

Gehirn-Computer-Schnittstellen – eine neue Form der Kommunikation

Brain-computer interfaces – a novel type of communication

Grosse-Wentrup, Moritz

Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, Standort Tübingen, Tübingen

Korrespondierender Autor/in

E-Mail: moritz.grosse-wentrup@tuebingen.mpg.de

Zusammenfassung

Gehirn-Computer-Schnittstellen stellen eine neue Art der Kommunikation dar, die, im Gegensatz zu gewöhnlichen Kommunikationsformen wie Sprache oder Gestik, keine Muskelkontrolle erfordert. Dies könnte Patienten, die auf Grund einer amyotrophen Lateralsklerose (ALS) in ihrem Körper eingeschlossen werden, ermöglichen, weiterhin mit ihrer Umwelt zu interagieren. Gehirn-Computer-Schnittstellen finden darüber hinaus zunehmend Verwendung in der Schlaganfall-Rehabilitation. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung und stellt aktuelle Forschungsthemen vor.

Summary

Brain-computer interfaces (BCIs) provide a new means of communication that does not rely on volitional muscle control. This may provide the capability to locked-in patients, e.g., those suffering from amyotrophic lateral sclerosis, to maintain interactions with their environment. Besides providing communication capabilities to locked-in patients, BCIs may further prove to have a beneficial impact on stroke rehabilitation. In this article, the state-of-the-art of BCIs is reviewed and current research questions are discussed.

Kommunikation erfordert Feinmotorik

Wir sind gewohnt, ohne Anstrengung mit unserer Umwelt kommunizieren zu können, sei es durch Sprache, Gestik und Mimik, oder durch neue Kommunikationsformen wie E-Mail, Facebook und Twitter. Selten ist uns bewusst, welche anspruchsvollen Aufgaben unser Gehirn dabei bewältigt. Insbesondere erscheint uns die komplexe Koordination unserer Muskeln, die benötigt wird, um ein Wort richtig auszusprechen, ein Gefühl mimisch auszudrücken oder eine SMS zu schreiben, als selbstverständlich. Erst wenn unsere Muskelkontrolle durch einen Unfall oder eine Krankheit, wie z. B. einen Schlaganfall, in Mitleidenschaft gezogen wird, erkennen wir, dass jegliche Art von Kommunikation ein hohes Maß an Feinmotorik erfordert.

Gehirn-Computer-Schnittstellen – eine alternativer Kommunikationskanal?

Seit ca. zwei Jahrzehnten arbeiten Wissenschaftler daran, diese Einschränkung unserer Kommunikationsfähigkeit zu überwinden und eine direkte Verbindung zwischen dem Gehirn und einem Computer herzustellen [1]. Angetrieben werden sie dabei von der Motivation, Patienten mit beeinträchtigter Motorik eine alternative Form der Kommunikation zu ermöglichen. Hierzu zählen z. B. Patienten mit amyotropher Lateralsklerose (ALS). Diese neurodegenerative Erkrankung, für die bisher keine Heilung möglich ist, schädigt das periphere Nervensystem und führt zum vollständigen Verlust der Fähigkeit, Muskeln gezielt zu bewegen. Dieser Zustand, in dem ein Patient nicht mehr mit seiner Umwelt interagieren kann, wird als *locked-in* bezeichnet. Nur ein kleiner Prozentsatz der ALS-Patienten erreicht jedoch diesen Zustand. Eine Mehrheit entschließt sich gegen eine künstliche Beatmung, die in der Regel vor dem *locked-in* Zustand zum Weiterleben notwendig wird. Gehirn-Computer-Schnittstellen könnten diesen Patienten die Möglichkeit eröffnen, selbst im fortgeschrittenen Krankheits-Stadium weiter an ihrer Umwelt teil zu haben. Dies kann maßgeblich dazu beitragen, ob sich ein Patient für oder gegen ein Weiterleben entscheidet.

Was kann eine Gehirn-Computer-Schnittstelle – und was nicht?

