

Ermüdung oder Langeweile? Was zeigt uns Alpha-Aktivität im EEG?

Edmund WASCHER, Melanie KARTHAUS, Tina MÖCKEL, Stephan GETZMANN

*IfADo – Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

Kurzfassung: Veränderungen im Spektrum des EEG gelten seit langer Zeit als verlässlicher Indikator für mentale Ermüdung und werden daher immer wieder als Messvariable für die Überwachung des Nutzerzustandes in angewandten Kontexten vorgeschlagen. Vor allem die Zunahme der Aktivität in langsamen Frequenzbändern und hier besonders im Alpha Band gilt als guter Parameter zur Einschätzung von Ermüdung. Wir überprüften diese These in einer ermüdenden Fahraufgabe, bei der Probanden fast zwei Stunden eine gerade Strecke mit variierendem Seitenwind fahren mussten. Zwar nahm die Alpha-Aktivität generell mit der Fahrzeit zu, variierte aber auch mit der Streckenschwierigkeit. Je schwieriger der Fahrtabschnitt war, umso geringer fiel die Alpha-Aktivität aus. Die Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit und vor allem die Richtung des Effektes deuten darauf hin, dass eher Langeweile als Ermüdung die Ursache für die Zunahme an Alpha-Aktivität darstellt. Dies wird durch einen Pilotversuch bestärkt, in dem ein Proband fast vier Stunden lang ein hoch komplexes Computerspiel spielte und die Alpha-Aktivität dabei durchgängig unterdrückt war.

Schlüsselwörter: mentale Ermüdung, Nutzerzustand, EEG, Alpha-Aktivität

1. Einleitung

Langanhaltende mentale Tätigkeit führt zu einer Abnahme kognitiver Leistungsfähigkeit, die als „mentale Ermüdung“ bezeichnet wird. Mental ermüdete Personen zeigen eine erhöhte Ablenkbarkeit (Lorist et al., 2000) und neigen dazu, Handlungsfehler zu begehen (van der Linden, Frese, & Meijman, 2003). In vielen arbeitsrelevanten Kontexten (z.B. Fahrzeugführung oder Überwachungstätigkeiten) entsteht dadurch ein erhöhtes Unfallrisiko. Diesen Zustand frühzeitig zu erkennen ist daher ein erklärtes Ziel der Arbeitsforschung.

Eine Überwachung des Nutzerzustandes muss minimal invasiv sein und so gestaltet, dass der Nutzer nicht in seiner Tätigkeit behindert wird. Aus diesem Grund bieten sich dafür psychophysiologische Maße an, die unbemerkt vom Nutzer körperliche Veränderungen messen von denen man hofft, dass sie die kognitive Leistungsfähigkeit abbilden. In den letzten beiden Dekaden hat sich in diesem Zusammenhang vor allem das EEG und hier vor allem die Alpha-Aktivität (rhythmische Oszillationen in einem Frequenzbereich zwischen 8 und 12 Hz) als vielversprechendes Maß herauskristallisiert (Lal & Craig, 2001a; 2005).

In einer Reihe von Studien konnte gezeigt werden, dass die Alpha-Aktivität nach längerer mentaler Belastung deutlich erhöht ist (Aeschbach et al., 1997). Diese, in der Anwendung stark etablierten Befunde widersprechen jedoch einer Reihe von

Grundlagenstudien, die eher von einem Abfall des Alpha bei mentaler Ermüdung sprechen (Klimesch, 1999). Verstärkt wird dieser Zweifel durch eine aktuelle Studie (Wascher et al., 2014) in der wir zeigen konnten, dass Alpha- nur zu Beginn eines Langzeitexperimentes ansteigt und dann für bis zu drei Stunden stabil bleibt.

Daraus haben wir die Hypothese abgeleitet, dass Alpha-Aktivität eher ein Korrelat der Langeweile als eines der Ermüdung (im Sinne des Verbrauchs von mentalen Ressourcen) sein könnte. In einem aktuellen Langzeitexperiment führen dazu Probanden in einem Fahrsimulator eine Strecke mit dauernd wechselnden Anforderungen. Wenn ein Anstieg der Alpha-Aktivität mit Ermüdung in Zusammenhang steht, dann sollte dieser in schwierigen Streckenabschnitten besonders stark ausfallen. Handelt es sich bei der Alpha-Aktivität hingegen um ein Korrelat der Langeweile, dann sollte der Effekt genau umgekehrt sein.

