

Der Effekt von Pausen in monotonen Aufgaben: Evidenz zur Validierung von EEG-Maßen im anwendungsnahen Kontext

Stefan ARNAU, Kristina KÜPER, Edmund WASCHER

*Leibniz Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo)
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

Kurzfassung: In einem Experiment zur mentalen Ermüdung führten ältere und jüngere Erwachsene eine monotone kognitive Aufgabe für mehr als 3 Stunden aus. Um den Einfluss der Bearbeitungsdauer einerseits und von Pausen andererseits zu quantifizieren wurden Reaktionszeiten und spektrale Power im EEG in hoher zeitlicher Auflösung untersucht. Wie zu erwarten, führte eine zunehmende Bearbeitungsdauer zu höheren Reaktionszeiten und einer höheren Alpha-Power. Nach Pausen sanken Alpha Power und Reaktionszeiten. Vor allem für größere Pausen zeigte sich dieser Erholungseffekte in der Gruppe der älteren Probanden stärker.

Schlüsselwörter: Mentale Ermüdung, Time on Task, EEG, Alpha, Altern

1. Einleitung

Langandauernde kognitive Tätigkeit kann zu einem Zustand der mentalen Ermüdung führen (Boksem et al., 2008; Grandjean, 1979). Kennzeichnend für diesen Zustand ist eine schlechtere Performanz in der durchzuführenden Aufgabe mit zunehmender Bearbeitungsdauer (*Time on Task*, ToT). Dieser Leistungsabfall lässt sich zum Teil mit einem Absinken der Motivation erklären (Tops & Boksem, 2010; Hockey, 1997), insbesondere bei monotonen Aufgaben wie sie in Laborexperimenten, aber auch in vielen Arbeitsumgebungen, üblich sind. In ihrem Modell bezeichnen May und Baldwin (2004) diesen Aspekt mentaler Ermüdung als „passiv aufgabenbezogene Ermüdung“. Der negative Einfluss mentaler Ermüdung konnte unter anderem für Aufmerksamkeitsprozesse (Boksem et al., 2005), Arbeitsgedächtnis und exekutive Kontrollmechanismen (van der Linden et al., 2003) gezeigt werden.

Die Relevanz der Problematik mentaler Ermüdung lässt sich unter anderem daran bemessen, dass ein erheblicher Anteil von Verkehrsunfällen auf dieses Phänomen zurückgeführt werden kann (Dinges, 1995; Lal & Craig, 2001, Herman et al 2014). Aufgrund des demografischen Wandels und des immer höheren Durchschnittsalters der Arbeitenden ist ebenfalls von Relevanz, dass Ältere stärker von ToT-Effekten beeinträchtigt zu sein scheinen als Jüngere (Wascher & Getzmann, 2014). Pausen hingegen scheinen sich positiv im Sinne einer Abschwächung der ToT-Effekte auszuwirken (Korunka et al., 2012). Der Zusammenhang von Arbeitsbelastung und Erholungsbedürfnis scheint dabei bei Älteren stärker zu sein (Sluiter et al, 2003).

Als elektrophysiologisches Korrelat mentaler Ermüdung wurde ein Anstieg der spektralen EEG-Power in unteren Frequenzbereichen gefunden (Aeschbach, 1997; Klimesch 1999; Craig et al., 2012). Für Alpha-Power (8-12 Hz) wurde ein Zusammenhang mit subjektiv empfundener Müdigkeit berichtet (Lal & Craig, 2002), sowie eine Anteriorisierung, also ein Anstieg der relativen Alpha-Power in frontalen

Arealen, mit zunehmender ToT (Wascher et al., 2014). Experimentelle Pausen wiederum bewirken einen Rückgang der Alpha-Power (Lim et al., 2013).

In der vorliegenden Studie führten eine Gruppe älterer und eine Gruppe jüngerer Probanden eine monotone kognitive Aufgabe für etwa 3 Stunden aus. Dabei wurde der Verlauf der Alpha-Power in hoher zeitlicher Auflösung ausgewertet, insbesondere in Hinblick auf die Effekte experimenteller Pausen. Es wurde erwartet, dass einerseits ein Anstieg der Alpha-Power mit zunehmender ToT zu beobachten sein würde, und dass sich andererseits eine Modulation dieses Effekts durch experimentelle Pausen zeigen würde.

