

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



**„Bewegende Gedanken - Funktionelle Elektrostimulation
und Brain-Computer Interface“**

R.Rupp, H. J.Gerner
Stiftung Orthopädische Universitätsklinik II, Heidelberg, Deutschland
E-Mail: Ruediger.Rupp@ok.uni-heidelberg.de

G. R. Müller-Putz, R. Scherer, G. Pfurtscheller
Laboratory of Brain-Computer Interfaces, TU Graz, Graz, Österreich

G. Pfurtscheller
Ludwig Boltzmann Institut für Medizinische Informatik und Neuroinformatik, TU Graz, Graz,
Österreich

Band: „Tagungsband, Automed 2004“
Editors: W. I. Steudel
ISBN: 3-00-013509-X
Pages: 39-40

Bewegende Gedanken - Funktionelle Elektrostimulation und Brain-Computer Interface

R. RUPP¹, G. R. MÜLLER-PUTZ², R. SCHERER², G. PFURTSCHELLER^{2,3}, H. J. GERNER¹

¹Stiftung Orthopädische Universitätsklinik II,
Schlierbacher Landstraße 200a, 69118 Heidelberg

²Laboratory of Brain-Computer Interfaces, Technische Universität Graz
Inffeldgasse 16a, A-8010 Graz

³Ludwig Boltzmann Institut für Medizinische Informatik und Neuroinformatik, Technische Universität Graz,
Inffeldgasse 16a, A-8010 Graz

E-Mail: Ruediger.Rupp@ok.uni-heidelberg.de

EINLEITUNG

Ein bisher unerfüllter Wunschtraum in der Rehabilitation von Querschnittgelähmten besteht darin, die infolge Trauma oder Erkrankung zerstörten Nervenbahnen des Rückenmarks ersetzen zu können. Obwohl in den letzten Jahren einige medikamentöse Verfahren zur Neuroregeneration in Tierversuchen Erfolg versprechend getestet wurden, ist unklar, ob und in welchem Umfang beim Menschen die Verbindung zwischen Gehirn und den Erfolgsorganen wiederhergestellt werden kann [Schwab 2004]. Im klinischen Umfeld besteht zurzeit die einzige Möglichkeit zur Funktionswiederherstellung in der Anwendung der Funktionellen Elektrostimulation (FES) in Form von Neuroprothesen. In den letzten Jahren konnten sich vor allem Systeme zur Verbesserung der Greiffunktion bei tetraplegischen Patienten mit einer Schädigung des Halsmarks etablieren. Besonders mit implantierbaren Systemen, wie dem Freehand-System, kann ein hoher Alltagsnutzen für die Betroffenen erreicht werden [Rupp2004].

Alle Neuroprothesen zur Greiffunktionsverbesserung setzen voraus, dass noch genügend Bewegungsfunktionen (z. B. der Schulter) zur Steuerung des Systems erhalten sind. Stehen diese Restfunktionen - wie im Falle einer sehr hohen Rückenmarkschädigung - nicht mehr ausreichend zur Verfügung, dann bestehen beim aktuellen Stand der Technik nur wenige, aus Patientensicht akzeptable Möglichkeiten der Steuerung.

Seit kurzem werden bei schwerstgelähmten Patienten (Locked-in-State) so genannte Brain-Computer Interfaces (BCI) als Kommunikationshilfe eingesetzt [Neuper2003]. Man nutzt hierbei das Phänomen, dass bestimmte Areale im Motorkortex nicht nur bei der Ausführung, sondern bereits bei der Vorstellung einer Bewegung aktiviert werden. Diese Bewegungsvorstellungen können aus dem Elektroenzephalogramm (EEG) bestimmt und zur Steuerung, z. B. einer Schreibhilfe, verwendet werden. Inwieweit dieses Prinzip auch für eine direkte "Gedanken"-Steuerung der FES der Hand geeignet ist, sollte mit der vorliegenden Kooperationsarbeit geklärt werden.

