

EEG-Trockenelektroden und ihre Anwendungen bei BCI-Systemen

Dry EEG-electrodes and their applications in BCI systems

Alexander Heilinger^{1,*}, Christoph Guger^{1,2}

¹ g.tec medical engineering GmbH, Sierningstraße 14, 4521 Schiedlberg, Österreich

² Guger Technologies OG, Herbertsteinstraße 60, 8020 Graz, Österreich

Eingegangen am 28. April 2019; akzeptiert am 2. Mai 2019

Online verfügbar seit 6. Mai 2019

Zusammenfassung

Gel-basierte Elektroden für die Encephalographie (EEG) haben einige Erschwernisse bei ihrer Applikation. Elektrodengel ist notwendig um die Impedanz zwischen den Elektroden und der Haut zu verringern. Die Haut muss für die Vorbereitung unter jeder Elektrode abgerieben werden, was auch unangenehm für den Probanden sein kann. Trockenelektroden bieten dabei eine gute Alternative. Sie können schnell und für den Probanden angenehm auf der Kopfhaut platziert werden. Eine besondere Anwendung von EEG-Elektroden findet sich in Brain-Computer Interfaces (BCI). BCI Systeme nutzen verschiedene EEG Signaltypen für ihre Steuerung und Bedienung: P300, Steady-State Visual evozierte Potentiale und Event-Related Desynchronisation. In diesem Artikel werden Trockenelektroden vorgestellt und mit Gel-basierten EEG Elektroden verglichen mit besonderen Fokus auf ihre Anwendung in BCI Systemen.

Schlüsselwörter: EEG; BCI; BMI; Trockenelektroden

Summary

Gel-based electrodes for encephalography (EEG) have some features hampering them in their application. Gel is needed to reduce the impedance between the EEG-electrode and the skin. The skin also need preparation. At the electrode locations the subject's skin requires abrasion for conventional EEG recordings. This could also be unpleasant for the subject. Dry EEG-electrodes are a good alternative, because they are quick to apply. A special field of application are brain computer interfaces (BCI). BCIs are using different features in the EEG signal: P300, steady-state visual evoked potentials and event-related desynchronization. This article compares dry electrodes and

*Korrespondenzadresse:.

E-mail: heilinger@gtec.at (A. Heilinger).

<https://doi.org/10.1016/j.neulab.2019.05.003>



gel-based electrodes in their application and their hardware with a special focus in BCI applications.

Keywords: EEG; BCI; BMI; Dry electrodes

1. Einleitung

Gel-basierte Elektroden für Electroencephalographie (EEG) haben einige Erschwernisse bei ihrer Applikation. Elektrodengel ist notwendig um die Impedanz zwischen den Elektroden und der Haut zu verringern. Die Haut muss für die Vorbereitung unter jeder Elektrode abgerieben werden, was auch unangenehm für den Probanden sein kann. Es bedarf auch zusätzlicher Reinigung der Kopfhaut, da nach den Messungen das Gel auch abgewaschen werden muss da es ansonsten nach einiger Zeit eintrocknet [4].

Das sind nur einige Einflussfaktoren, welche bei der Verwendung von EEG Elektroden eine Rolle spielen. Besonders wenn es um den Umgang mit Patienten geht, gewinnen diese besondere Bedeutung. Im klinischen Umfeld muss das Applizieren und die Verwendung dieser Elektroden schnell und ohne großen Aufwand erfolgen. Bei manchen Krankheitsbildern kommt es zu einer erhöhten Hautsensibilität, welches das Applizieren von Gel schmerzhaft gestaltet. Dies zeigt sich besonders in der Anwendung von Brain-Computer Interface (BCI) Systemen, wo die Patienten meistens für eine lange Zeit mit den Geräten verbunden sind.

