

Selbstanlegbarkeit neuraler Exoskelette bei Halbseitenlähmung: Herausforderungen und Lösungen

Hans-Jürgen BUXBAUM¹, Surjo R. SOEKADAR², Sumona SEN¹, Marius NANN³

*¹Labor Human Engineering und Robotik, Hochschule Niederrhein
Reinarzstraße 49, D-47805 Krefeld*

*²Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Charité - Universitätsmedizin Berlin
Charitéplatz 1, D-10117 Berlin*

*³Applied Neurotechnology Lab, Eberhard Karls Universität Tübingen
Calwer Straße 14, D-72076 Tübingen*

Kurzfassung: Exoskelette, die direkt mit dem menschlichen Nervensystem interagieren, können die Autonomie und Lebensqualität von Menschen mit Behinderungen, beispielsweise nach einem schweren Schlaganfall oder einer Rückenmarksverletzung, substantiell verbessern. In diesem Beitrag wird der Entwicklungsstand geeigneter Exoskelette und Brain-Computer-Interfaces (BCI) zur neuralen Ansteuerung kurz dargestellt. Konkret wird die Entwicklung einer EEG-Haube für Menschen mit halbseitigen Lähmungen, z.B. durch Schlaganfall, beschrieben. Dabei stehen die einhändige Anlegbarkeit und Inbetriebnahme im Vordergrund der Gestaltung. Ein erster Prototyp der EEG-Haube aus 3D-Druck wird vorgestellt.

Schlüsselwörter: Exoskelett, EEG-Haube, Brain-Computer-Interface, Neurale Steuerung, Robotik

1. Einleitung

Jedes Jahr erleiden alleine in Deutschland hunderttausende Menschen einen Schlaganfall, der zu einem Verlust motorischer Funktionen führt (Busch et al. 2013). Entsprechend sind Schlaganfälle aktuell die führende Ursache für eine chronische Langzeitbehinderung im Erwachsenenalter. Oft sind die Einschränkungen so schwer, dass es für Betroffene nicht möglich ist, Alltagstätigkeiten wie Essen und Trinken ohne fremde Hilfe auszuführen (Kwakkel et al. 2003). Insbesondere der Verlust der Handfunktion führt zu erheblichen Einschränkungen im Alltag. Neben den Einbußen an Lebensqualität werden die direkten und indirekten (sozialen) Kosten im Zusammenhang mit Schlaganfällen und den daraus resultierenden Folgen allein in Deutschland auf über 10 Mrd. € jährlich geschätzt (Winter et al. 2008).

Es wird aufgrund der demographischen Entwicklung erwartet, dass die Zahl der Schlaganfall-Überlebenden mit schweren Handlähmungen in den kommenden Jahren zunehmen wird (Feigin et al. 2016). Die Wiederherstellung verlorener Handfunktionen ist daher ein wichtiges medizinisches, soziales und ökonomisches Ziel.

Derzeit existiert jedoch keine etablierte Möglichkeit oder Therapie, um die Handfunktion von Schlaganfallüberlebenden im Alltag wiederherzustellen.

2. Stand der Technik: Exoskelette und Brain-Computer-Interfaces

Exoskelette, die direkt mit dem menschlichen Nervensystem interagieren, können die Autonomie und Lebensqualität von Menschen mit Behinderungen substantiell verbessern, beispielsweise nach einem schweren Schlaganfall oder einer Rückenmarksverletzung (Soekadar & Nann 2020). Durch die direkte Übersetzung elektrischer, magnetischer oder metabolischer Hirnaktivität wird dabei eine aktive und intuitive Kontrolle von Greifbewegungen des Arm-Hand-Komplexes oder Laufbewegungen der Beine möglich. So wurde es Patienten mit kompletter Fingerlähmung ermöglicht, erstmals wieder selbstständig zu essen und zu trinken. Zudem konnte gezeigt werden, dass der wiederholte Einsatz solch neural-gesteuerter Exoskelette unter bestimmten Voraussetzungen auch zu einer Wiederherstellung verlorengegangener motorischer Funktionen führen kann. Um solche Systeme in die breite medizinische Versorgung zu integrieren, müssen jedoch noch eine Reihe wissenschaftlich-technischer sowie rechtlich-regulatorischer Herausforderungen gemeistert werden.