MATERIAL UND METHODEN

Bei einem tetraplegischen Patienten (29 Jahre, traumati-

sche Querschnittlähmung 04/1998, inkomplett unterhalb C4, komplett unterhalb C5) mit fehlender willkürlicher Aktivierung der Hand- und Finger Muskulatur sollte über eine Elektrostimulation mittels Oberflächenelektroden eine alltagstaugliche Griffwiederherstellung erreicht werden. Hierfür kam ein kommerzieller, mikrocontrollerbasierter Elektrostimulator (Microstim 8, Krauth & Timmermann) zum Einsatz, wie er typischerweise zur Stimulation innervierter Muskulatur verwendet wird. Als Vorbereitung wurde die gelähmte Muskulatur vorsichtig (Vermeidung von Ermüdung) über einen Zeitraum von 10 Monaten (45 Minuten/Tag, 5 x wöchentlich) auftrainiert bis eine kräftige und ermüdungsfreie Kontraktion erreicht war. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Kräftigung der Schultermuskulatur gelegt, um den Bewegungsbereich der Hand im Raum zu verbessern.

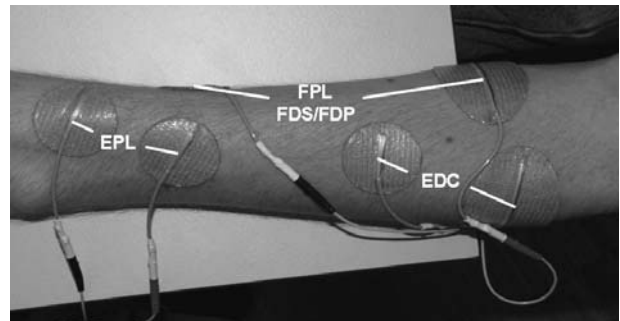


Abb. 1: Elektrodenkonfiguration des Lateralgriffs

Die Elektrodenkonfiguration wurde nach Abb. 1 festgelegt, um einen Schlüsselgriff (Lateralgriff) zu erzeugen, mit dem flache Gegenstände (Gabel, Stift etc.) zwischen flektierten Langfingern und flektierendem Daumen festgehalten werden können. Um dieses Griffmuster zu erreichen, wurden Langfinger- und Daumenextensoren (Ext. digit. comm., Ext. poll. long.) für die Handöffnung, Fingerflexoren (Flex. dig. prof., Flex. dig. superf.) für die Handschließung und Daumenflexoren (Flex. poll. long.) für das eigentliche Greifen in einer 3-kanaligen Anordnung stimuliert (Stimulationsfrequenz 16 Hz). Für die Erzeugung von "Handöffnung" (Phase 1 in Abb. 2) - "Fingerschließung" (2) - "Daumenbeugung" (3) - "Handöffnung" (1) - "Ohne Stimulation" (4) war die Implementierung spezieller Stimulationsphasen in

den Elektrostimulator notwendig. Die sequentielle Weicherschaltung der Phasen erfolgt über einen Schalter, der in Form einer Kontaktmatte vom Patienten selbstständig bedient werden kann.

Für die Realisierung des BCIs wurde das EEG bipolar von 2 Goldelektroden 2,5 cm vor und hinter den Positionen C3 (rechte Handregion) und Cz (Fußregion) abgeleitet. Die Signale wurden im Frequenzbereich 0,5 bis 30 Hz verstärkt (Raich-EEG Verstärker, Empfindlichkeit $50\mu\text{V}$) und mit einer Abtastrate von 128 Hz digitalisiert. Danach erfolgte eine Bandpassfilterung (15 - 19 Hz), Gleichrichtung, Mittelung über 128 Abtastschritte und zuletzt eine Logarithmierung. Bei Überschreitung einer Mindestschwelle der Bandleistung wurde ein Triggerpuls, gefolgt von einer Refraktärzeit von 3 s, generiert. Die Festlegung der Triggerschwelle erfolgte empirisch aus dem Verhältnis der Bandleistungen von Ruhe- und Bewegungsvorstellungsintervallen.

ERGEBNISSE

Der Patient hat über Monate während eines speziellen Trainingsprogramms gelernt, selbstständig Bursts im Beta-Band des EEG zu generieren. Ein Beispiel der EEG-Signale nahe dem Fußrepräsentationsareal (um Cz) ist in Abb. 2 zu erkennen.