BCI Systeme bieten eine Kommunikationsplattform für Patienten mit Bewegungseinschränkungen. Grundsätzlich führt der Benutzer eines BCI Systemes mentale Aufgaben durch, welche bestimmte Muster in der elektrischen Aktivität des EEG Signales erzeugen. Eine Software mit einer entsprechend implementierten automatischen digitalen Signalverarbeitung versucht diese Muster zu erkennen und zu extrahieren, damit diese für die Steuerung des Computers und somit für die Kommunikation benutzt werden können. Grundsätzlich gibt es dabei drei verschiedene Arten von mentalen Aufgaben, die in BCIs zum Einsatz kommen [12,p. 20]: Konzentrationsaufgaben welche sich auf seltene Stimuli beziehen, die ein sogenanntes P300 ereignisbezogenes Potential hervorrufen (Event-Related Potentials (ERP)); Konzentrationsaufgaben welche sich auf oszillierende visuelle Stimuli beziehen die sogenannte stationär visuell evozierte Potentiale hervorrufen (Steady-State Visual Evoked Potentials (SSVEP)) und Bewegungsvorstellungen, welches eine ereignisbezogene Desynchronisation über den motorkortikalen Arealen hervorrufen (Event-Related Desynchronization (ERD)) [1–3,6,8–10]. Speziell bei der Anwendung von BCIs ist es wichtig, den Zeitfaktor zu beachten da viele dieser mentalen Aufgaben einige Zeit in Anspruch nehmen.

Da Trockenelektroden den Vorbereitungsprozess um einiges verkürzen und erleichtern, gewinnen sie immer mehr an Bedeutung in der Anwendung von BCI Systemen, wie einige Studien zeigen [4,11]. In diesem Artikel wird der



Abbildung 1. Abbildungen von einer Gel-basierenden EEG Elektrode (g.Ladybird von g.tec) und einer Trockenelektrode (g.Sahara von g.tec).

momentane Stand von Trockenelektroden beschrieben und mit Gel-basierten Elektroden verglichen. Auf die Signalqualität, besonders in Hinblick auf ihre Anwendung in BCI Systemen, wird eingegangen.

1.1. Hardware von Trockenelektroden

Gel-basierte Elektroden besitzen einen gesinterten Kontakt aus Silber-Silberchlorid Krone für Gleichstromaufnahmen. Für die Datenaufnahme wird ein Elektrodengel benötigt, welches auf Wasserbasis hergestellt wird. Im Gegensatz dazu besitzen Trockenelektroden Pins in verschiedenen Längen, um auf die unterschiedlichen Haarlängen des Probanden zu reagieren. Typische Längen sind dabei 7 bzw 16 mm. Die Pins sind mit einer Goldschicht überzogen. In [Abbildung 1](#) sieht man beide Elektroden von der Firma g.tec medical engineering GmbH im Vergleich. Es existieren noch Hybrid Elektroden, die Eigenschaften von Gel- und Trockenelektroden miteinander vereinen. In der Literatur werden Trockenelektroden grundsätzlich in spitze, kapazitive, kontaktlose oder andere heterogene Ansätze unterteilt [7].

Beim spitzen Kontakt besitzt die Elektrodenoberfläche Stifte welche mit der Kopfhaut in Berührung kommen oder durch die subkutane Schicht stechen um eine höhere elektrische Leitfähigkeit und mechanische Fixierung zu erreichen. Diese Stifte können dabei im Nanometer-, Mikrometer- sowie Milimeterbereich liegen. Der große Nachteil dieser Methode ist, das natürlich die Stifte den Kontakt mit der Kopfhaut verlieren können. Manche Forscher gleichen diesen Nachteil aus, in dem sie kapazitive/kontaktlose Trockenelektroden benutzen. Ein anderer Nachteil ist der konstante Druck auf der Kopfhaut, welcher durch die Pins verstärkt wird und schon nach einiger Zeit ein unangenehmes Gefühl hinterlässt.

Moderne Vertreter dieser Trockenelektroden besitzen einen Verstärker auf der Elektrode. Aber auch diese Variante hat einige Nachteile: Die Höhe der Amplitude ist nicht so hoch wie bei den Elektroden mit spitzem Kontakt. Diese Elektroden besitzen eine sehr hohe Impedanz, welches durch einen Signalverstärker, welcher direkt auf der Elektrode sitzt, ausgeglichen werden muss.

Andere Ansätze beinhalten Elektroden welche aus einem elektrisch-leitfähigem Polymerschäum bestehen welcher mit einem leitfähigem Stoff umhüllt ist [5].

Der Schaum erlaubt eine Konformität zwischen der Elektrode und der Kopfhaut. Diese Trockenelektroden erlauben Langzeitmessungen, welche sie ideal für tägliche EEG Messaufgaben macht.

Im Allgemeinen ist noch anzumerken, das Trockenelektroden grundsätzlich empfindlicher auf Rauschen reagieren sowie empfindlicher gegenüber statischer Elektrizität und Bewegungen sind weshalb noch immer mehr Gelelektroden in der Praxis eingesetzt werden.