Gehirn-Computer-Schnittstellen, im Englischen bekannt als *Brain-Computer Interfaces (BCIs)*, basieren auf der Erkenntnis, dass das Gehirn elektrische Felder erzeugt. Diese Felder können auf der Kopfhaut gemessen werden und stellen ein Abbild unserer Gedanken dar. Da bestimmte Gedanken mit charakteristischen Mustern einhergehen, kann man Computer lernen lassen, aus diesen Mustern Rückschlüsse auf unsere Gedanken zu ziehen. Dabei ist es jedoch ausgeschlossen, Gedanken zu lesen, die der Benutzer nicht an den Computer kommunizieren will. Die erfolgreiche Benutzung einer Gehirn-Computer-Schnittstelle erfordert, dass der Benutzer dem Computer in einer

Trainingsphase vor-denkt, welche Absichten zu welchen Gehirn-Mustern führen. Zudem ist es bisher nur gelungen, verschiedene Arten von Gedanken zu erkennen, nicht aber deren genauen Inhalt. So ist z. B. erkennbar, ob der Benutzer des BCIs gerade an ein Musikstück oder an eine Bewegung denkt – nicht aber, welches Musikstück er im Geiste hört oder wie die vorgestellte Bewegung aussieht. Dennoch kann dies zur Kommunikation verwendet werden, in dem sich der Benutzer und der Computer auf eine gemeinsame Zuordnung von Gedanken und Absichten einigen. So kann zum Beispiel der Gedanke an ein Tennisspiel für ein „Ja“ stehen, und der Gedanke an ein Musikstück für ein „Nein“. Während dies den Anschein macht, eine sehr umständliche Form der Kommunikation zu sein, hilft hier die beeindruckende Lernfähigkeit des menschlichen Gehirns. Nach einer Trainingsphase von ein paar Tagen können viele Menschen ihre Absichten dem Computer kommunizieren, ohne explizit an verschiedene Tätigkeiten denken zu müssen. Ähnlich wie beim Fahrradfahren, das nach einer kurzen Trainingszeit automatisiert abläuft, reicht die Intention aus, um das gewünschte Ziel zu erreichen.

Wer kann eine Gehirn-Computer-Schnittstelle verwenden – und warum?

Die Tatsache, dass mittlerweile BCI-Systeme für Videospiele kommerziell erhältlich sind, erweckt den Eindruck, dass die Vision einer direkten Verbindung zwischen Gehirn und Computer längst Realität ist. Leider basieren diese kommerziellen Systeme häufig nicht auf elektrischen Feldern des Gehirns, sondern auf Feldern, die von Muskeln unterhalb der Kopfhaut erzeugt werden. Was als direkte Verbindung zwischen Gehirn und Computer erscheint, basiert tatsächlich auf Muskelkontrolle. Da diese bei ALS-Patienten nicht gegeben ist, sind solche Systeme im klinischen Bereich nicht einsetzbar. Jedoch sind auch professionelle Systeme bisher im klinischen Bereich nur eingeschränkt nutzbar. Die Fähigkeit, eine Gehirn-Computer-Schnittstelle zu bedienen, variiert von Patient zu Patient. Während manche Nutzer nach einer Trainingsphase von wenigen Minuten mit einer hohen Zuverlässigkeit ihre Absicht dem System mitteilen können, erreichen andere selbst durch intensives Training keine zuverlässige Kommunikation. Erschwerend kommt hinzu, dass mit fortschreitendem Verlauf der ALS die Fähigkeit, eine Gehirn-Computer-Schnittstelle zu bedienen, abnimmt. Bis heute hat kein Patient erfolgreich aus einem *locked-in* Zustand heraus mit Hilfe einer Gehirn-Computer-Schnittstelle kommuniziert. Die Ursachen hierfür zu erforschen ist das primäre Interesse der BCI-Gruppe am Max Planck Institut für intelligente Systeme.

Die Bedeutung von γ -Oszillationen für Gehirn-Computer-Schnittstellen

Die Mehrzahl der in der Forschung verwendeten Gehirn-Computer-Schnittstellen basiert auf dem sensomotorischen Rhythmus (SMR). Dies ist eine Komponente des elektrischen Feldes des Gehirns, die eng mit motorischen Prozessen verknüpft ist. Da die Stärke des SMR gezielt durch die Vorstellung verschiedener Bewegungen moduliert werden kann, und dies zudem leicht erlernbar ist, stellt die Bewegungsvorstellung das am häufigsten eingesetzte Paradigma dar. Die Frage, warum manche Menschen eine Gehirn-Computer-Schnittstelle verwenden können und andere nicht, lässt sich bei diesem Paradigma auf die Frage zurückführen, wieso die Stärke des SMR von Mensch zu Mensch variiert [2].



