

Mit der Kraft der Hirnaktivität die Arbeitswelt von Morgen bewegen: Was wird in Zukunft mittels Brain-Computer Interfaces möglich sein?

Mathias Vukelić

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement, Universität Stuttgart

Zusammenfassung

Innovative Neurotechnologien, wie das Brain-Computer Interface (BCI), bieten eine neue Form der Kommunikation zwischen Mensch und Technik. Passive BCIs, welche auf implizite nicht-intendierte Befehle des Nutzers zur Steuerung eines Systems abzielen, versprechen ein großes Potenzial um die zugrundeliegende Mensch-Technik Interaktion grundlegend zu verbessern. Durch die Kombination multimodaler neuronaler Messmethoden können somit in Zukunft adaptive kontext-sensitive technische Systeme entwickelt werden, welche den Nutzer pro-aktiv unterstützen, indem das Systemverhalten den Bedürfnissen und Erwartungen des Nutzers angepasst werden kann. Durch *nutzerzentriertes Design* von BCIs, als auch die voranschreitende Mobilität und Miniaturisierung der neurophysiologischen Messmethodik können in Zukunft die derzeitigen Probleme angegangen werden, um das BCI praktikabel für die Arbeit von morgen zu gestalten.

1 Einleitung

In unserer modernen Arbeitswelt sind wissenschaftliche Erkenntnisse, die zum Verständnis und zur Verbesserung der Interaktion zwischen Mensch und Technik beitragen und damit eine effiziente Steuerung, Überwachung und Nutzung technischer Systeme durch den Menschen ermöglichen, von zentraler Bedeutung (Spath, Peissner, & Sproll 2010). Die Neuroarbeitswissenschaft vereint Methoden aus den Arbeitswissenschaften und Neurowissenschaften und stellt den Menschen in seinen natürlichen Arbeitsumgebungen in den Vordergrund der Forschungsbetrachtung (Parasuraman & Wilson 2008). Zur Erforschung der Aktivierungsmuster im Gehirn werden zunehmend nicht-invasive neuronale Messmethoden, welche zum einen die metabolischen Prozesse, die im Zusammenhang mit

neuronalen Mustern (funktionelle Magnetresonanztomographie und funktionelle Nahinfrarotspektroskopie) stehen, als auch solche welche direkt die elektrische Aktivität (Elektroenzephalographie) erfassen. Diese rasche Technologieentwicklung in den Neurowissenschaften bietet eine neue Form der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik, das Brain-Computer Interface (BCI). Ein BCI bietet die Möglichkeit der Kommunikation ohne die aktive Beteiligung des Menschen, indem es neuronale Aktivitätsmuster in Echtzeit ableitet und mittels Verfahren des Maschinellen Lernens klassifiziert und diese Signale in artifizielle Kommandos zur Ansteuerung eines technischen Systems übersetzt (Wolpaw et al. 2002).

2 Zukunftsperspektiven des BCI

Die Hauptziele der BCI-Forschung lagen in den letzten zwei Jahrzehnten vor allem darin, Unterstützungssysteme für Menschen mit starken körperlichen Beeinträchtigungen, wie z.B. nach einem Schlaganfall oder Locked-in Patienten, zu definieren, die eine Kontrolle über ein technisches System erlauben oder als Kommunikationsmedium genutzt werden können (Birbaumer et al. 1999; Kübler et al. 2005). Trotz diverser Vorteile entwickelt sich eine zunehmende Lücke zwischen dem potenziellen Nutzen und dem wirklichen Mehrwert, welche diese Technologie derzeit bietet. Derzeit bestehen immer noch erhebliche Anforderungen, um das BCI als praktikables Tool für „*Real World*“ Anwendungen zu gestalten. Hierbei werden vor allem der hohe kognitive Aufwand während der Nutzung, Miniaturisierung der Messmethodik, „*BCI illiteracy*“ (BCI Analphabetismus), sowie die aufwendige Kalibrierung des Systems als Hauptprobleme angesehen (Blankertz et al. 2010; Grosse-Wentrup, Schölkopf, & Hill 2011; Zander & Kothe 2011; Zander & Jatzev 2012).

