



## RFT-Projekt: Direkte Kommunikation zwischen Gehirn und Computer: Virtuelles Keyboard – Schreiben mit Gedanken

### *Direct communication between brain and computer: Virtual Keyboard – thought-controlled writing*

Die direkte Kommunikation zwischen Gehirn und Computer kann mit Hilfe eines Brain-Computer Interface (BCI) realisiert werden. Unter einem BCI versteht man ein technisches System, das gedankenspezifische Änderungen der bioelektrischen Hirnaktivität online und in Echtzeit in ein Steuersignal transferiert (Encyclopedia of Neuroscience, 3rd Ed., 2004).

In Forschungsarbeiten der letzten 10 Jahre wurde ein EEG-basierendes BCI entwickelt, mit dessen Hilfe bestimmte kognitive Prozesse, meist mentale Bewegungsvorstellungen, anhand simultaner EEG-Ableitungen in Echtzeit detektiert und in ein Steuersignal umgesetzt werden können. Durch jegliche gedankliche Aktivität, beispielsweise die mentale Vorstellung einfacher Bewegungen, verändern sich bestimmte Parameter der gemessenen Hirnströme, welche mit Mustererkennungsmethoden detektiert bzw. klassifiziert werden können. Verbindet man nun diese Muster der Gehirntätigkeit mit einfachen Computerfunktionen, so ist es prinzipiell möglich, dass völlig gelähmte Menschen direkt über ihre Hirnaktivität mit ihrer Umwelt kommunizieren. Allerdings liegt derzeit mit den weltweit verfügbaren BCI-Systemen die Geschwindigkeit der Kommunikation bei etwa einem Buchstaben in der Minute. Ein wesentliches Ziel dieses Projektes ist daher die Erhöhung der möglichen Informationstransferrate der EEG-gesteuerten Kommunikation.

Wichtig für die Realisierung eines mehrdimensionalen BCI mit großer Informationstransferrate ( $>20$  bit/min) sind u.a. folgende Punkte:

- Personen-spezifische Suche (off-line) nach der besten mentalen Strategie. Voraussetzung dafür sind Vielkanal-EEG-Ableitungen (Abb. 1A) mit Parameterschätzung und statistischer Auswertung.
- Parameterselektion und Optimierung für den online BCI-Einsatz. Bei Verwendung von z.B. 20-EEG Ableitungen mit 30 spektralen Parametern pro Signal ergibt sich eine Dimension der Datenvek-

toren um 600. Diese Dimension ist für die online Verarbeitung viel zu hoch und muss drastisch reduziert werden.

- Mit den derzeit verwendeten EEG-Ableitungen von der Kopfoberfläche ist ein mehrdimensionales BCI nicht, bzw. nur schwer realisierbar. Es ist deshalb wichtig, die Eignung des Electrocorticogramms (ECoG), das mit Hilfe subduraler direkt im Gehirn implantierten Elektroden abgeleitet wird, als BCI-Inputsignal zu untersuchen. Das ECoG kann als minimal-invasiv angesehen werden und besitzt ein gutes Signal-Rauschverhältnis. Der TU Graz stehen im Rahmen der NIH/USA-Projekte (Grant NS40681-01) 128-Kanal-ECoG Daten von Patienten des Henry

Ford Hospitals in Detroit für BCI Untersuchungen zur Verfügung (Abb. 1B).

Für die Umsetzung der Punkte 1., 2. und 3. wurde an der TU Graz das modernste EEG-Labor Österreichs eingerichtet. Es besteht aus einem 60-Kanal-EEG-System, mehreren Echtzeit-Biosignalverstärkersystemen und einem Rechner-Cluster für die EEG- und ECoG-Verarbeitung und Parameteroptimierung. Zur statistischen Auswertung von multivariaten EEG und ECoG Signalen, die bis zu 126 Kanäle und damit bis zu 100 MByte pro Versuchsperson umfassen können, werden Resampling Methoden (Bootstrap, Cross-Validation) eingesetzt. Für die offline Optimierung der BCI-Parameter werden genetische Algorithmen und andere stochastische

Suchmethoden verwendet. Alle diese Methoden haben die Eigenschaft, dass sie ausgesprochen rechenintensiv sind. Die notwendige Rechenleistung wird durch einen Rechencluster bestehend aus 16 Linux Knoten mit je 2 GHz Taktfrequenz und 1 GByte Hauptspeicher zur Verfügung gestellt.

Das mit dem BCI erzeugte Steuersignal ermöglicht u.a. folgende Anwendungen:

- Kontrolle eines „Virtual Keyboard“ (Schreiben mit Gedanken)
- Steuerung einer Funktionellen Elektrostimulation (Standard v. 15.10.03)
- Navigation in einer virtuellen Welt (EU-Projekt PRESENCIA).

