

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



**„Regelung und Diagnose der Elektrotherapie mittels  
Elektromyographie am stimulierten Muskel“**

R.C. Salbert, T. Schauer, J. Raisch  
Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg, Deutschland  
E-Mail: salbert@mpi-magdeburg.mpg.de

S. Hesse, A. Bardeleben  
Abt. Neurologische Rehabilitation, Charité, Berlin, Deutschland

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006  
Editors: T. Ellerbrock  
ISBN: 3-86009-296-0  
Pages: 5-6

## Regelung und Diagnose der Elektrotherapie mittels Elektromyographie am stimulierten Muskel

R.C. Salbert<sup>1</sup>, T. Schauer<sup>1</sup>, S. Hesse<sup>2</sup>, A. Bardeleben<sup>2</sup>, J. Raisch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, 39106 Magdeburg

<sup>2</sup> Klinik Berlin, Abt. Neurologische Rehabilitation, Charité - Universitätsmedizin, Berlin

salbert@mpi-magdeburg.mpg.de

### EINLEITUNG

Die funktionelle Elektrostimulation (FES) stellt bei der Rehabilitation verloren gegangener Motorikfunktionen in Folge zentraler Lähmung eine weithin anerkannte Therapie dar. Mit ca. 250.000 Neuerkrankungen (D) bildet der Schlaganfall hierbei die größte Patientengruppe. Die elektrische Stimulation der paretischen Muskulatur wird hierbei meist zur Spastikreduktion und/oder motorischen Rehabilitation von alltäglichen Bewegungen eingesetzt. Bei der klassischen Elektrotherapie werden die Start- und Stoppzeitpunkte sowie die Stimulationsintensität durch den Therapeuten bestimmt. Bedingt durch die zumeist nicht vorhandenen notwendigen technischen Möglichkeiten werden die Fähigkeiten und Intentionen des Patienten dabei nicht berücksichtigt. Diese Missachtung der Patientenintentionen und -möglichkeiten bewirkt ein passives Verhalten des Patienten während der Therapie.

Mittels Biofeedback der vorhandenen Restmuskelaktivität, erfasst über das Elektromyogramm (EMG), kann dem Patienten die Kontrolle über die Therapie gegeben werden. Durch Überschreiten bestimmter Schwellwerte wird bei der so genannten EMG-getriggerten Elektrotherapie der Patient aktiv an dem Einleiten der Stimulationsphase beteiligt.

Die vollständige Berücksichtigung der Patientenintention wird erst durch eine EMG-proportionale Stimulation möglich. Dabei wird die Stimulationsintensität permanent in Abhängigkeit vom abgeleiteten und verarbeiteten Willkür-EMG des Patienten angepasst. Denkbar ist hierbei auch die Berücksichtigung von mehreren Ableit- und Stimulationsarten in Kombination. In Abbildung 1 ist schematisch das Prinzip der EMG-proportionalen Stimulation gezeigt. Die Intensität der an der Trizepsmuskulatur anliegenden Stimulation wird hierbei in Abhängigkeit von der EMG-Auswertung von Agonist (Trizeps) und Antagonist (Bizeps) gesteuert. Der Patient erhält somit die Möglichkeit, Beginn, Ende und Intensität der Stimulation durch seine aktive Beteiligung an der Bewegung zu beeinflussen. Die Stimulationsintensität kann einfach proportional zum Willkür-EMG des Patienten variiert werden. Eine schwache Bewegungsintention wird durch die Stimulation verstärkt. Im Vergleich zur EMG-getriggerten Elektrotherapie muss der Patient