Durch die Erweiterung der Kategorisierung aktueller BCI-Technologien um den Begriff des „*passive BCI (pBCI)*“ (Zander & Kothe 2011) erschließt sich ein neues Anwendungsfeld im Bereich der Human-Machine Interaction (HMI), in dem Hirnsignale in einen geeigneten Kontext gestellt werden können und diese Hirnaktivität so interpretiert wird, damit das Verhalten des Systems entsprechend dem Nutzer angepasst werden kann. pBCIs zielen nicht auf die direkte Steuerung des Systems durch intendierte Befehle des Nutzers ab, sondern leiten Informationen über versteckte Aspekte des Hirnzustandes des Nutzers ab, die der Maschine bereitgestellt werden können, um die zugrundeliegende Mensch-Technik Interaktion (MTI) zu verbessern. Dieser passive Input-Kanal könnte in Zukunft sinnvoll zu einem HMI hinzugefügt werden, ohne dass der kognitive Aufwand des Nutzers steigt, da solch eine MTI inhärent die Aufmerksamkeit des Nutzers nicht benötigt. Situationen, in denen der Kontext des Nutzers relevant ist könnten z.B. persönliche Faktoren, wie etwa physische Aktivität, soziale Interaktion, und psychophysiologische Zustände oder Affektzustände, beinhalten. Weitere mentale Prozesse, wie z.B. Engagement, kognitive Belastung, Gedächtnis und Lernen, könnten die Dimension des Inputs für ein HMI durch kognitiv-sensitive Komponenten erweitern, um die automatisierte Adaptation des Nutzers anzupassen. Diese implizite Form der Mensch-Technik Kommunikation zielt darauf ab, kontext-sensitive technische Systeme zu entwickeln, welche den Nutzer pro-aktiv

unterstützen, indem das Systemverhalten den Bedürfnissen und Erwartungen des Nutzers angepasst werden kann (Protzak, Ihme, & Zander 2013; Zander et al. 2014).

Gerade im Hinblick auf eine verbesserte und effektivere Techniknutzung gewinnen Emotionen und Affekt zunehmend an Bedeutung (Lavie & Meyer 2010; Ringbauer, Peissner, & Gemou 2007), wobei auch schon erste Schritte in Richtung „*emotional BCI*“ und „*Real World*“ Anwendungen unternommen wurden (Hirshfield et al., 2009; Kashihara 2014; Molina, Tsoneva, & Nijholt 2009). Durch ein zunehmendes neurophysiologisches Verständnis der „*BCI illiteracy*“ während der MTI können weiterhin neue individualisierte Hirnmarker zur Klassifikation genutzt werden um die Kommunikation zu verbessern und dadurch das BCI praktikabler zu gestalten (Blankertz et al. 2010; Grosse-Wentrup et al. 2011; Vukelić et al. 2014; Vukelić & Gharabaghi 2015). Die Kombination von pBCI mit der kürzlich neu eingeführten Kategorie der *hybriden BCIs* (Pfurtscheller et al. 2010) lassen sich noch effizientere kontext-sensitive BCIs definieren. Diese besitzen das Potenzial einen größeren Anteil des im gegebenen HMI verfügbaren Informationsraums zu nutzen, um das Gesamtsystem intuitiver und reliabel zu gestalten (Fazli et al. 2012). Relevante Verbesserungen im Bereich der Miniaturisierung und Mobilität der Messmethodik sowie der Kalibrierung des Systems (De Vos & Debener 2014; De Vos, Gandras, & Debener, 2014; Zander et al. 2011; Zich et al. 2014) zeigen, dass die BCI-Technologie auch außerhalb gut kontrollierter Laborszenarien einsatzfähig konzipiert werden kann.

3 Anwendungsfelder und potenzielle Nutzer

Die BCI-Technologie hat das Potenzial diverse Applikationsmärkte anzusprechen. In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit wurden dabei sieben Anwendungsgebiete identifiziert aus denen sich folgende Anwendungsfelder und Case Szenarios sowie deren potenzielle Nutzer ableiten lassen (Nijboer et al., 2011):

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Suchtkrankheiten	Echtzeit-Detektion des Suchtverlangens und anschließendes Neurofeedback	Drogen- und Alkoholabhängige, Adipositas Patienten
Assistierende Technologien	Unterstützung für physisch beeinträchtigte Personen	Locked-in Patienten, Schlaganfall Patienten
Therapie	Neurofeedback zur Anregung der Hirn-Plastizität bei geschädigtem Hirngewebe	Epilepsie, Schlaganfall, Alzheimer, Depressionen, ADHS
Monitoring	Monitoring und Klassifizierung der Hirnsignale in Echtzeit	Morbus Parkinson, Alzheimer, Epilepsie
Diagnostik	Bessere Diagnostik durch neurophysiologische Marker	Koma-Patienten, kognitiv beeinträchtigte Patienten, Morbus Parkinson
Prävention	Neurofeedback zur Reduktion von Neurodegeneration	Alzheimer, ältere Personen
Cognitive Enhancement	Neurofeedback zur Verbesserung der Kognition	Alle Nutzergruppen
Wellness	Neurofeedback zur Verbesserung der emotionalen Gefühlslage	Alle Nutzergruppen