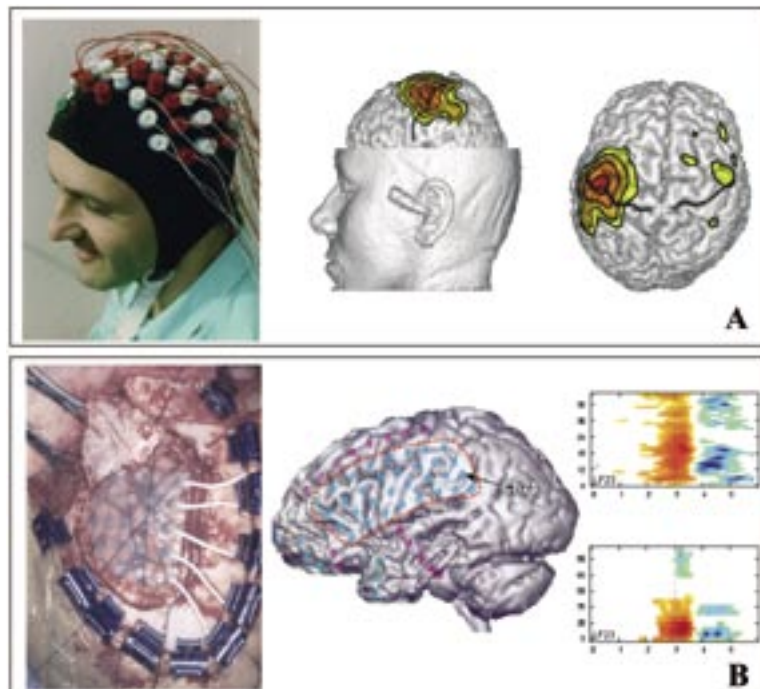


Abb. 1: Beispiele für Vielkanal-EEG (A) und ECoG Ableitungen (B)

Im weiteren soll die Funktion eines Virtuellen Keyboards (VK) kurz vorgestellt werden. Für Patienten mit Locked-in-Syndrom, die aufgrund einer vollständigen Lähmung - bei völlig klarem Bewusstsein - keine Möglichkeit mehr haben, sich zu artikulieren, stellt das Schreiben mit Gedanken letztlich die einzige Möglichkeit dar, mit ihrer Umwelt zu kommunizieren.

Das an der TU Graz entwickelte 'Virtual Keyboard' ist ein mentales Kommunikationssystem, das auf einer derartigen Echtzeitauswertung der Hirnaktivität beruht. Patienten, die gelernt haben über bestimmte mentale Vorstellungen detektierbare EEG-Muster zu erzeugen, können hiermit Buchstaben oder Wörter aus einem Computermenü direkt mit Hilfe ihrer Hirnaktivität auswählen. Das System basiert auf sukzessiven dichotomen Auswahlritten (siehe Abb. 2). Beginnend mit dem gesamten Alphabet kann als Folge einer Reihe von binären Entscheidungen, unter schrittweiser Halbierung der ausgewählten Buchstaben-Untermengen, der gewünschte Buchstabe ausgewählt werden. Grundsätzlich ermöglicht das 'Virtual Keyboard' nach entsprechendem Training das freie Verfassen von sprachlichen Mitteilungen über rein mentale Aktivität, ohne jegliche muskuläre Kontrolle.

Details über die BCI-basierte Steuerung einer funktionellen Elektrostimulation können der Homepage unter <http://www.dpmi.tu-graz.ac.at/> entnommen werden.

### *Direct communication between brain and computer: Virtual Keyboard – thought-controlled writing*

*Direct communication between brain and computer can be realized with the help of a Brain-Computer Interface. This denotes a technical system which, in real-time, transforms electrophysiological signals originating from the human brain into commands that control devices or applications. In this way, a BCI provides a new non-muscular communication channel, which can be extremely useful for people with severe neuromuscular disorders such as amyotrophic lateral sclerosis or infantile cerebral palsy. The immediate goal of current research is to provide the users with an opportunity to communicate with their environment. Our group at the Institute of Human-Computer Interfaces has been a pioneering team working on the design of an EEG-based 'Virtual Keyboard'. One of the main objectives of this project is to improve the information transfer rate by the application of advanced signal processing methods to optimize preprocessing, feature extraction, and classification of scalp-recorded and subdurally recorded brain signals.*

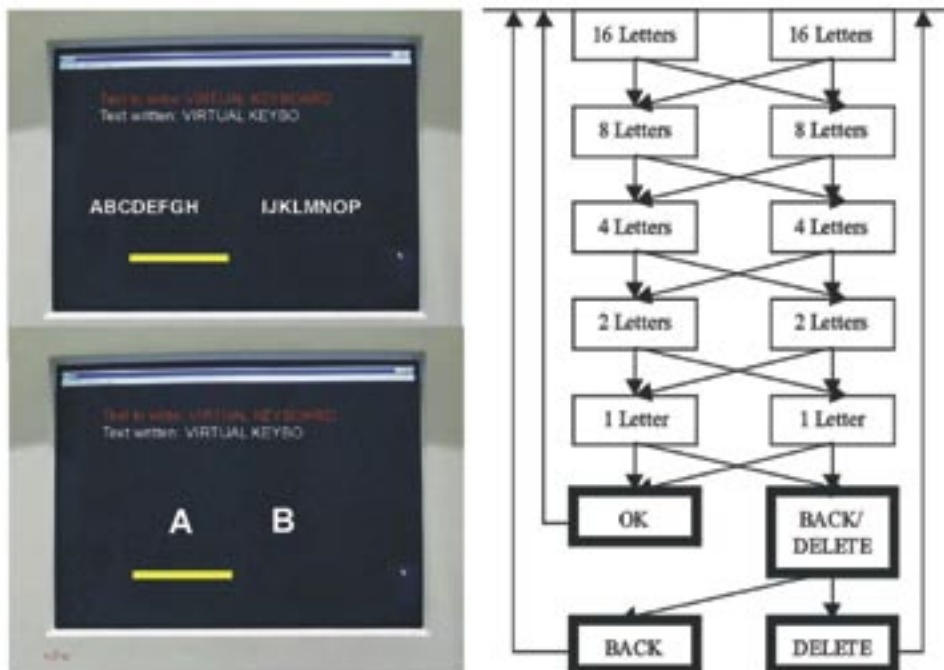


Abb. 2: Beispiele für Monitorbilder des 'Virtual Keyboards' (linke Seite) und Struktur der dichotomen Buchstabenauswahl mit Korrekturoptionen (rechte Seite).