2. Methode

An dieser Studie nahmen 14 jüngere Probanden (9 Frauen) im Alter von 20 bis 30 Jahren ($M=24$) und 14 ältere Probanden (6 Frauen) im Alter von 56 bis 70 Jahren ($M = 64$) teil. Alle Probanden waren rechtshändig, Nichtraucher und hatten normale oder korrigierte Sehschärfe.

Das Experiment startete um 8.30 Uhr am Morgen. Während des Experiments bearbeiteten die Probanden die Simon-Aufgabe (Simon, 1969; Simon, Sly & Vilapakkan 1981). Bei der Simon-Aufgabe wird den Probanden sequentiell einer von 2 möglichen Stimuli dargeboten. Je nachdem, um welchen Stimulus es sich handelt, soll mit einer von 2 Tasten reagiert werden. Die Darbietung dieses Stimulus erfolgt dabei stets lateralisiert, entweder links oder rechts der Bildschirmmitte. Die Darbietungsseite ist für die zu gebende Antwort jedoch irrelevant. Das gesamte Experiment war in 3 Blöcke unterteilt, jeder Block wiederum in 3 Subblöcke. Durch dieses Design ergaben sich insgesamt 2 längere Pausen (5-10 Minuten) und 6 kurze Pausen. Um eine höhere zeitliche Auflösung zu erreichen wurde jeder Subblock für die Analyse von Reaktionszeiten und EEG-Maßen in 5 Zeitfenster unterteilt. Für die Auswertung der Reaktionszeiten wurden lediglich korrekte Trials berücksichtigt.

Das EEG wurde mit 60 aktiven AG/AgCl Elektroden (ActiCap, Brain Products, Gilching, Deutschland) aufgenommen, die nach dem erweiterten 10/20 System (Pivik et al., 1993) angeordnet waren. Die offline Auswertung der Daten erfolgte in EEGLab (Delorme, Makeig, 2004). Für die spektrale Analyse der EEG-Daten wurde für jedes Zeitfenster und für jeden Probanden die Alpha-Power im Frequenzbereich von 8-12 Hz mit dem Fast-Fourier-Transform (FFT) Algorithmus berechnet und die so erhaltenen Powerschätzungen gemittelt. Die Effekte von ToT und experimentellen Pausen auf Reaktionszeiten und Alpha-Power wurden mit ANOVAs auf ihre statistische Bedeutsamkeit untersucht.

3. Ergebnisse

3.1 Verhaltensdaten

Der genaue Verlauf der Reaktionszeiten über die Dauer des Experiments ist in Abbildung 1 dargestellt. Es zeigte sich ein signifikante Anstieg der Reaktionszeiten über die Blöcke ($F(2, 52) = 10.03$, $p = .001$), über Subblöcke ($F(2, 52) = 4.23$, $p = .033$) und innerhalb der Subblöcke ($F(1, 26) = 16$, $p < .001$). Die Unterschiede der Reaktionszeiten zwischen den Subblöcken war zudem im späteren Verlauf des Experiments größer ($F(4, 104) = 6.14$, $p < .001$). Der Effekt von Pausen auf die