Tabelle 1: Medizin

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Echtzeit-Analysen	Besseres Verständnis der Funktionsmechanismen des Gehirns	Neurowissenschaftler, Neurologen, und Neuropsychologen

Tabelle 2: Wissenschaft

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Computerspiele-Industrie	Neue Interaktionsmöglichkeiten durch aktive BCIs oder Verbesserung der Spielerfahrung durch passive BCIs	Spieler
Kunst	Neue Gestaltungsprinzipien	Künstler sowie alle Nutzergruppen

Tabelle 3: Unterhaltung

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Forensik	Monitoring von kriminellen Wissen und Intentionen	Polizei, Justizvollzugsanstalten
Militär	Monitoring von mentaler Überlastung ; Aktives BCI	Soldaten
Prozesslenkung und Prozesssteuerung	Monitoring der Aufmerksamkeit zur Weitergabe relevanter Informationen an den Nutzer	Fluglotsen, Zugführer

Tabelle 4: Sicherheit und Jurisdiktion

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Intelligente Benutzerschnittstellen	Adaptive multimodale (Assistenz-)Systeme die Informationen über den mentalen Zustand zur intuitiveren Nutzung erhalten	Alle Nutzergruppen

Tabelle 5: Informations- und Kommunikationstechnologie

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Digitale Wissensmedien	Neue Gestaltungsprinzipien in Spielen und interaktiven Lernmedien zur Verbesserung des Lernens und zur Steigerung der Hirnplastizität	Alle Nutzungsgruppen

Tabelle 6: Bildung

Anwendung	Konzept	Potenzielle Nutzer
Neuroökonomie	Verständnis bestimmter finanzieller Entscheidungen	Wirtschaftswissenschaftler, Banken, und Marketeer
Neuromarketing	Identifikation der Wirkung von Werbung, Produkten, und Medien	Alle Nutzungsgruppen

Tabelle 7: Wirtschaft

4 Ausblick

Der Ansatz des *nutzerzentrierten Design*, in dem auch Aspekte der Usability und User Experience (UX) in den Entwicklungsprozess neuer BCI-Technologien einfließen, erlaubt die Identifikation potenzieller neuer Nutzer sowie Anwendungsszenarien in denen diese Technologie von Nutzen ist (Zickler et al. 2013). Damit neue innovative BCI-Technologien entwickelt werden können müssen zukünftig weitere Aspekte wie Einfachheit, Reliabilität, und Funktionalität im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Weiterhin zeigt sich durch die voranschreitende Mobilität und Miniaturisierung der neurophysiologischen Messmethodik, dass in Zukunft die derzeitigen Probleme für „*Real World*“ Anwendungen angegangen und beseitigt werden können um somit das BCI praktikabel für die Arbeit von morgen zu gestalten.

5 Schlussteil

Kontaktinformation

Dr. Mathias Vukelić
Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart
Email: mathias.vukelic@iat.uni-stuttgart.de
Website: www.hci.iao.fraunhofer.de
Telefon: +49 711 970 5183

