

## Untersuchungsdesign zur Testung der Gebrauchstauglichkeit gelfreier EEG-Registrierungssystemen

Thea RADÜNTZ, Friederice SCHRÖDER, Gerhard MENZEL, Ralph BLÜTHNER

*Gr. 3.4 Mentale Gesundheit und kognitive Leistungsfähigkeit,  
FB Arbeit und Gesundheit, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Nöldnerstr. 40/42, D-10317 Berlin*

**Kurzfassung:** Zur Identifizierung von Fehlbelastungen kann die Messung der psychischen Beanspruchung einen wesentlichen Beitrag liefern, insbesondere wenn ihre Erfassung direkt da ansetzt, wo die menschliche Informationsverarbeitung stattfindet. Mobile Systeme zur Elektroenzephalographie (EEG) ermöglichen mittlerweile ihren Einsatz außerhalb des Labors, unklar sind jedoch die Signalqualität und der Tragekomfort der neuen Geräte.

Der Beitrag beschreibt das Untersuchungsdesign der Gebrauchstauglichkeitstestung von EEG-Registrierungssystemen für den mobilen Feldeinsatz. Untersucht werden sechs auf dem Markt erhältliche gelfreie EEG-Registrierungssysteme sowie als Referenzsystem ein klassisches Gelelektrodensystem.

Die Untersuchung bildet folglich eine nötige Voraussetzung für zukünftige Feldexperimente sowie einen Einsatz im realen Arbeitsumfeld.

**Schlüsselwörter:** EEG, Systemvergleich, Gebrauchstauglichkeitstestung, Benutzerfreundlichkeit, Usability, psychische Beanspruchung

### 1. Einleitung

Die langfristigen Folgen von psychischer Fehlbeanspruchung stellen ein beträchtliches Problem unserer modernen Gesellschaft dar (Debitz et al. 2003; May & Baldwin 2008; Parasuraman et al. 1994; Hacker & Richter 1984). Zur Identifizierung derartiger Fehlbelastungen kann die objektive, kontinuierliche Messung der psychischen Beanspruchung einen wesentlichen Beitrag liefern.

Die Analyse physiologischer Signale bietet die Möglichkeit zur kontinuierlichen Messung der psychischen Beanspruchung. Oft benutzte physiologische Beanspruchungsindikatoren beruhen z.B. auf der Aktivität des Gehirns, des Herz-Kreislauf-Systems, des visuellen Systems sowie auf der elektrodermalen Aktivität. Das Hauptproblem stellt dabei die Akzeptanz der Messtechniken dar, die zur Signalableitung eingesetzt werden. Diese Techniken können in qualitativer oder quantitativer Hinsicht zu Beeinträchtigungen und zu einer Reduktion der *compliance* beim Probanden führen. Bei einem Einsatz im Feld sollte folglich die Akzeptanz der eingesetzten Messtechnik bekannt sein.

Ein Vorteil der Beanspruchungsmessung anhand der Elektroenzephalographie ist, dass die Erfassung der psychischen Beanspruchung direkt da ansetzt, wo die menschliche Informationsverarbeitung stattfindet, nämlich am Gehirn. Bisweilen war die EEG-Registrierung jedoch mit Problemen behaftet, welche ihren Einsatz im Feld erschwerten. Diese Probleme ergeben sich aus der Artefaktanfälligkeit des Signals

und verlangen stark kontrollierte Bedingungen (z.B. abgeschirmte Labore). Ihren Einsatz in der Praxis erschweren auch die Applikation der Gelelektroden und die Verkabelung der Probanden.

Neueste Entwicklungen in der Sensortechnologie und der Messalgorithmik erlauben jedoch mittlerweile eine kabellose, gelfreie und kostengünstige EEG-Registrierung auch außerhalb des Labors. Die Signalübertragung vom Sensor-Headset zum PC erfolgt dabei meistens über Bluetooth. Die EEG-Registrierungssysteme bestehen aus innovativen Sensoren, kleinen Verstärker und Hardware sowie Registrierungssoftware. Die gelfreien EEG-Elektroden stellen eine ganz neue Technologieentwicklung dar, die eine einfache und schnelle Applikation erlaubt. Diese kann auch vom Probanden selbst vorgenommen werden. Dadurch entfallen die zeitaufwändige Probandenvorbereitung (z.B. Elektrodenapplikation) durch einen Versuchsleiter zu Beginn des Experiments und die Nachbereitung (z.B. Haare-Waschen) am Ende. Prototypen existieren bereits. Diese müssen jedoch vor dem Einsatz in einer Felduntersuchung bezüglich ihrer Artefaktanfälligkeit und ihres Komforts überprüft werden.