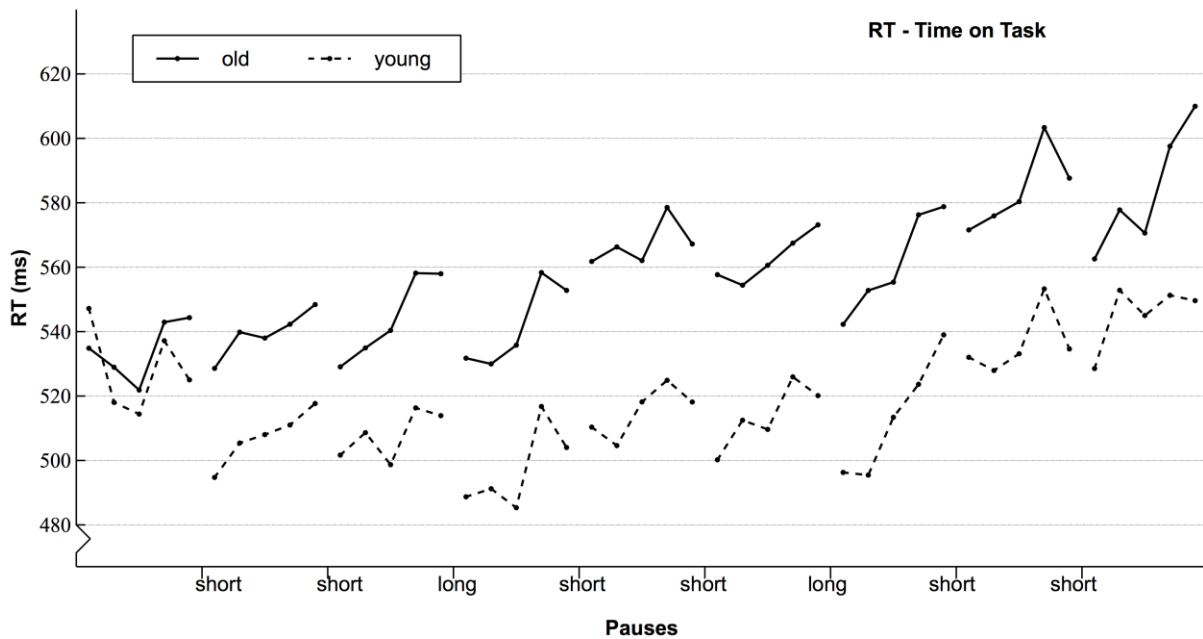


Abbildung 1: Die Reaktionszeiten für ältere und jüngere Probanden über den Verlauf des Experiments. Auf der X-Achse sind die Zeitpunkte kürzerer und längerer Pausen abgebildet.

Reaktionszeiten war signifikant ($F(1, 26) = 11.27, p = .002$), nach den Pausen reagierten die Probanden schneller als vor den Pausen. Dieser Pauseneffekt war für längere Pausen stärker ($F(1, 26) = 4.38, p = .046$).

3.2 Anteriore Alpha-Power:

Für die frontale Alpha-Power zeigte sich ein signifikanter Anstieg über die Blöcke ($F(2, 52) = 61.51, p < .001$), über Subblöcke ($F(2, 52) = 50.24, p < .001$) und innerhalb der Subblöcke ($F(2, 52) = 32.18, p < .001$). Der Verlauf ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Anstieg innerhalb der Blöcke war stärker bei älteren Probanden ($F(2, 52) = 6.47, p = .003$). Ebenfalls zeigte sich ein signifikanter Pauseneffekt ($F(1, 26) = 15.73, p = .001$) im Sinne eines Abfalls der Alpha-Power über die Pausen. Dieser Effekt war stärker für längere Pausen ($F(1, 26) = 8.33, p = .008$).

3.3 Posteriore Alpha-Power:

Der Verlauf der Alpha-Power an POz ist in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigte sich ein Anstieg über die Blöcke ($F(2, 52) = 55.27, p < .001$), über Subblöcke ($F(2, 52) = 16.76, p < .001$) und innerhalb der Subblöcke ($F(2, 52) = 14.83, p = .001$). Der Anstieg innerhalb der Blöcke und innerhalb der Subblöcke war stärker für die Gruppe der älteren Probanden als für die jüngeren Probanden ($F(2, 52) = 8.65, p = .001$ und $F(1, 26) = 4.92.51, p = .036$). Ein Abfall der Alpha-Power über die Pausen generell zeigte sich lediglich in der Gruppe der älteren Probanden ($F(1, 26) = 5.99, p < .021$), da längere Pausen einen umgekehrten Effekt bei jüngeren Probanden im Vergleich zu Älteren bewirkten ($F(1, 26) = 12.62, p = .001$), die Alpha-Power hier also anstieg.