1.2. Trockenelektroden in BCIs

Hier wird auf die praktische Anwendung von Trockenelektroden bei BCI Messungen bzw. allgemeinen EEG-Messungen eingegangen. Grundsätzlich sind in BCI Messungen drei verschiedene Arten von mentalen Aufgaben relevant, welche man auch im EEG detektieren will: Konzentrationsaufgaben welche sich auf seltene Stimuli beziehen, die ein sogenanntes P300 ereignisbezogenes Potential hervorrufen (Event-Related Potentials (ERP)); Konzentrationsaufgaben welche sich auf oszillierende visuelle Stimuli beziehen die sogenannte stationär visuell evozierte Potentiale hervorrufen (Steady-State Visual Evoked Potentials (SSVEP)) und Bewegungsvorstellungen, welches eine ereignisbezogene Desynchronisation über den motorkortikalen Arealen hervorrufen (Event-Related Desynchronization (ERD)).

Dabei können die Trockenelektroden auf den frontalen, zentralen, okzipitalen und parietalen Regionen des Kopfes angebracht werden. Um die Effizienz im Umgang mit Patienten zu erhöhen können dabei die Trockenelektroden mit kabellosen Biosignalverstärkern verbunden werden. Die g.Sahara Elektroden können beispielsweise mit dem g.Nautilus (g.tec engineering GmbH) verbunden werden.

1.2.1. Vergleich in ERP-Paradigmen

Bei ERP und SSVEP Paradigmen wird versucht, durch digitale Signalverarbeitung evozierte Potentiale im EEG zu detektieren. Als erstes wird das Signal zwischen 0.5-30 Hz gefiltert. Danach wird das EEG in gleichgroße Zeitintervalle geteilt, welche man als Trials bezeichnet, und durch Mittelungsverfahren wird versucht, diese Potentiale im gemittelten EEG Signal zu erfassen. Besonders die zentralen Elektrodenpositionen, wie zb die CZ Position, sind dabei interessant.

In [Abbildung 2](#) ist eine P300 Welle abgebildet, jeweils mit einer Gel-Elektrode und Trockenelektrode an der CZ Position aufgenommen. Wie man sehen kann gibt es hierbei keine merklichen Qualitätsunterschiede in der Zeit sowie in der Höhe der Amplitude.

1.2.2. Vergleich während Bewegungsvorstellungen

Während Bewegungsvorstellungen wird versucht, ERD über den motorkortikalen Arealen zu messen. Hierbei wird das Signal zwischen 0.5-30 Hz gefiltert. Dabei wird die Bandleistung im Bereich 2-6 Sekunden nach dem Beginn der Bewegungsvorstellung gegen ein Referenzintervall, welches 2 Sekunden vor der

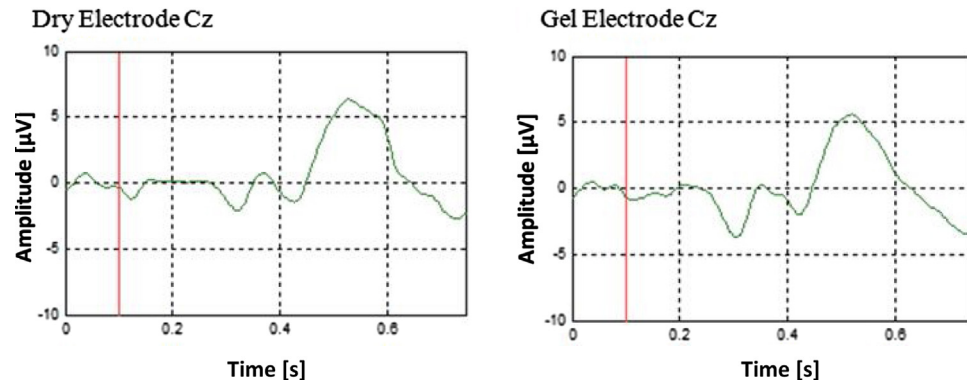


Abbildung 2. Unterschiede bei der P300 Welle. In dem Graphen ist auf der vertikalen Achse die Amplitude in μV angegeben. Auf der horizontalen Achse ist die Zeit in Sekunden angegeben.

Bewegungsvorstellung liegt, verglichen. Falls es zu einer Reduktion der Bandleistung kommt, wird dieser Abfall farblich in sogenannten ERD-Plots dargestellt, welche die Bandleistung in gewissen Frequenzbändern über die Zeit darstellen. In [Abbildung 3](#) wurden hier auch Trockenelektroden mit Gelelektroden verglichen.

