

**3. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
17.-18. September 2001 in
Bochum**



**„Gehen und Stufenüberwinden mit der geregelten,
kooperativen Neuroprothese WALK!“**

T. Fuhr, R.Riener, G. Schmidt
Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TUMünchen, München, Deutschland
E-Mail: thomas.fuhr@ei.tum.de

J. Quintern
Neurologische Klinik, Bad Aibling, Deutschland

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und
Verfahren für die Medizin
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer
ISBN: 3-00-008240-9
Pages: 46-47

Gehen und Stufenüberwinden mit der geregelten, kooperativen Neuroprothese WALK!

T. Fuhr¹, J. Quintern², R. Riener¹ und G. Schmidt¹

¹Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, Technische Universität München, München

²Neurologische Klinik, Bad Aibling,

thomas.fuhr@ei.tum.de

EINLEITUNG

Nach vollständigen, zentralmotorischen Läsionen, z. B. Querschnittlähmung, können weder Bewegungskommandos des zentralen Nervensystems (ZNS) zur Zielmuskulatur, noch sensorische Information aus der Peripherie zum ZNS weitergeleitet werden. Motorische Neuroprothesen können verlorene Bewegungen mit Hilfe künstlicher, elektrischer Reize teilweise wiederherstellen. Derzeit klinisch angewandte Neuroprothesen sind gesteuerte Systeme, deren Mobilitätsgewinn bislang nur gering ist. Störungen durch Muskelermüdung, Spastik oder externe Einflüsse können nicht kompensiert werden. Für Einzelgelenkbewegungen und auch einzelne Bewegungsabläufe, wie dem Aufstehen, Stehen und Hinsetzen konnte in Simulation und Experiment gezeigt werden [1, 2], daß *geregelte Systeme* die Leistungsfähigkeit verbessern. Systeme, die alle zur Fortbewegung relevanten Bewegungsabläufe vereinen, fanden bislang nur wenig Beachtung.

Ziel der neuentwickelten kooperativen Neuroprothese WALK! ist es, den Benutzern eine weitestgehende Kontrolle der zu realisierenden Bewegungsabläufe zu gewähren und gleichzeitig automatisierbare Teilaufgaben abzunehmen. Darüberhinaus soll die Muskelermüdung auf ein Minimum reduziert werden, um die erreichbare Gehstrecke zu erhöhen.

MATERIALIEN UND METHODEN

Zur Implementierung und experimentellen Validierung einer geregelten Gang-Neuroprothese wurde das Experimentalsystem WALK! entwickelt. Es besteht aus einem 8-Kanal-Neurostimulator (Hardtech-Omicron,

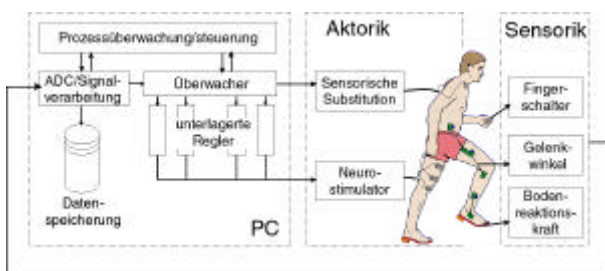


Abbildung 1: Systemstruktur des kooperativen, neuroprothetischen Experimentalsystems WALK!

Frankreich) für Oberflächenstimulation, einem Multi-sensorsystem zur patientengebundenen Bewegungsmessung, einem System zur sensorischen Substitution und einem Steuerrechner zur Prozessüberwachung und -regelung (Abb. 1, [3,4,5]).

Drei Muskelgruppen pro Bein werden zur Extension des Knies und der Hüfte sowie zur Flexion des Knies aktiviert. Da die tief unter der Haut liegende Hüftbeuger-Muskulatur mit Hautelektroden nicht erreicht werden kann, wird mit dem vierten Kanal der Flexorreflex zur simultanen Beugung von Hüfte, Knie und Fußgelenk eingesetzt. Gehhilfen (Stöcke, Rollator) sind zur Gleichgewichtsregulation notwendig.