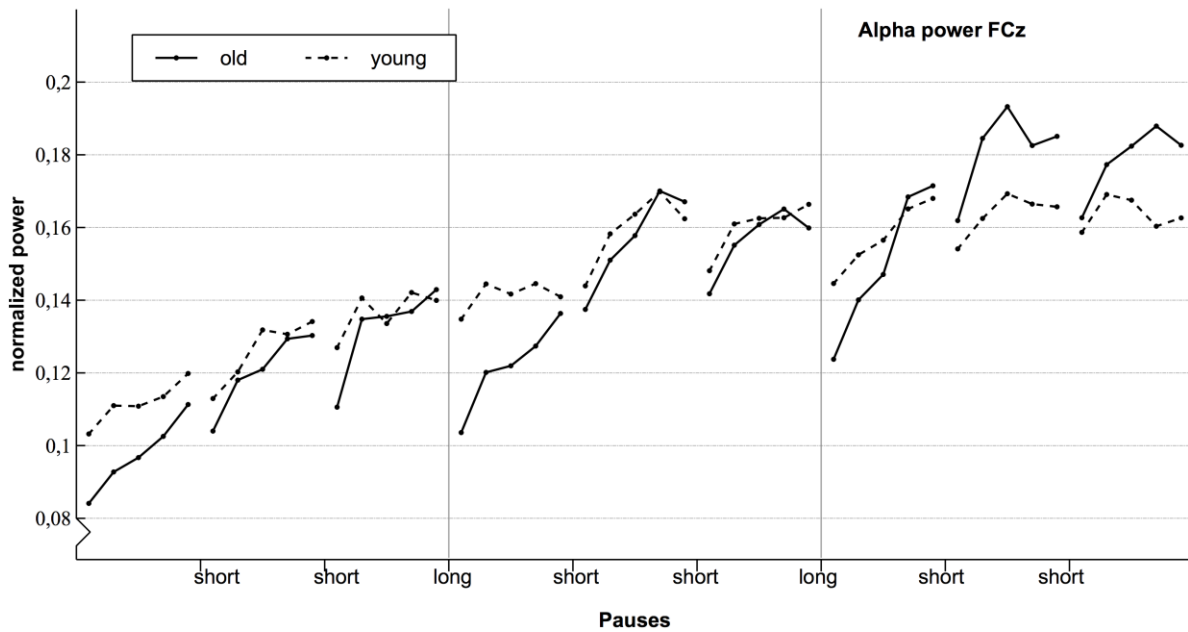


Abbildung 2: Frontale Alpha-Power (FCz) für ältere und jüngere Probanden über den Verlauf des Experiments. Die Werte wurden vektornormalisiert. Auf der X-Achse sind die Zeitpunkte kürzerer und längerer Pausen abgebildet.

