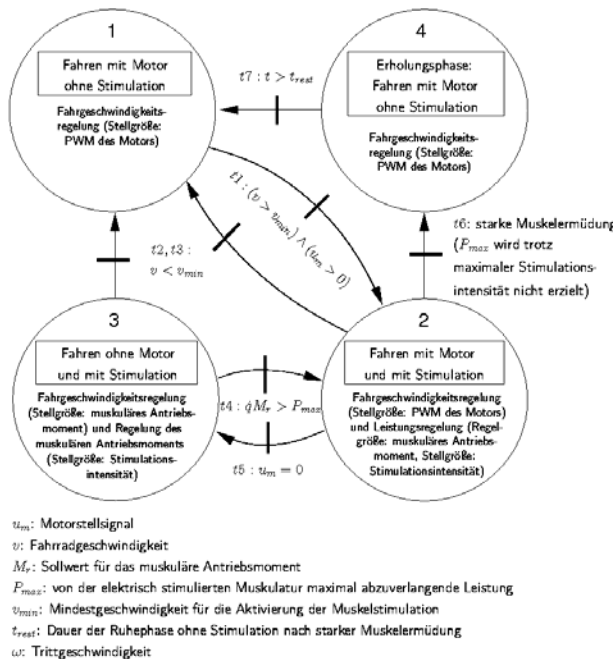


Abb. 1: Zustandsautomat zur Regelung des FES-Liegedreirades mit Hilfsmotor (hybrider Antrieb).

ERGEBNISSE

Das Regelungskonzept wurde in Simulationen mit dem entwickelten Modell des hybriden Antriebs getestet. In Abb. 2 ist das Ergebnis einer solchen Simulation zu sehen. Der obere Teil der Abbildung zeigt Soll- und Istgeschwindigkeit des Fahrrades zusammen mit dem Motorstellsignal. Darunter ist die muskuläre Antriebsleistung (Soll- und Istwert) zusammen mit der Stimulationsintensität dargestellt. Im Zeitraum von 50 s bis 125 s muss der Fahrer einen Berg überwinden. Das Höhenprofil und der zurückgelegte Weg sind im unteren Teil der Abb. 2 wiedergegeben. Beim Herunterfahren des Berges 100 s bis 125 s beschleunigt das System über die Sollgeschwindigkeit hinaus. Dies ist normal, da weder Motor noch Stimulation das System bremsen können. In der Praxis muss der Fahrer aktiv bremsen und gleichzeitig die Sollgeschwindigkeit null setzen (Loslassen des Gasgriffs und Betätigung der Bremse).

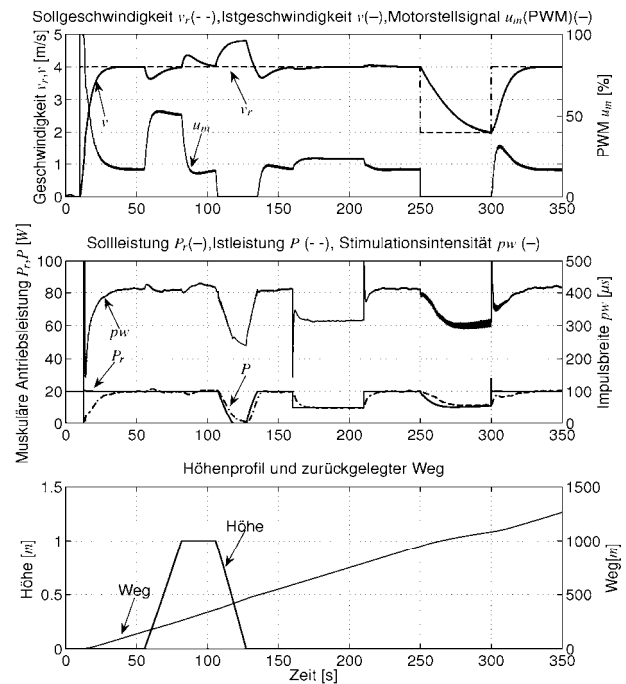


Abb. 2: Simulationsergebnisse für den gewählten Regelungsansatz beim FES-Fahrradfahren mit Motorunterstützung.

In der Simulation regelt der Geschwindigkeitsregler beim Runterrollen das muskuläre Sollantriebsmoment auf null. Der unterlagerte Momentenregelkreis realisiert diese Vorgabe, wobei die Stimulationsintensität nicht null wird. Die Stimulation wird nur reduziert bis zu dem Punkt, an welchem das Treten in den Freilauf übergeht und somit kein Antriebsmoment auf die Räder übertragen wird.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Für das mobile FES-Fahrradfahren mit Hilfsmotorunterstützung wurde ein neuartiger Regelungsansatz vorgestellt, welche in Simulationen erfolgreich getestet wurde. Derzeit sind Experimentelle Untersuchungen mit querschnittgelähmten Probanden in Vorbereitung. Ein Liegedreirad wurde dafür bereits instrumentiert.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde im Rahmen des InnoRegio Netzwerkes InnoMed von Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt.

LITERATURHINWEISE

- [Riener1998]
R. Riener und T. Fuhr Patient-Driven Control of FES-Supported Standing Up: A Simulation Study. *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, Vol. 6, No. 2, pp. 113-124, 1998.
- [Schmidt2006]
S. Schmidt Regelung eines Liegedreirades für gelähmte Personen mit hybridem Antrieb. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, März 2006.