1.2.3. Trockenelektroden in der Praxis

Da die Signalqualität von Trockenelektroden vergleichbar ist zu Gelelektroden, finden sie auch Anwendung in BCI Applikationen. Auf Grund der einfachen und schnellen Handhabung werden sie auch in klinischen Szenarien mit Patienten verwendet. Besonders bei dieser Benutzergruppe ist Zeit ein essentieller Faktor. Die Dauer für solch eine Messung ist dabei individuell und von dem Zustand des Patienten abhängig da Patienten andere Tagesabläufe haben, auf welche individuell eingegangen werden muss.

In der Praxis sieht eine Messung mit einem BCI System im klinischen Umfeld folgendermaßen aus: Ein BCI System besteht aus einem Biosignalverstärker, einer EEG-Haube mit 16 Kanälen. Des weiteren werden Kopfhörer verwendet, welche dem Patienten angelegt werden und sogenannte Vibrotaktoren. Dies sind kleine Stäbe, welche auf den Handgelenken angebracht werden und Vibrationen in einem regelmäßigen Interval an den Patienten weiterleiten. Am Anfang eines Messvorganges wird dem Patienten erklärt, wie der weitere Messvorgang verlaufen wird. Danach werden die Vibrotaktoren sowie die EEG-Haube angebracht. Hier kommt der Vorteil der Trockenelektroden zum tragen: Es wird sehr viel Zeit gespart in dem man eine Trockenhaubeelektroden auf dem Kopf platziert und sofort mit den Messungen beginnen kann. Als erstes werden evozierte Potentiale gemessen, welche mit einem auditorischen Stimulus hervorgerufen werden. Danach folgt eine Messung, bei dem vibro-taktil evozierte Potentiale verwendet werden. Mit diesem Paradigma wird auch versucht, eine Kommunikation mit dem Patienten aufzubauen. Dabei wird untersucht, ob sich der Patient auf Vibrationen auf dem linken bzw. rechten Handgelenk konzentrieren kann. Die Handgelenke werden danach mit Antwortmöglichkeiten („Ja“/„Nein“) verbunden. Dieses Verfahren ist auch mit Hilfe der Bewegungsvorstellung möglich. Die Vorstellung, dass jeweils die linke oder die rechte Hand bewegt wird, wird mit einer „Ja“ bzw „Nein“ Antwort auf Fragen gleichgesetzt.

2. Zusammenfassung

Der Fortschritt in der Entwicklung von Trockenelektroden zeigt eine neue spannende Möglichkeit in ihrer klinischen Anwendung auf. Brain-Computer Systeme würden es mit Hilfe von Trockenelektroden erlauben, effizient und einfach Messungen an Patienten durchzuführen. Da es noch Probleme hinsichtlich des Rauschens, der Empfindlichkeit gegenüber statischer Elektrizität und Bewegungen gibt sowie Unannehmlichkeiten bei zulänglichem Tragen werden heutzutage noch immer mehr Gelelektroden eingesetzt. Mehr Forschung in diesem Bereich ist notwendig damit Trockenelektroden equivalent zu Gelelektroden werden.