2. Methoden

2.1 Versuchspersonen

15 junge Probanden (21-28 Jahre, mittleres Alter =24.2 Jahre, SD=2.2) nahmen an dem Fahrversuch teil.

2.2 Versuchsaufbau

Die Versuchspersonen mussten in einem Fahrsimulator einer geraden Strecke folgen und dabei das Fahrzeug möglichst mittig auf der Straße halten. Dabei wurde das Fahrzeug in unvorhersehbarer Weise durch Seitenwind zur Seite gedrückt. In drei Stufen lag entweder kein Wind vor (leicht), mittlerer Wind (mittel) oder starker Wind (schwer). Die Ablenkung war randomisiert auf vier Blöcke verteilt und die Fahrt dauerte annähernd zwei Stunden. Während der gesamten Fahrt hörten die Probanden hohe und tiefe Töne im Abstand von 1 Sekunde, die nicht für die Aufgabe relevant waren. Für die vorliegenden Analysen dienten diese Töne lediglich zur Segmentierung der EEG Daten.

2.2 Datenerhebung und Auswertung

Das EEG wurde an 64 gleichmäßig über den Kopf verteilten aktiven Elektroden (Biosemi ActiveTwo system) erfasst. Alle folgenden Verarbeitungsschritte wurden mit der Matlab Toolbox EEGLAB durchgeführt. Nach der Filterung (0,5 – 45 Hz) wurden die Daten in 1,2 Sekunden lange Stücke zerlegt (-0,2 bis 1 Sekunde rund um jeden Ton). Nach einer statistischen Artefaktkorrektur wurde das EEG mit Hilfe einer „Independent Component Analysis“ (ICA) von weiteren Artefakten und vor allem von augenbezogenen Einflüssen bereinigt. Für die vorliegenden Segmente wurde dann mittels Fast Fourier Transformation (FFT) das Frequenzspektrum berechnet und über die Durchgänge getrennt nach Windeinfluss und Versuchszeitpunkt gemittelt. Die so gewonnenen Daten wurden für zwei repräsentative Elektroden über dem frontalen (FCz) und okzipitalen Kortex (POz) in einer Varianzanalyse mit den Faktoren Versuchsdauer (Blocks 1 – 4), Wind (leicht, mittel, schwer) und Topographie (FCz, POz) analysiert.

3. Ergebnisse

Die Alpha-Aktivität nahm mit zunehmender Versuchsdauer zu $F(1,14)=18,11$, $p<.001$, variierte aber auch mit der Stärke des störenden Windes ($F(2,28)=40,91$, $p<.001$). Je mehr die Fahrinflüsse durch den Wind kompensiert werden mussten, umso geringer war die Alpha-Aktivität. Zusätzlich zeigte sich eine leichte Wechselwirkung zwischen Versuchsdauer, Wind und Topographie ($F(2,28)=5,67$, $p=.001$).