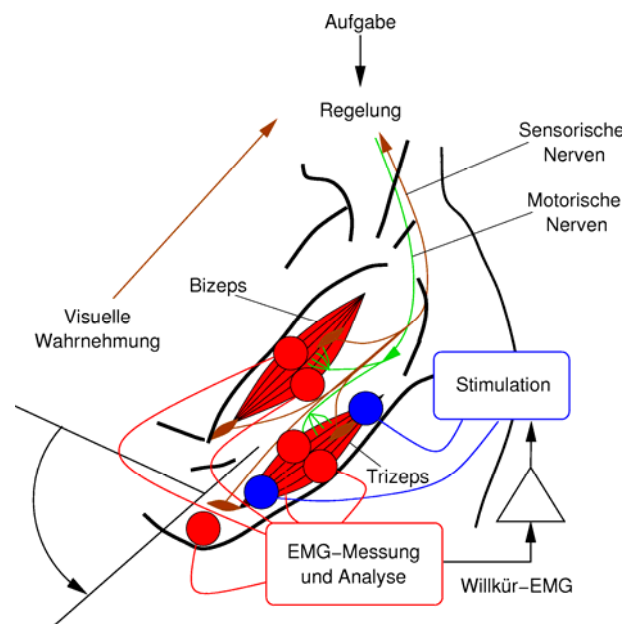


Abbildung 1: EMG-proportionale Stimulation.

hierbei die ganze Zeit aktiv die Muskulatur anspannen, um eine Unterstützung bei der Bewegung zu erreichen und agiert dadurch als Regler. Eine Erfassung des EMGs während der Stimulation erfordert, aufgrund der starken Stimulationsartefakte, den Einsatz spezieller Verstärkertechnik (Abschaltung des Vorverstärkers während des Stimulationsimpulses) und Signalverarbeitung (Separation von Willkür-EMG und Stimulationsantwort „m-wave“) [Schauer2004]. Durch diese zur Stimulation zeitgleich stattfindende EMG-Ableitung ist es möglich, eine Überwachung und Diagnostik der Stimulation online zu realisieren. Auftretende nicht erwünschte Reaktionen, wie z.B. eine einsetzende Spastik, können sofort detektiert und die Stimulation ggf. angepasst bzw. beendet werden.

### MATERIALIEN UND METHODEN

Der in diesem Beitrag vorgestellte Versuchsaufbau zur mehrkanaligen Elektrostimulation ermöglicht eine Diagnostik der Restwillküraktivität und Spastik mittels EMG-Ableitung auch während der Stimulation. Zentrales Element ist ein, in Zusammenarbeit mit der Firma

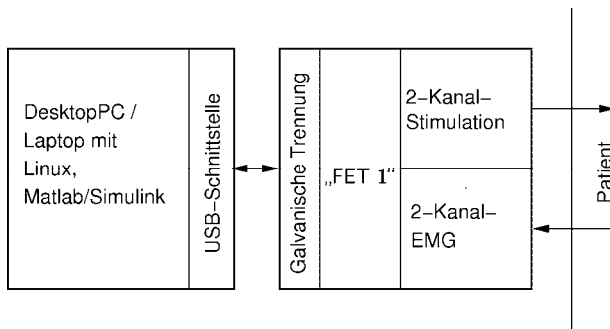


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau.

Haynl-Elektronik entwickelter, 2-Kanal-EMG-Stimulator. Der Vorverstärker des Stimulators wird für die Zeitdauer der Stimulationsimpulse automatisch abgeschaltet. Das EMG-Signal nach dem Vorverstärker wird analog hochpassgefiltert, um die Stimulationsantwort aus dem EMG zu entfernen. Das resultierende „Willkür-EMG“ wird mit 2kHz abgetastet und soll später von einem digitalen Signalprozessor (DSP) im Stimulator ausgewertet werden. Derzeit erfolgt für Forschungszwecke eine direkte Übermittlung der abgetasteten EMG-Signale über eine galvanisch getrennte USB-Schnittstelle an einen PC. Hier erfolgt die Gleichrichtung und Integration des EMGs, wobei Muteperioden und Phasen mit Einschwingvorgängen der analogen Filter ausgeblendet werden. Die Stimulationsfrequenz beträgt 20Hz. Die Impulsbreiten (bis 500µs) und Stromamplituden (bis 126mA) der biphasischen Stimulationsimpulse lassen sich online alle 50ms entsprechend der Stimulationsfrequenz anpassen. Die aktuellen Stimulationsparameter werden ebenfalls über serielle Kommunikation (USB) an den Stimulator übermittelt. Die Berechnung der Stimulationsparameter in Abhängigkeit vom EMG erfolgt derzeit in Matlab/Simulink. Funktionstüchtige Algorithmen sollen im Anschluss auf den DSP des Stimulators portiert werden.