Die Technologie der Brain-Computer-Interfaces (BCI) hat in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte erzielt (Rao 2013). Hier sind insbesondere durch Open Source Projekte wie OpenBCI (OpenBCI 2020) neue Anwendungsbereiche erschlossen worden. In der Folge wurden BCI Systeme in einem breiten Applikationsspektrum verfügbar. BCI-Systeme sind nicht-invasive Systeme und funktionieren z.B. auf Basis der sog. Elektroenzephalographie (EEG), einer völlig risikolosen und verhältnismäßig kostengünstigen Technik. Hierbei wird die elektrische Aktivität des Gehirns von der Kopfoberfläche über entsprechende Elektroden abgeleitet. Der Einsatz dieser Technologie im Alltag ist jedoch, aufgrund der instabilen Signalqualität und der begrenzten Informationen, die aus solchen Signalen dekodierbar sind, mit besonderen Herausforderungen verbunden. So lässt sich derzeit im single trial, d.h. auf der Ebene der Echtzeitanalyse von EEG-Aktivität, typischerweise feststellen, ob eine Bewegungsabsicht, beispielsweise der Hand oder der Füße, vorliegt oder nicht. Aber welche Bewegung der Hand oder Finger im Einzelnen beabsichtigt wird, lässt sich derzeit nicht zuverlässig auslesen. Die Klassifikationsgenauigkeit liegt je nach Umgebungsbedingungen zwischen 60-90%. Im Umkehrschluss heißt dies, dass etwa 10-40% der Steuersignale falsch interpretiert werden und somit der Einsatz nicht-invasiver BMI zur Steuerung von Assistenzsystemen im Alltag noch sehr begrenzt ist. 2016 ist es jedoch erstmals gelungen, ein EEG-BCI-gesteuertes Hand-Exoskelett (ein sog. brain/neural hand exoskeleton, B/NHE) auch außerhalb des Labors zuverlässig einzusetzen. Dieses System ermöglichte Querschnittsgelähmten in einem Restaurant wieder selbstständig zu essen und zu trinken (Abbildung 1) (Soekadar et al. 2016).

3. EEG-Haube mit einhändiger Selbstanziehbarkeit

Neben den Systemen, die im Bereich der Forschung eingesetzt werden, werden in letzter Zeit auch deutlich kostengünstigere EEG-Systeme für den sog. Life-Style Bereich entwickelt. Auch dies ist eine Folge der populären OpenBCI-Projekte. Es zeigen sich jedoch oft große Schwächen in der Signalqualität sowie in der Flexibilität der Elektrodenmontage. Um Signalartefakte bei Kopfbewegungen zu vermeiden, erfordern alle EEG-Elektroden einen gewissen Anpressdruck. Die gängigen EEG-Systeme verwenden dazu meist eine elastische, textile Kappe. Eine solche Kappe kann allerdings von Halbseitengelähmten nicht selbstständig angelegt werden.

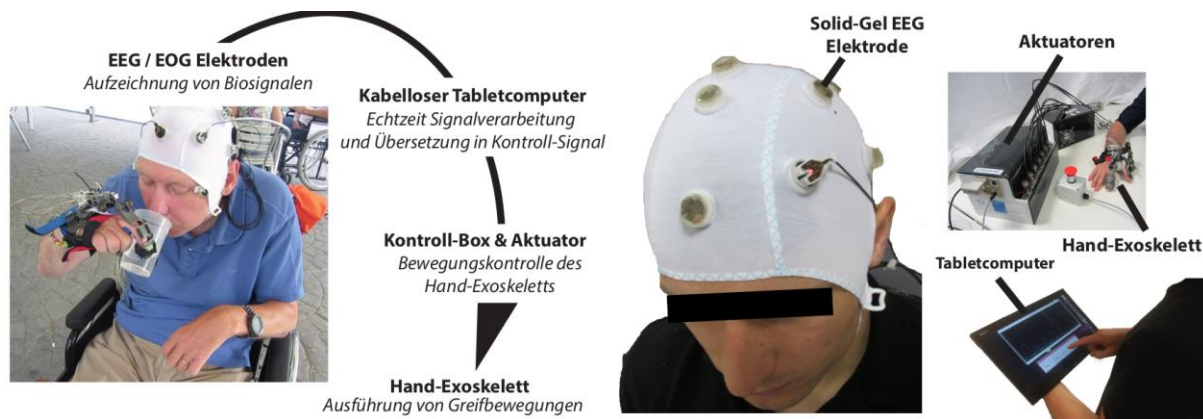


Abbildung 1: Hybride Steuerung eines Hand-Exoskeletts mittels Elektroenzephalographie und Elektrookulographie (EEG/EOG). EEG- und EOG-Signale werden an einen Tabletcomputer gesendet, der die aufgezeichneten Biosignale verarbeitet und in aktive Greifbewegungen des Hand-Exoskeletts übersetzt. Rechter Bereich: Das System besteht aus einem Solid-Gel-EEG-System, einem Tabletcomputer sowie einer Steuerbox mit integrierten Motoren.