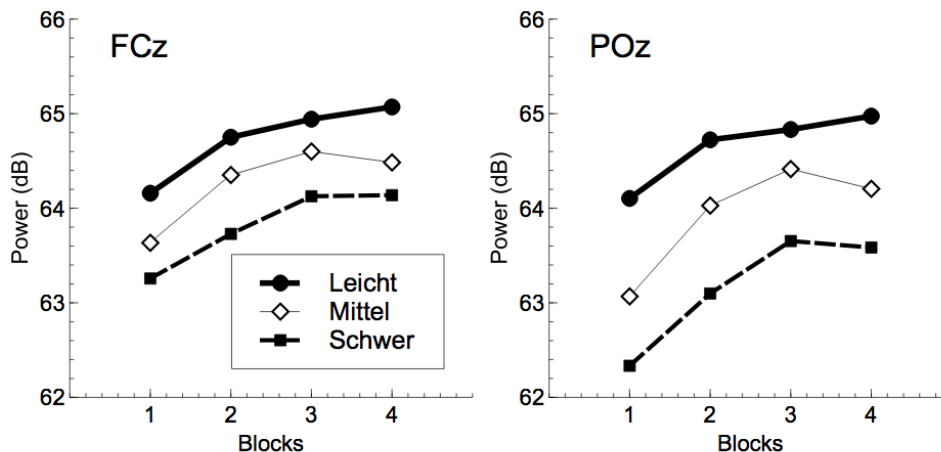


Abbildung 1: Mittlere Aktivität im Alpha Band im Fahrexperiment für frontale (FCz; links) und okzipitale (POz; rechts) Elektroden. Die Alpha-Aktivität steigt mit der Dauer des Experiments (Blocks) an, zeigt jedoch auch eine eindeutige Variation mit dem störenden Wind. Je größer der Störeinfluss umso geringer die Alpha-Aktivität. Dieses Muster lässt sich nicht durch Ermüdung erklären.

Getrennte Analysen für die beiden Elektroden erbrachten jeweils signifikante Effekte der Versuchsdauer (FCz: $F(1,14)=16,71$, $p<.001$; POz: $F(1,14)=16,57$, $p<.001$) und von Wind (FCz: $F(2,28)=31,28$, $p<.001$; POz: $F(2,28)=33,66$, $p<.001$). Eine Wechselwirkung zwischen Wind und Versuchsdauer war an okzipitalen Elektroden stärker, jedoch nicht signifikant auf einem 5% Niveau. An der frontalen Elektrode fehlte dieser Effekt (FCz: $F(2,28)=0,22$, $p>.2$; POz $F(2,28)=3,07$, $p=.06$).

4. Diskussion

Wie in vorangehenden Studien (Aeschbach et al., 1997; Lal & Craig, 2001b; Wascher et al., 2014) können wir zeigen, dass Alpha-Aktivität im Verlauf eines Experimentes ansteigt. Gleichzeitig jedoch zeigt sich ein sehr starker Haupteffekt der Aufgabenschwierigkeit, der einer Ermüdungshypothese widerspricht. Je schwieriger die Aufgabe war, umso geringer war die Alpha-Aktivität. Dieser Befund lässt sich eher mit der These vereinbaren, dass Alpha-Aktivität in mentalen Ermüdungsexperimenten die Langeweile widerspiegelt welche Probanden erfahren, wenn sie über einen langen Zeitraum monotone Aufgaben zu erledigen haben, die kognitiv nicht sonderlich fordernd sind. Mit dem Begriff „Ermüdung“ wäre in diesem Fall dann eher ein Verlust an Aufmerksamkeitsfokussierung als an Aufmerksamkeitsressourcen verbunden. Wann immer die Aufgabe fordernder wird, können Ressourcen wieder rekrutiert werden und dieser Prozess könnte sich im Absinken der Alpha-Aktivität widerspiegeln.

Diese These haben wir in einer Pilotstudie weiter untersucht, bei der eine langandauernde Aufgabe eingesetzt wurde, welche kognitiv fordernd und gleichzeitig motivational so anregend ist, dass eine Versuchsperson sie über mehrere Stunden durchführen kann. Diese Konstellation schien experimentell am besten mit engagierten Computerspielern realisierbar. Von einem achtzehnjährigen Probanden, der in seiner Freizeit wettkampfmäßig strategische Computerspiele (Dota2) spielt, wurde für vier Stunden während des Spielens das EEG erhoben. Die Daten wurden in vergleichbarer Weise analysiert wie die oben Beschriebenen. Weder an frontalen noch an okzipitalen Elektroden zeigte sich ein Anstieg an Alpha-Aktivität (siehe Abbildung 2), obwohl die Spieldauer doppelt so hoch war als die Dauer des Fahrversuches.