Langjährige Forschung in den USA bei der Analyse des Elektroenzephalogramms (Gundel & Wilson 1992; Berka et al. 2007; Lei et al. 2009; Lei & Rötting 2011; Kohlmorgen et al. 2007; Wilson 2001, 2002) sowie Ergebnisse aus zahlreichen EEG-Studien als auch eigene Vorarbeiten (Radüntz 2015; Radüntz et al. 2015) bilden darüber hinaus eine solide Grundlage zur Entwicklung einer Methode zur kontinuierlichen Ermittlung der Beanspruchung anhand des EEGs. Die Elektroenzephalographie zeichnet sich als ein erfolgsversprechender Weg zur kontinuierlichen Bewertung der psychischen Beanspruchung ab und ihre praxisrelevante Nutzung ist erfolgsversprechend, wenn sie mit dem neuartigen Zugangsweg der gelfreien EEG-Registrierung und drahtloser Signalübertragung kombiniert werden kann.

Dafür muss die Anwendung Kriterien erfüllen, die ihren Einsatz in die Praxis gewährleisten. Diese beziehen sich auf den Tragekomfort, die Handlichkeit und das Design des Registrierungssystems. Eine Prüfung dieser Kriterien bei den momentan marktfähigen Geräten ist folglich essentiell zur Bewertung der Benutzerfreundlichkeit und der Akzeptanz durch den Nutzer.

## 2. Methode

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden die sieben auf den Markt momentan erhältlichen EEG-Registrierungssysteme überprüft. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die technischen Eigenschaften der Geräte.

Aufgrund der Tatsache, dass das frontale Theta ein guter Beanspruchungsindikator ist, werden sowohl einfachere Elektrodensets wie auch komplexere EEG-Registrierungssysteme in der Untersuchung berücksichtigt (Abbildung 1). Ferner, ist das g.tec Ladybird ein klassisches, gelbasiertes System, das jedoch aufgrund kabelloser Signalübertragung und aktiver Elektroden für den mobilen Einsatz geeignet ist. Es dient als Referenzsystem bzgl. der Signalqualität.

Neben der Überprüfung der Artefaktanfälligkeit der Systeme sind Vergleiche bzgl. der Applikationszeit bei der Probandenvorbereitung, des Lernaufwands für die Benutzung, der Praktikabilität, der Tragedauer und des Komforts und damit der Akzeptanz der verschiedenen EEG-Registrierungssysteme vorgesehen.

Angestrebt wird die Identifikation des Systems, das mit den geringsten

Beeinträchtigungen verbunden ist. Durch die Verringerung von Nebeneffekten bei der EEG-Registrierung wird eine gute Qualität der Ergebnisse sichergestellt.

**Tabelle 1:** Die sieben zu untersuchenden mobile EEG-Systeme und ihre technischen Spezifikationen.

Hersteller/ System	Elektroden- art	Ableitungen	Messdauer	Bandweite	Abtastrate
<b>g.tec LADYbird</b>	Gel	16	10 h	0.1 Hz - k.A.	500 Hz
<b>g.tec Sahara</b>	Pins (trocken)	16	10 h	0.1 Hz - 40 Hz	500 Hz
<b>Emotive EPOC</b>	Saline	14	12 h	0.16 Hz - 43 Hz	2048 Hz
<b>Mindo 32 Trilobite</b>	Federstift/ Schaumstoff (trocken)	32	10 h	0.23 Hz - k.A.	500 Hz
<b>Mindo 4S Jellifish</b>	Federstift/ Schaumstoff (trocken)	4	10 h	0.23 Hz - k.A.	500 Hz
<b>BRI BR 8 plus</b>	Federstift/ Schaumstoff (trocken)	8	11 h	0.12 Hz - 125 Hz	1000 Hz
<b>mindTec MindCap</b>	trocken	1	7-8 h	3 Hz - 100 Hz	512 Hz



**Abbildung 1:** Die in der Studie benutzten EEG-Systeme (von links oben nach rechts): Ladybird, Sahara, EPOC, Trilobite, Jellyfish, BR 8 plus und MindCap.