Dieses Problem soll durch die Entwicklung eines speziellen Headsets, das mit EEG-Elektroden ausgestattet ist, gelöst werden. Die Herausforderung einer einhändigen Selbstanziehbarkeit eines solchen Headsets ist sinnvoll, da halbseitige Lähmungen, z.B. verursacht durch Schlaganfall, weitaus häufiger vorkommen als Querschnittslähmungen.

Die Patienten sollen also in die Lage versetzt werden, das EEG-Headset selbst anzulegen. Dafür kommt eine elastische Haube aus Stoff, wie sie in Abbildung 1 gezeigt ist, nicht in Frage. Diese bietet auf Grund ihrer biegeschlaffen Gestaltung und des textilen Werkstoffs nicht die notwendige Festigkeit für eine einhändige Selbstanziehbarkeit. Das Headset muss für diesen Zweck so gestaltet sein, dass es strukturstabil und robust gegen Verformungen ist, ein intuitives Anlegen ermöglicht und in jedem Fall korrekt positioniert wird.

Im Folgenden wird die Entwicklung einer EEG-Haube beschrieben und der Bau eines Prototyps mittels 3D-Druck. Anschließend werden erste Versuchsergebnisse aus einem Vorversuch mit der EEG-Haube kurz dargestellt. Der Vorversuch wird an der Universität Tübingen mit mehreren Patienten durchgeführt. Wesentliches Ziel des Vorversuchs ist es, Anregungen der Benutzer für die weitere Entwicklung der EEG-Haube zu erhalten.

4. Prototypenbau und erste Versuchsergebnisse

Für den ersten Prototypenbau wird zunächst eine Handzeichnung angefertigt, die den strukturellen Aufbau einer EEG-Haube visualisiert. Anhand relevanter Messungen von Kopfgeometrien von Probanden werden die Maße des Prototyps so bestimmt, dass für möglichst viele verschiedene Kopfformen eine gute Passung und der erforderliche Anpressdruck für die Elektroden erreicht werden kann. Der Entwurf wird durch ein Gipsmodell modelliert und im Anschluss an verschiedenen Köpfen verifiziert. Anschließend wird in einem CAD System ein 3D-Modell des Prototyps erstellt. Mit Hilfe eines 3D-Druckers wird das Modell additiv hergestellt und beurteilt.

Der Prozess vom Entwurf zu den Prototypen ist in Abbildung 2 dargestellt. Dieser wird iterativ wiederholt, um das Ergebnis zu verbessern.

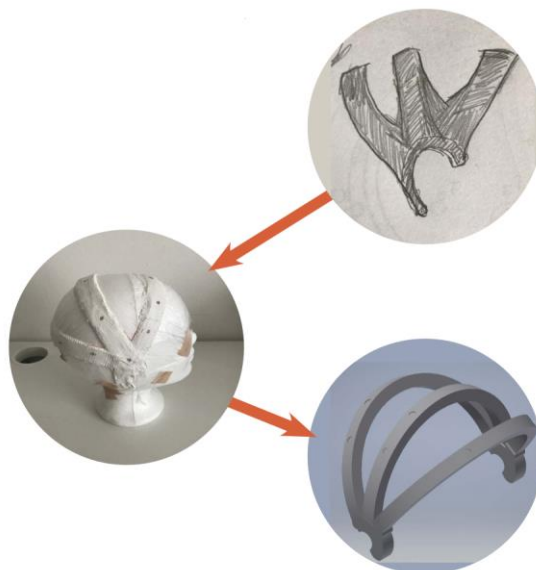


Abbildung 2: Prozess von der Entwurfszeichnung über ein Gipsmodell zum 3D-gedruckten Prototypen

Der Prototyp besteht im Wesentlichen aus drei Bögen, die über den Schädel von Ohr zu Ohr laufen. Die Bögen für den Prototypen werden aus einem festen Kunststoff (PLA) additiv hergestellt. Dabei weist die Struktur eine hohe Festigkeit bei geringer Verformbarkeit auf. Die Bögen sind dabei das gestaltungsrelevante Merkmal der EEG-Haube.

Die wesentliche Herausforderung bei der Konstruktion dieser drei Bögen liegt in einer guten Passung der montierten und eingestellten EEG-Haube auf unterschiedlichen Kopfgeometrien. Jeder Bogen erhält, aufgrund der iterativen Vorgehensweise, unterschiedliche Längen und Formen. Zudem werden Vorrichtungen für die Elektroden vorgesehen, deren Platzierung ist ebenfalls Gegenstand der iterativen Gestaltung. Tabelle 1 zeigt die Abmessungen der Bögen des Prototypens.