Mittels dieses Aufbaus ist es möglich verschiedene Regelungs- und Diagnosestrategien flexibel zu implementieren und auszutesten.

## ERGEBNISSE

Erste klinische Überprüfungen der EMG-proportionalen Elektrotherapie zeigen positive Ergebnisse. Am Beispiel der Handhebung eines Schlaganfallpatienten ist in Abbildung 3 exemplarisch das Willkür-EMG und der Handgelenkwinkel während einer rein willkürlichen Aktivierung (obere Teilabbildung) sowie einer durch EMG-proportionale Stimulation unterstützten Handstreckung (untere Teilabbildung) dargestellt. Über einen Datenhandschuh wurde der Gelenkwinkel der Hand während der Versuche bestimmt.

Im Verlauf von Willkür-EMG und Gelenkwinkel ist zu erkennen, dass der Patient mit nahezu gleichem Aufwand (ähnliche Amplitude des Willkür-EMGs) eine deutlich bessere Handstreckung bei EMG-proportionaler Stimulation erzeugen kann. Die Änderung des Handgelenkwinkels verbessert sich von ca. 30° bei rein willkürlicher Handstreckung auf ca. 90° bei zusätzlicher

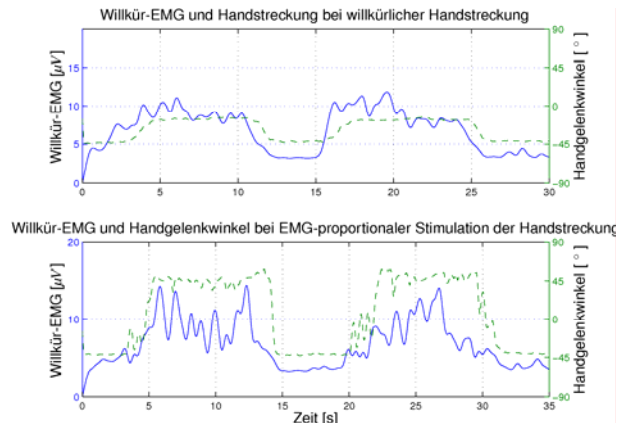


Abbildung 3: Vergleich einer rein willkürlichen Handstreckung mit einer EMG-proportionalen Stimulation.

Unterstützung durch die EMG-proportionale Stimulation.

## DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Machbarkeit einer EMG-proportionalen Elektrotherapie konnte durch erste klinische Untersuchungen gezeigt werden. Hierbei kann eine deutlich bessere funktionelle Bewegung bei gleichzeitiger aktiver Beteiligung des Patienten an der Therapie im Vergleich zur rein willkürlichen Bewegung oder EMG-getriggerten Elektrotherapie erreicht werden. Eine schnellere motorische Bahnung und somit schnellere Genesung ist zu erwarten. Unerwünschte Effekte der Elektrostimulation, wie z.B. spastische Reaktionen, lassen sich durch Online-Auswertung des EMGs von Agonisten und Antagonisten frühzeitig erkennen, so dass die Therapie angepasst oder ggf. abgebrochen werden kann. Bisherige Probanden waren nahezu spastikfrei. Eine sichere Erkennung von spastischen Reaktionen ist Gegenstand aktueller Forschung.

Da sowohl bei der Stimulation als auch bei der willkürlichen Aktivierung auf den gleichen Vorrat an Motoneuronen zugegriffen wird, kann es zu einer Konkurrenzsituation um deren Aktivierung kommen. Die konkreten Auswirkungen einer solchen Konkurrenz auf die Qualität der Bewegungsgenerierung werden derzeit untersucht.

## DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde im Rahmen des InnoRegio Netzwerkes InnoMed vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und von der Haynl-Medizintechnik GmbH, Schönebeck, unterstützt.

## LITERATURHINWEISE

[Schauer2004]

T. Schauer, R.C. Salbert, N.-O. Negaard, J. Raisch, „Detection and Filtering of EMG for Assessing Voluntary Muscle Activity during FES“ in *Proc. of the 9th IFESS 2004 Conference*, pages 185-187 Bournemouth, UK, Sep. 2004.