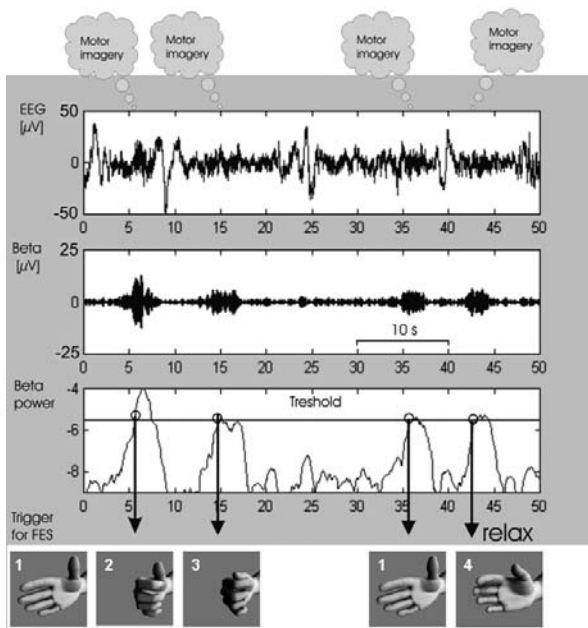


Abb. 2: Übersicht EEG-Signale, Leistungsdichte, Schwellwerterkennung und Greifphasensteuerung

Das EEG enthält große Artefakte (obere Kurve), hervorgerufen durch Augenbewegungen, die der Patient bei der Beobachtung seiner Handbewegung ausführte. Störeinflüsse durch Muskelbewegungen werden durch die bipolare Ableitung wirksam minimiert (Leistungsdichte 20 - 60 Hz nahezu Null). Nach der Bandpassfilterung im Beta-Band (mittlere Kurve) sind 4 Aktivitätsspitzen mit einer Dauer von 1s während der 50s Messdauer zu er-

kennen. Die Leistungszunahme im Beta-Band wurde für die Generierung eines Triggerpulses für die Greifphasenumschaltung (untere Kurve) verwendet.

Der Patient ist hiermit in der Lage, die mittels FES erzeugten Greifphasen selbstständig weiterzuschalten. Er war mit dieser Anordnung das erste Mal seit seinem Unfall in der Lage, ohne fremde Hilfe oder Hilfsmittel aus einem Glas zu trinken.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit dem beschriebenen Experiment konnte nachgewiesen werden, dass eine BCI-kontrollierte Steuerung einer Neuroprothese prinzipiell möglich ist. Dass diese Kopplung nicht nur bei FES-Systemen mit Oberflächenelektroden, sondern auch bei dem implantierbaren Freehand-System realisiert werden kann, konnten wir vor kurzem erfolgreich nachweisen. Somit sind wir dem Wunschtraum einer "Überbrückung" der Rückenmarkschädigung mit technischen Hilfsmitteln ein wesentliches Stück näher gekommen. Allerdings ist die Anzahl der steuerbaren Freiheitsgrade, ebenso wie die erzielte Befehlswiederholrate bei EEG-basierten BCIs, gering. Auch die Trainingszeiten sind für eine klinische Routineanwendung derzeit (noch) zu lang. Allerdings stellt die BCI-Steuerung eine interessante Perspektive für die Zukunft dar, die durch Einführung von implantierbaren Elektroden zur Ableitung des ECoG erhebliche Verbesserungen hinsichtlich der steuerbaren Freiheitsgrade und der Trainingszeiten mit sich bringen wird.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei dem Patienten für seine Motivation und Geduld bedanken.

LITERATUR

[Schwab2004]

J. M. Schwab et al., "Akute Rückenmarkverletzung: Experimentelle Strategien als Basis zukünftiger Behandlungen", *Deutsches Ärzteblatt* 101 (20), p 1183-1195, 2004

[Rupp2004]

R. Rupp, H. J. Gerner, "Neuroprosthetics of the upper extremity - Clinical application in spinal cord injury and future perspectives", *Biomed Tech* 49 (4), p 93-98, 2004

[Neuper2003]

C. Neuper et al., "Clinical application of an EEG-based brain-computer interface: a case study in a patient with severe motor impairment", *Clin Neurophysiol* 114(3), p 399-409, 2003

[Pfurtscheller2003]

G. Pfurtscheller et al., "Thought-control of functional electrical stimulation to restore hand grasp in a patient with tetraplegia", *Neurosci Lett* 351(1), p 33-36, 2003