Die Koordination der zu erzeugenden Bewegungsabläufe Aufstehen, Stehen, Hinsetzen, Schritt, [3], sowie Stufenauf- und -absteigen wird durch eine hierarchische Regelungsstruktur realisiert, die die geregelten Bewegungsabläufe beider Beine durch je ein einmar-

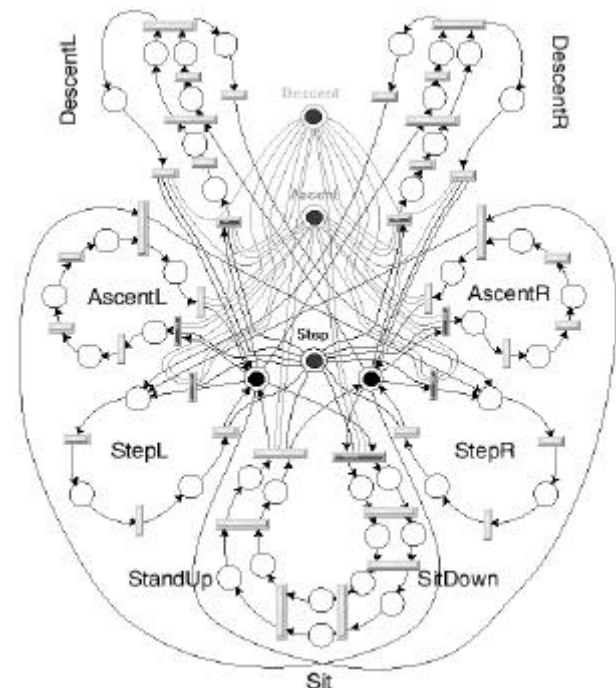


Abbildung 2: Überwacherversteuerung WALK! für die Bewegungsabläufe Aufstehen, Stehen, Hinsetzen, sowie für beide Beine jeweils Schritt, Stufe Aufsteigen und Stufe Absteigen, realisiert in Form zweier einmarkiger, synchronisierter, steuerungstechnisch interpretierter Petri-Netze (SIPN).

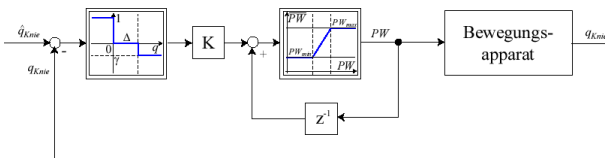


Abbildung 3: Knieextensionsregler (KEC) zur Minimierung der Muskelermüdung.

kiges Petri-Netz synchronisiert. Semaphore stellen sicher, daß immer ein Bein als Standbein agiert. Die Modulation der Reizintensitäten wird von unterlagerten Reglern oder *a priori* festgelegten Reizmustern vorgenommen.

Die Steuerungssynthese erfolgt auf der Basis biomechanischer Bewegungsdaten. Ausgehend von EMG-Messungen neurologisch unauffälliger Personen werden die Bewegungsabläufe in Sequenzen funktioneller Bewegungsphasen eingeteilt. Im Gegensatz zu gesteuerten Systemen werden Transitionen durch sensorüberwachte Ereignisse, wie z.B. Bodenkontakt, ausgelöst. Bewegungsabläufe werden vom Benutzer durch Fingerschalter initiiert. Um die Komplexität gering zu halten, werden vom Regelungssystem lediglich Kniegelenkwinkel (Goniometer) und Bodenreaktionskräfte (Kraftmeßeinlegesohlen) verwendet.

Zur Minimierung der Kniestreckeraktivität während des Gehens wird ein Knieextensionsregler (KEC, [3]) eingesetzt. Dieser schaltende I-Regler mit Totzone erhöht bzw. senkt die Reizintensität bei nicht ausreichender bzw. übermäßiger Kniestreckung und kann auch bei weitgehend unbekannter neuromuskulärer Strecke schnell an den jeweiligen Benutzer angepaßt werden (Abb. 3).