Die Versuche sollen in einer realen Büro-Umgebung erfolgen, in der keine Abschirmung der Umwelt-Störsignale gegeben ist. Wichtige Aspekte der Gebrauchstauglichkeit sind die Akzeptanz, die Praktikabilität und die Interferenzfreiheit der Geräte. Diese werden über entsprechende Fragebögen sowohl vom Proband als auch vom Versuchsleiter erhoben.

Die Untersuchung findet an neun aufeinander folgenden Werktagen statt. Der tägliche Zeitbedarf dafür beträgt ca. 90 Minuten. Es handelt sich um eine Untersuchung mit Messwiederholungsdesign, d.h. jeder Proband bewertet pro Tag ein System.

Am ersten Versuchstag werden die Systeme dem Probanden vorgestellt, der Versuchsablauf besprochen, die verschiedenen Tests geübt, Organisationsfragen geklärt sowie die Anamnese-Checkliste durchgegangen.

An den Folgetagen werden die EEG-Systeme in randomisierter Reihenfolge einzeln getestet und bewertet. Am neunten Untersuchungstag werden dann alle EEG-Systeme im Rahmen eines Paarvergleichs bewertet und in eine Rangordnung aus Sicht des Probanden gebracht. Die Zuordnung der Personen zu den verschiedenen Reihenfolgen bei den paarweisen Gerätebeurteilungen (gemäß Ross 1934) dient der Kontrolle möglicher Sequenz-/Transfereffekte durch vorausgehende Urteile und der Erhöhung der Güte (Validität) in der Datenerhebung.

Während der siebentägigen Einzelbewertung der Systeme kommen Items zur Akzeptanz, zur Alltagstauglichkeit, zur Tragedauer und Tragekomfort sowie zum individuellen Befinden vor, die mittels Fragebögen vorgelegt werden. Ferner werden zu verschiedenen Zeitpunkten der Untersuchung die Lästigkeit bzw. das Druckempfinden, die Anstrengung zur Aufgabenbewältigung sowie das aktuelle Befinden durch intermodale Vergleiche (Schust et al. 2010) erhoben. Darüber hinaus, hält der Versuchsleiter nach jeder Sitzung fest, ob es zu Systemabstürzen kam, ob die Applikation der Elektroden problemlos verlief und wie die während der Messung visuell beobachtete Signalqualität war.

Bei einer Gruppe, die sieben Geräte testet, würde für einen Mittelwertvergleich in einer ANOVA mit Messwiederholung (within-factors-design) bei einer Teststärke von 0.95, einem  $\alpha$ -Fehler-Niveau von 0.05 und einer Effektstärke  $f=0.28$  eine Stichprobengröße von  $N=21$  erforderlich sein.

Die Evaluation der Signalqualität erfolgt schließlich offline. Das Signal jeder Elektrode wird auf Artefaktsegmente überprüft und die Signalqualität u.a. anhand des Signal-Rausch-Verhältnis evaluiert.

### **3. Fazit und Ausblick**

Auf Grundlage der Ergebnisse aus der Untersuchung zur Testung der Gebrauchstauglichkeit gelfreier EEG-Registrierungssystemen erfolgt schließlich die Auswahl eines Registrierungssystems, das bei realitätsnahen Untersuchungen eingesetzt werden kann.

In Folgeprojekten ist ein System-Prototyp, bestehend aus dem ausgewählten EEG-Registrierungssystem und einer echtzeitfähigen Implementierung einer Signalverarbeitungs-Toolbox zur Beanspruchungsermittlung, zu entwickeln und unter verschiedenen Praxisanwendungen in weiteren Versuchsreihen zu testen und zu evaluieren.

Die dadurch ermöglichte objektive Bewertung von informationsintensiven Mensch-Maschine-Anwendungen mittels kontinuierlicher Beanspruchungsmessung ist u.a. für

die Ermittlung von Schwellenwerten sowohl für die Forschung als auch für die Praxis relevant.

Die methodischen Vorarbeiten und Ergebnisse der Untersuchung bilden folglich nötige Voraussetzungen für zukünftige Feldexperimente und den Einsatz im realen Arbeitsumfeld.