[Bild vergrößern](#)

Gehirn-Computer Schnittstellen in der
Schlaganfall-Rehabilitation
© MPI für Intelligente Systeme, Tübingen

In einer Studie mit gesunden Probanden konnte gezeigt werden, dass die Modulierbarkeit des SMR mit der Stärke von sogenannten γ -Oszillationen korreliert [3]. Dies sind hochfrequente Oszillationen (> 40 Hz) des elektrischen Feldes, denen eine wichtige Rolle in der lokalen Informationsverarbeitung des Gehirns zugeschrieben wird. Um jedoch eine zufriedenstellende Erklärung für die Variation des SMR zu bieten, ist es notwendig zu zeigen, dass diese γ -Oszillationen nicht nur mit dem SMR korrelieren, sondern dass sie einen kausalen Einfluss auf diesen ausüben. Mithilfe mathematischer Methoden zur kausalen Inferenz konnte in der Tat ein solcher Zusammenhang aufgezeigt werden [3].

Diese Erkenntnis wirft neue Fragen auf. Welche Gemütszustände sind mit den γ -Oszillationen assoziiert, die zu einem starken SMR führen? Wie entwickeln sich diese Oszillationen über den Krankheitsverlauf bei ALS-Patienten? Ist es möglich, durch Neurofeedback-Verfahren ALS-Patienten in fortgeschrittenen Krankheitsstadien zu lehren eine Gehirn-Computer-Schnittstelle zu bedienen? Erste Untersuchungen deuten darauf hin, dass gesunde Probanden lernen können, γ -Oszillationen bewusst zu beeinflussen [4]. Es bleibt abzuwarten, ob diese neuen Einsichten Patienten ermöglichen werden, mithilfe einer Gehirn-Computer-Schnittstelle aus dem *locked-in* Zustand heraus zu kommunizieren.

Ausblick

Während dieser Beitrag hauptsächlich auf die Möglichkeit der Kommunikation mit Gehirn-Computer-Schnittstellen eingeht, soll abschließend erwähnt werden, dass Gehirn-Computer-Schnittstellen zunehmend auch Verwendung in der Rehabilitation finden. Insbesondere die Kombination von Gehirn-Computer-Schnittstellen mit Rehabilitations-Robotern scheint vielversprechend. Die hierbei zu Grunde liegende Idee ist, dass bei Schlaganfall-Patienten mit motorischen Defiziten eine Bewegungsabsicht nicht zu der gewünschten Ausführung der Bewegung führt. Gehirn-Computer-Schnittstellen können dagegen die beabsichtigte Bewegung erkennen und die betroffenen Gliedmaßen des Patienten mit Hilfe eines Roboters der Absicht des Patienten entsprechend bewegen (**Abb. 1**). Diese Zusammenführung der Bewegungsintention mit der Bewegungsausführung könnte die Restrukturierung des Gehirns, die als Reaktion auf einen Schlaganfall eintritt, positiv beeinflussen. Die sich hierbei stellenden Herausforderungen unterscheiden sich deutlich von denen, die bei der Kommunikation von einer Gehirn-Computer-

Schnittstelle gefordert werden. Es konnte jedoch schon gezeigt werden, dass die Kombination von Gehirn-Computer-Schnittstellen mit Rehabilitations-Robotern nicht nur möglich ist, sondern sogar positive Veränderungen im elektrischen Feld des Gehirns bewirkt [5].

1. [Wolpaw, J. R.; Birbaumer, N.; McFarland, D. J.; Pfurtscheller, G.; Vaughan, T.](#)
 [Brain-computer interfaces for communication and control](#)
 [Clinical Neurophysiology 113 \(6\), 767-791 \(2002\)](#)

2. [Blankertz, B.; Sannelli, C.; Halder, S.; Hammer, E. M.; Kübler, A.; Müller, K.-R.; Curio, G.; Dickhaus, T.](#)
 [Neurophysiological Predictor of SMR-based BCI performance](#)
 [Clinical Neurophysiology 113 \(6\), 767-791 \(2002\)](#)

3. [Grosse-Wentrup, M.; Schölkopf, B.; Hill, J.](#)
 [Causal influence of gamma oscillations on the sensorimotor-rhythm](#)
 [NeuroImage 56 \(2\), 837-842 \(2011\)](#)

4. [Grosse-Wentrup, M.](#)
 [Neurofeedback of fronto-parietal gamma-oscillations](#)
 [Proceedings of the 5th International BCI Conference 2011, 172-175 \(2011\)](#)

5. [Gomez-Rodriguez, M.; Peters, J.; Hill, J.; Schölkopf, B.; Gharabaghi, A.; Grosse-Wentrup, M.](#)
 [Closing the sensorimotor loop: haptic feedback facilitates decoding of motor-imagery](#)
 [Journal of Neural Engineering 8 \(3\), 036005 \(2011\)](#)