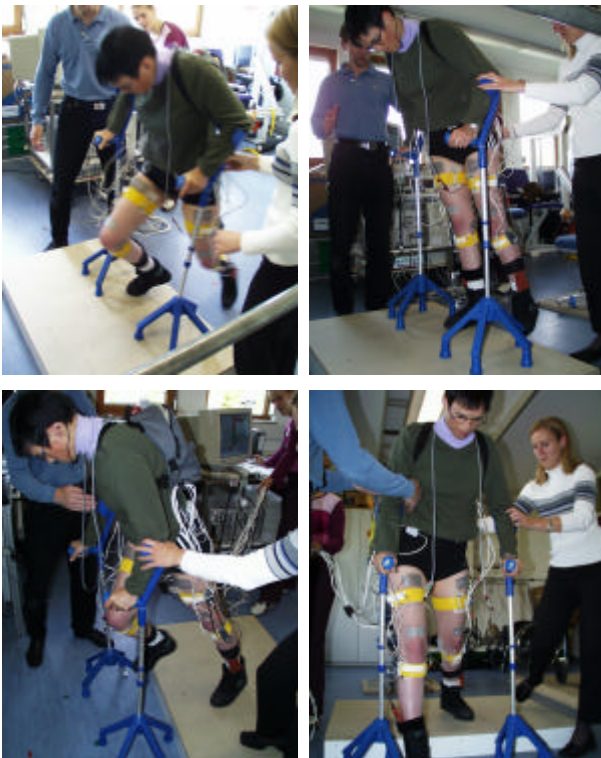


Abbildung 4: Stufenauf- und Absteigen einer Patientin mit komplettem Querschnitt bei Th 9.

ERGEBNISSE

WALK! wird regelmäßig (bislang >25 Sitzungen) zum Gehtraining dreier komplett querschnittgelähmter Patienten (Th5, Th7, Th9) eingesetzt. Die Patienten begrüßen einhellig die gegenüber gesteuerten Systemen verbesserte Möglichkeit, Bewegungsabläufe gezielt beeinflussen zu können und das daraus hervorgehende, gesteigerte Sicherheitsgefühl. Es konnte gezeigt werden, daß sich bei unveränderter Schrittdauer die Dauer der einzelnen Schrittphasen gegenüber der gesteuerten Neuroprothese signifikant und bewegungsabhängig veränderten [3]. Dank der Knieextensionsregelung (KEC) kann die Muskelaktivierung der Kniestrecker auf etwa die Hälfte gesenkt und damit die Muskelermüdung halbiert werden.

Stufenauf- und -absteigen ist mit diesem System erstmals möglich und wird derzeit weltweit einzigartig von zwei Patienten erfolgreich durchgeführt (Abb. 4). Nach weiterem Training soll auch das Überwinden mehrerer Stufen in Angriff genommen werden.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit WALK! ist es gelungen, eine kooperative Neuroprothese zu entwickeln, die als assistives System den querschnittgelähmten Benutzer unterstützt, ohne Bewegungsabläufe aufzuzwingen. Dank des flexiblen Aufbaus von WALK! wird die Implementierung weiterer unterlagener Regler für die einzelnen Bewegungsphasen untersucht werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] P.E. Crago, R.F. Kirsch, R.J. Triolo „Movement Synthesis and Regulation in Neuroprosthesis (Ch. 42)“ in J.M. Winters, P.E.Crago, eds.: *Biomechanics and Neural Control of Posture and Movement*, Springer, New York, 1999.
- [2] A.J. Mulder, P.H. Veltink, H.B. Boom, G. Zilvold „Low-level finite state control of knee joint in paraplegic standing“, *J. Biomed. Eng.* 14:1, pp. 3-8, 1992.
- [3] T. Fuhr, J. Quintern, R. Riener, G. Schmidt „Closed-loop Control of a Gait Neuroprosthesis“ in *Proc. ECC 2001*, Porto, Portugal, 2001.
- [4] T. Fuhr, A. Godais, and G. Schmidt „A Vibrotactile Sensory Substitution System for Use with Gait Neuroprostheses“ in *Proc. 6th Ann. Conf. IFESS 2001*, Cleveland, USA, 2001.
- [5] T. Fuhr and G. Schmidt „Design of a patient mounted multi-sensor system for lower extremity neuroprostheses“ in *Proc. 21st IEEE EMBS Conf.*, Atlanta, 1999.

Wir danken unseren Patienten sowie Frau Grigorean und Herrn Fiegel für die Unterstützung und Geduld bei der Durchführung der Experimente, der Deutschen Forschungsgemeinschaft für finanzielle Förderung im Rahmen des SFB 462 'Sensomotorik', Teilprojekt A1. 'Geregelte Gang-Neuroprothesen'.