Tabelle 1: Abmessungen der Bögen des Prototypens

	Bogen 1	Bogen 2	Bogen 3
Länge	22 cm	22 cm	23,5 cm
Dicke	3 cm	2,5 cm	3 cm
Anzahl Elektroden	4	3	4
Position Elektroden (Abstand vom Rand rechts)	2 cm, 6 cm, 16 cm, 20 cm	3,5 cm, 11 cm, 18 cm	2 cm, 6,5 cm, 17 cm, 21 cm

Zusätzlich zu den 3 Bögen wird ein Handstück als Verbindungselement der drei Bögen und als Handgriff über den Ohren eingesetzt (Abbildung 3). Dieses Handstück wird vom Patienten als Griff verwendet, um die EEG-Haube selbstständig anzuziehen und zu positionieren. Die Positionierung dient dabei dazu, den notwendigen Anpressdruck der Elektroden zu gewährleisten, damit die Impedanz für die Signalübertragung in den Bereich kommt, der für eine funktionale Übertragung der EEG Signale geeignet ist. Zudem sind die Elektroden federnd gelagert, um in einem gewissen Rahmen individuelle Kopfgeometrien ausgleichen zu können.

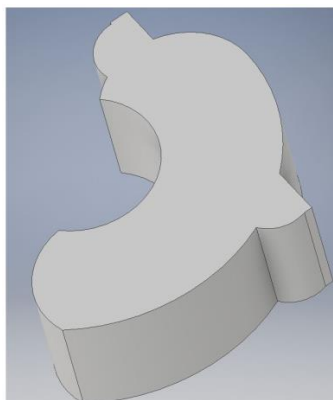


Abbildung 3: Handstück als 3D Modell in der CAD-Konstruktion

Der Prototyp der EEG-Haube wird in einem kleinen und nicht statistisch relevanten Vorversuch an der Universität Tübingen in Vortests an mehreren Probanden untersucht. Die Funktionalität der EEG-Erfassung kann verifiziert werden, die erforderlichen Impedanzen am Übergang der Elektroden liegen im Bereich der Spezifikation. In anschließenden Befragungen der Probanden werden Mängel hinsichtlich des Designs, der Alltagstauglichkeit und des Tragekomforts dokumentiert, die in folgenden Prototypentwicklungen Berücksichtigung finden sollen. Von der Zielgruppe gewünscht wird zukünftig eine weniger auffällige Konstruktion, die z.B. einem Kopfhörer ähnelt. Auch die Materialanmutung des Prototypens aus 3D-Druck wird kritisiert. Die Handhabbarkeit und die einhändige Selbstanziehbarkeit werden dagegen als gut bewertet.

5. Literatur

- Busch MA, Schienkiewitz A, Nowossadeck E, Gosswald A (2013) Prävalenz des Schlaganfalls bei Erwachsenen im Alter von 40 bis 79 Jahren in Deutschland: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland. In: Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, vol. 56, no. 5-6, pp. 656-660.
- Feigin VL, Roth GA, Naghavi M, Parmar P, Krishnamurthi R, Chugh S, Mensah GA, Norrving B, Shiue I, Ng M, Estep K, Cercy K, Murray CJL, Forouzanfar MH (2016) Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013," Lancet Neurol, vol. 15, no. 9, pp. 913-924.
- Kwakkel G, Kollen BJ, van der Grond J, Prevo AJ (2003) Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. Stroke, vol. 34, no. 9, pp. 2181-6.
- OpenBCI (2020) Open BCI Documentation. <https://docs.openbci.com>, Zugriff am 14.01.2020
- Rao RPN (2013) Brain-Computer Interfacing: An Introduction. Cambridge University Press.
- Soekadar SR, Nann M (2020) Neural-gesteuerte Robotik für Assistenz und Rehabilitation im Alltag. In: Buxbaum HJ (Hrsg.) Mensch-Roboter-Kollaboration. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Soekadar SR, Witkowski M, Gómez C, Opisso E, Medina J, Cortese M, Cempini M, Carrozza MC, Cohen LG, Birbaumer N, Vitiello N (2016) Hybrid EEG/EOG-based brain/neural hand exoskeleton restores fully independent daily living activities after quadriplegia. Science Robotics, Vol. 1, Issue 1, eaag3296.
- Winter Y, Wolfram C, Schoffski O, Dodel RC, Back T (2008) Langzeitkrankheitskosten 4 Jahre nach Schlaganfall oder TIA in Deutschland, Nervenarzt, vol. 79, no. 8, pp. 918-926.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de