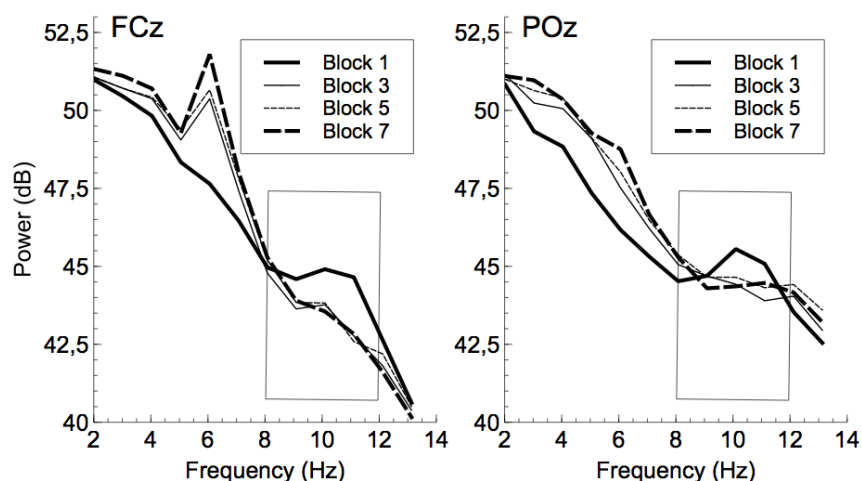


Abbildung 2: Frequenzspektrum im Computerspielversuch. Weder an frontalen (FCz; links) noch an okzipitalen (POz; rechts) Elektroden stieg die Alpha-Aktivität (grau markiert) mit der Dauer des Experimentes an. Eine zunehmende Aktivität, die mit potenzieller Ermüdung in Verbindung gebracht werden kann, findet sich nur in frontaler Theta - Aktivität (links; 4 – 7 Hz).

In einer weitergehenden topographischen Analyse zeigte sich sogar eine Unterdrückung der Alpha-Aktivität über temporalen Elektroden, was einer zunehmenden Aufmerksamkeitsfokussierung zugeschrieben werden kann. Lediglich im Theta Band zeigte sich ein Anstieg der Aktivität mit zunehmender Versuchsdauer. Entsprechend vorangehender Befunde (Wascher et al., 2014) könnte ein Anstieg in der Theta-Aktivität daher ein besseres Korrelat des Verbrauchs mentaler Ressourcen sein als ein Anstieg in Alpha-Aktivität.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass elektrophysiologische Maße ein sehr geeignetes Maß zur Erfassung mentaler Veränderungen über die Zeit sind. Entgegen bisheriger Annahmen erscheint der Begriff der Ermüdung im Zusammenhang mit einem Anstieg der Alpha-Aktivität jedoch unangemessen: Dieser scheint eher die Auflösung der mentalen Fokussierung bei langanhaltender mentaler Unterforderung abzubilden. Wenn man auf den Verbrauch mentaler Ressourcen abzielt, dann scheint ein Anstieg in der Theta-Aktivität das bessere Maß zu sein.

5. Literatur

- Aeschbach, D., Matthews, J. R., Postolache, T. T., Jackson, M. A., Giesen, H. A., & Wehr, T. A. (1997). Dynamics of the human EEG during prolonged wakefulness: evidence for frequency-specific circadian and homeostatic influences. *Neuroscience Letters*, *239*, 121–124.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, (29), 169–195.
- Lal, S. K. L., & Craig, A. (2001a). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, *55*(3), 173–194.
- Lal, S. K. L., & Craig, A. (2001b). Electroencephalography Activity Associated with Driver Fatigue: Implications for a Fatigue Countermeasure Device. *Journal of Psychophysiology*, *15*, 183–189.
- Lal, S. K. L., & Craig, A. (2005). Reproducibility of the spectral components of the electroencephalogram during driver fatigue. *International Journal of Psychophysiology*, *55*(2), 137–143.
- Lorist, M. M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., De Jong, R., Mulder, G., & Meijman, T. F. (2000). Mental fatigue and task control: Planning and preparation. *Psychophysiology*, *37*(5), 614–625.
- van der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*, *113*(1), 45–65.
- Wascher, E., Rasch, B., Sängler, J., Hoffmann, S., Schneider, D., Rinkenauer, G., et al. (2014). Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology*, *96*, 57–65.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Ludger Blanke und Tin Pham für die Programmierung des Fahrsimulators und der repräsentativen Versuchsperson Moritz W., die eine unendlich lange Prozedur über sich ergehen hat lassen, um 4 Stunden für die Wissenschaft zu zocken.