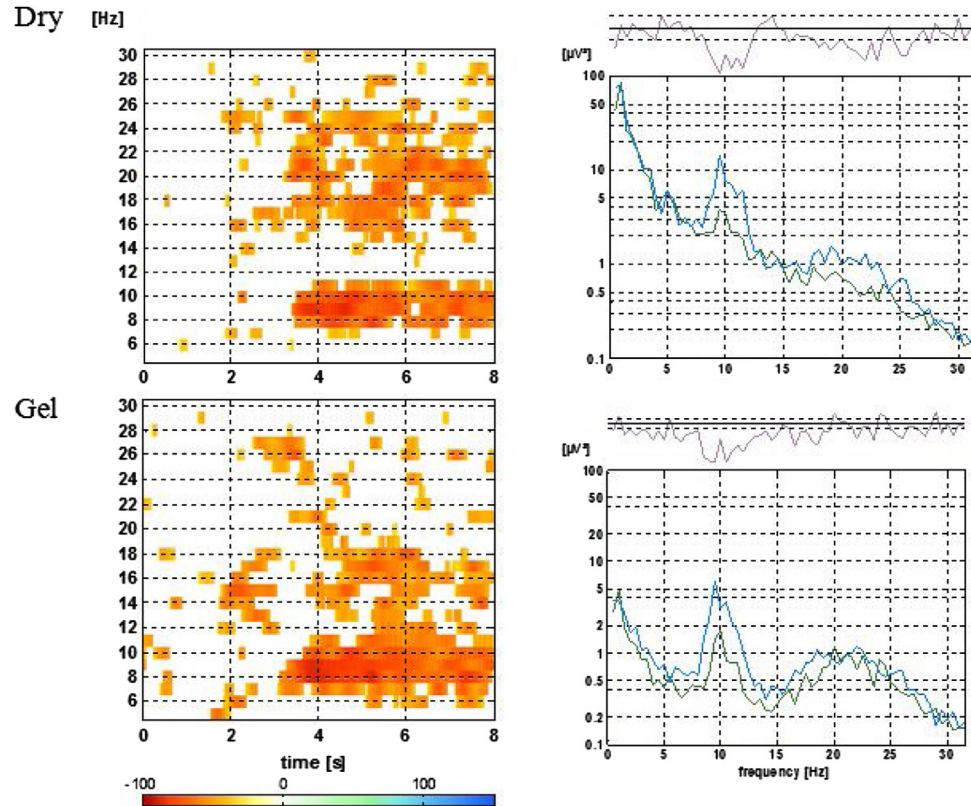


Abbildung 3. ERD Maps von der C3 Elektrodenposition während der Bewegungsvorstellung der rechten Hand für Trocken (oben) und Gel-basierte Elektroden (unten). Beide zeigen ein starkes ERD im Alphabereich des EEG Frequenzspektrums zwischen Sekunde 3,5 und 8. Rechts: Frequenzkomponenten des Referenzintervalls (0-2s, blau) und aktiven Intervalls (6-8s, grün) von C3. Der Graph über den Frequenzkomponenten zeigt signifikante Änderungen wenn die Linie die gepunktete Linie überzieht ($p < 0.05$).

Interessenkonflikt

Der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Literatur

- [1] O. Friman, I. Volosyak, A. Graser, Multiple Channel Detection of Steady-State Visual Evoked Potentials for Brain-Computer Interfaces, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 54 (4) (Apr 2007) 742–750.
- [2] C. Guger, G. Edlinger, W. Harkam, I. Niedermayer, G. Pfurtscheller, How many people are able to operate an EEG-based brain-computer interface (BCI)? *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *IEEE Transactions on* 11 (2) (2003) 145–147.
- [3] C. Guger, et al., How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)? *Neuroscience Letters* 462 (1) (Sep 2009) 94–98.
- [4] W. Ko, J. Hyncecek, Dry electrodes and electrode amplifiers, in: *Biomedical electrode technology*, Academic Press, New York, 1974.
- [5] Chin-Teng Lin, Lun-De Liao, Yu-Hang Liu, I-Jan Wang, Bor-Shyh Lin, and Jyh-Yeong Chang, “Novel Dry Polymer Foam Electrodes for Long-Term EEG Measurement,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 5, pp. 1200–1207, May 2011.
- [6] C. Lin, B. Wang, N. Jiang, R. Xu, N. Mrachacz-Kersting, D. Farina, Discriminative Manifold Learning Based Detection of Movement-Related Cortical Potentials, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* PP (99) (2016), 1–1.
- [7] M. Lopez-Gordo, D. Sanchez-Morillo, F. Valle, Dry EEG Electrodes, *Sensors* 14 (7) (Jul 2014) 12847–12870.
- [8] C. Neuper, R. Scherer, S. Wriessnegger, G. Pfurtscheller, Motor imagery and action observation: Modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a brain-computer interface, *Clinical Neurophysiology* 120 (2) (Feb 2009) 239–247.
- [9] R. Ortner, B.Z. Allison, G. Korisek, H. Gaggl, G. Pfurtscheller, An SSVEP BCI to Control a Hand Orthosis for Persons With Tetraplegia, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 19 (1) (Feb 2011) 1–5.
- [10] G. Pfurtscheller, C. Brunner, A. Schlögl, F.H. Lopes da Silva, Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks, *NeuroImage* 31 (1) (May 2006) 153–159.
- [11] B.A. Taheri, R.T. Knight, R.L. Smith, A dry electrode for EEG recording, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 90 (5) (May 1994) 376–383.
- [12] J.R. Wolpaw, N. Birbaumer, D.J. McFarland, G. Pfurtscheller, T.M. Vaughan, Brain-computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology* 113 (6) (Jun 2002) 767–791.