#### 4. Literatur

- Berka C, Levendowski DJ, Lumicao MN, Yau A, Davis G, Zivkovic VT, Olmstead RE, Tremoulet PD, Craven PL (2007) EEG Correlates of Task Engagement and Mental Workload in Vigilance, Learning, and Memory Tasks. In: *Aviat Space Environmental Medicine* 78(5, Suppl.), S. B231-B244
- Debitz U, Gruber H, Richter G (2003) Psychische Gesundheit am Arbeitsplatz. Teil 2: Erkennen, Beurteilen und Verhüten von Fehlbeanspruchungen. Bd. 2. 3. InfoMediaVerlag
- Gundel A, Wilson GF (1992) Topographical Changes in the Ongoing EEG Related to the Difficulty of Mental Tasks. In: *Brain Topography* 5, S. 17-25
- Hacker W, Richter P (1984) Psychische Fehlbeanspruchung. Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Stress (Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen). Bd. 2. 2. Berlin: Springer
- Kohlmorgen J, Dornhege G, Braun ML, Blankertz B, Müller KR, Curio G, Hagemann K, Bruns A, Schrauf M, Kincses WE (2007) Improving Human Performance in a Real Operating Environment through Real-Time Mental Workload Detection. In: Dornhege G, Millán RJ del, Hinterberger T, McFarland D, Müller KR (Hrsg.): *Towards Brain-Computer Interfacing*, MIT Press, Cambridge, S. 409-422
- May JF, Baldwin CL (2008) Driver Fatigue: The Importance of Identifying Causal Factors of Fatigue when Considering Detection and Countermeasure Technologies. In: *Transportation Research Part F* 12, S. 218-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2008.11.005>. – DOI 10.1016/j.trf.2008.11.005. – Last accessed on 2011-11-03
- Lei S, Welke S, Rötting M (2009) Representation of Driver's Mental Workload in EEG Data. In: Waard D de, Godthelp J, Kooi FL, Brookhuis KA (Hrsg.): *Human Factors, Security and Safety*. Shaker Publishing, S. 285-294
- Lei S, Rötting M (2011) A Model for Online Mental Workload Detection using EEG Signal. In: Schmid S, Elepfandt M, Adenauer J, Lichtenstein A (Hrsg.); Zentrum Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin (Veranst.): *Reflexionen und Visionen der Mensch-Maschine Interaktion - Aus der Vergangenheit lernen, Zukunft gestalten*. Berlin: VDI, (22 33), S. 204
- Parasuraman R, Mouloua M, Molloy R (1994) Monitoring Automation Failures in Human Machine Systems. In: Mouloua M, Parasuraman R (Hrsg.): *Human Performance in Automated Systems: Current Research and Trends*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 45-49
- Radüntz T, Scouten J, Hochmuth O, Meffert B (2015) EEG artifact elimination by extraction of ICA-component features using image processing algorithms. *Journal of Neuroscience Methods*, 243(30), doi:10.1016/j.jneumeth.2015.01.030, S. 84-93.
- Radüntz T (2015) Kontinuierliche Bewertung psychischer Beanspruchung an informations-intensiven Arbeitsplätzen auf Basis des Elektroenzephalogramms. Eingereichte Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik, Berlin.
- Ross RT (1934) Optimum orders for the presentation of pairs in the method of paired comparisons. *The Journal of Educational Psychology*, Vol. 25, S. 375-382
- Schust M, Blüthner R, Seidel H, Barth R, Hoffmann O (2010) INMOVE - ein universelles Programm für Intermodale Vergleiche und Wahl-Reaktions-Aufgaben, *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Ergonomia GmbH u. Co. KG* (Hrsg.), GRIN Verlag, ISBN 9783640710614
- Wilson GF (2001) In-flight Psychophysiological Monitoring. In: Fahrenberg F, Myrtek M (Hrsg.): *Progress in Ambulatory Monitoring*. Hogrefe and Huber, S. 435-454
- Wilson GF (2001) Psychophysiological Test Methods and Procedures. In: Charlton SG, O'Brien TG (Hrsg.): *Handbook of Human Factors Testing and Evaluation*, Lawrence Erlbaum Associates, S. 127-156



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!**

62. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

RWTH Aachen University  
Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)

2. – 4. März 2016

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 62. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 2. – 4. März 2016, RWTH Aachen University, Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2016  
ISBN 978-3-936804-20-1

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) 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.

USB-Print: Markus Harlacher, Aachen

**Screendesign und Umsetzung**

© 2016 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)