Literaturverzeichnis

- Birbaumer, N., Ghanayim, N., Hinterberger, T., Iversen, I., Kotchoubey, B., Kübler, A., ... Flor, H. (1999). A spelling device for the paralysed. *Nature*, 398(6725), 297–298.
- Blankertz, B., Sannelli, C., Halder, S., Hammer, E. M., Kübler, A., Müller, K.-R., ... Dickhaus, T. (2010). Neurophysiological predictor of SMR-based BCI performance. *NeuroImage*, 51(4), 1303–1309.
- De Vos, M., & Debener, S. (2014). Mobile EEG: towards brain activity monitoring during natural action and cognition. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 91(1), 1–2.
- De Vos, M., Gandras, K., & Debener, S. (2014). Towards a truly mobile auditory brain-computer interface: exploring the P300 to take away. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 91(1), 46–53.
- Fazli, S., Mehnert, J., Steinbrink, J., Curio, G., Villringer, A., Müller, K.-R., & Blankertz, B. (2012). Enhanced performance by a hybrid NIRS-EEG brain computer interface. *NeuroImage*, 59(1), 519–529.
- Grosse-Wentrup, M., Schölkopf, B., & Hill, J. (2011). Causal influence of gamma oscillations on the sensorimotor rhythm. *NeuroImage*, 56(2), 837–842.
- Hirshfield, L. M., Solovey, E. T., Girouard, A., Kebinger, J., Jacob, R. J. K., Sassaroli, A., & Fantini, S. (2009). Brain measurement for usability testing and adaptive interfaces: an example of uncovering syntactic workload with functional near infrared spectroscopy (p. 2185). ACM Press.
- Kashihara, K. (2014). A brain-computer interface for potential non-verbal facial communication based on EEG signals related to specific emotions. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 244.
- Kübler, A., Nijboer, F., Mellinger, J., Vaughan, T. M., Pawelzik, H., Schalk, G., ... Wolpaw, J. R. (2005). Patients with ALS can use sensorimotor rhythms to operate a brain-computer interface. *Neurology*, 64(10), 1775–1777.
- Lavie, T., & Meyer, J. (2010). Benefits and costs of adaptive user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(8), 508–524.
- Molina, G. G., Tsoneva, T., & Nijholt, A. (2009). Emotional brain-computer interfaces (pp. 1–9). IEEE.
- Parasuraman, R., & Wilson, G. F. (2008). Putting the brain to work: neuroergonomics past, present, and future. *Human Factors*, 50(3), 468–474.

- Pfurtscheller, G., Allison, B. Z., Brunner, C., Bauernfeind, G., Solis-Escalante, T., Scherer, R., ... Birbaumer, N. (2010). The hybrid BCI. *Frontiers in Neuroscience*, 4, 30.
- Protzak, J., Ihme, K., & Zander, T. O. (2013). A Passive Brain-Computer Interface for Supporting Gaze-Based Human-Machine Interaction. In C. Stephanidis & M. Antona (Eds.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion* (Vol. 8009, pp. 662–671). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from
- Ringbauer, B., Peissner, M., & Gemou, M. (2007). From “Design for All” Towards “Design for One” – A Modular User Interface Approach. In C. Stephanidis (Ed.), *Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity* (Vol. 4554, pp. 517–526). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from
- Spath, D., Peissner, M., & Sproll, S. (2010). Methods from Neuroscience for Measuring User Experience in Work Environments. In V. Rice (Ed.), *Advances in Understanding Human Performance* (Vol. 20105280, pp. 111–121). CRC Press.
- Vukelić, M., Bauer, R., Naros, G., Naros, I., Braun, C., & Gharabaghi, A. (2014). Lateralized alpha-band cortical networks regulate volitional modulation of beta-band sensorimotor oscillations. *NeuroImage*, 87, 147–153.
- Vukelić, M., & Gharabaghi, A. (2015). Oscillatory entrainment of the motor cortical network during motor imagery is modulated by the feedback modality. *NeuroImage*, 111, 1–11.
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767–791.
- Zander, T. O., Brönstrup, J., Lorenz, R., & Krol, L. R. (2014). Towards BCI-Based Implicit Control in Human-Computer Interaction. In S. H. Fairclough & K. Gilleade (Eds.), *Advances in Physiological Computing* (pp. 67–90). London: Springer London.
- Zander, T. O., & Jatzev, S. (2012). Context-aware brain-computer interfaces: exploring the information space of user, technical system and environment. *Journal of Neural Engineering*, 9(1), 016003.
- Zander, T. O., & Kothe, C. (2011). Towards passive brain-computer interfaces: applying brain-computer interface technology to human-machine systems in general. *Journal of Neural Engineering*, 8(2), 025005.
- Zander, T. O., Lehne, M., Ihme, K., Jatzev, S., Correia, J., Kothe, C., ... Nijboer, F. (2011). A Dry EEG-System for Scientific Research and Brain-Computer Interfaces. *Frontiers in Neuroscience*, 5, 53.
- Zich, C., De Vos, M., Kranczioch, C., & Debener, S. (2014). Wireless EEG with individualized channel layout enables efficient motor imagery training. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*.
- Zickler, C., Halder, S., Kleih, S. C., Herbert, C., & Kübler, A. (2013). Brain Painting: usability testing according to the user-centered design in end users with severe motor paralysis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 59 (2), 99–110.