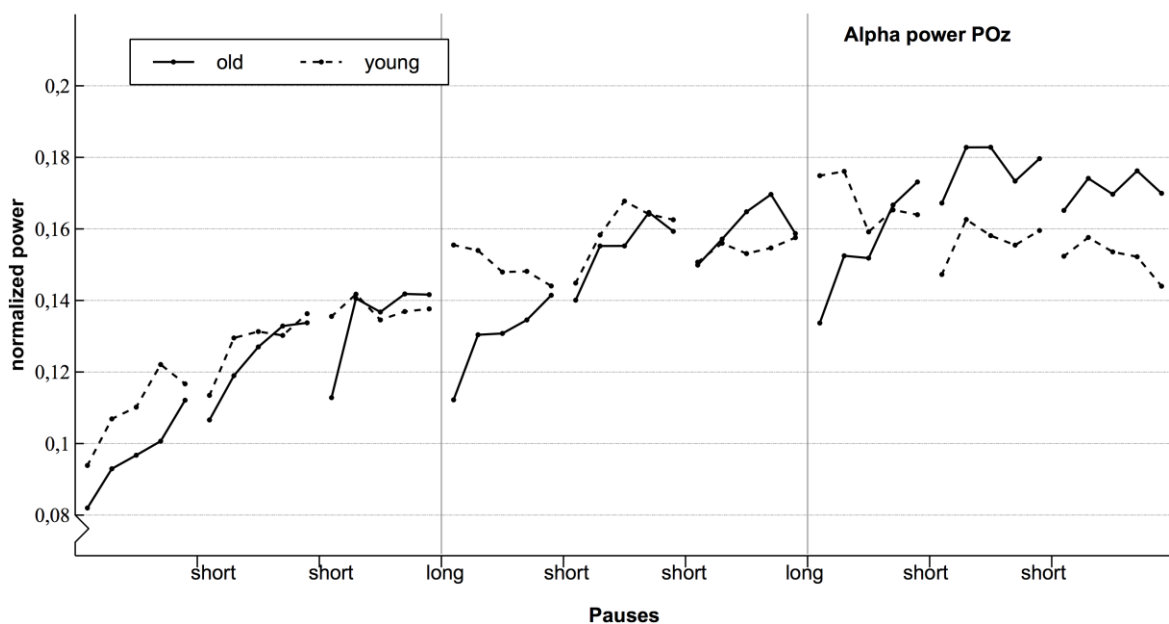


Abbildung 3: Okzipitale Alpha-Power (POz) für ältere und jüngere Probanden über den Verlauf des Experiments. Die Werte wurden vektornormalisiert. Auf der X-Achse sind die Zeitpunkte kürzerer und längerer Pausen abgebildet.

3.4 Korrelation von RT und Alpha-Power:

Für Alpha-Power und Reaktionszeiten konnte ein signifikanter Zusammenhang gefunden werden. In der Gruppe der älteren Probanden korrelierte die anteriore (FCz) Alpha-Power positiv mit den Reaktionszeiten ($r = .5$, $p = .001$), ebenso posteriore (POz) Alpha-Power ($r = .447$, $p = .003$).

4. Diskussion

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von ToT und Pausen auf die Leistung und die Alpha-Power bei der Bearbeitung einer monotonen kognitiven Aufgabe zu untersuchen. Ein Effekt mentaler Ermüdung zeigte sich in Form verlängerter Reaktionszeiten mit zunehmender Bearbeitungsdauer. Experimentelle Pausen hingegen wirkten sich positiv auf die Performanz aus. Nach Pausen reagierten die Probanden schneller als vor Pausen. Ein Unterschied zwischen den Altersgruppen bezüglich dieses Pauseneffekts fand sich jedoch nicht.

Die Alpha-Power stieg ebenfalls mit zunehmender ToT an, auch signifikante Effekte der Pausen konnten gefunden werden. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass die kurzen Pausen lediglich eine Unterbrechung der Aufgabenbearbeitung darstellten, in denen die Probanden nicht die Möglichkeit hatten das experimentelle Setting zu verlassen, und trotzdem deutliche Effekte für Alpha-Power beobachtet werden konnten. Die spektrale Power im Alphaband als elektrophysiologisches Korrelat mentaler Ermüdung scheint demnach geeignet zu sein, auch kurzfristige Zustandsveränderungen abbilden zu können.

Für die Gruppe der älteren Probanden fand sich zudem eine signifikante Korrelation der Alpha-Power und der Reaktionszeiten, für die Gruppe der jüngeren Probanden jedoch nicht. Auch war der Abfall der Alpha-Power über die Pausen für die Gruppe der Älteren insgesamt stärker, beziehungsweise okzipital überhaupt vorhanden. Möglicherweise bildet ein Anstieg der Alpha-Power über die Zeit in dieser Gruppe einen Ressourcenverbrauch ab und der Abfall dementsprechend eine Erholung.

In der Gruppe der jüngeren Probanden scheinen sich jedoch andere Prozesse abzubilden. Neben dem Fehlen eines korrelativen Zusammenhangs von Alpha-Power und Reaktionszeiten, ist der Effekt von Pausen auf die okzipitale Alpha-Power unterschiedlich von dem in der Gruppe der Älteren. Während kurze Pausen hier keinen Einfluss zu haben scheinen wirken sich lange Pausen entgegengesetzt aus, die Alpha-Power steigt über die Pausen an. Als mögliche Erklärung käme in Frage, dass sich bei den Jüngeren ein Ressourcenverbrauch aufgrund vergleichsweise höherer Leistungsfähigkeit nicht in gleichem Maße auf die Alpha-Power auswirkt wie bei den Älteren. Die okzipitale Alpha-Power bildet hier eventuell einen Aufmerksamkeitsrückzug beziehungsweise einen Mangel an Motivation ab, welche nach längeren Pausen besonders zu Tage tritt.

5. Literatur

- Aeschbach D, Matthews JR, Postolache TT, Jackson MA, Giesen HA, Wehr TA (1997) Dynamics of the human EEG during prolonged wakefulness: Evidence for frequency-specific circadian and homeostatic influences. *Neuroscience Letters* 239(2-3), 121-124.
- Boksem M, Meijman T, Lorist M (2005) Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research* 25(1) 107-116.
- Boksem M, Tops M (2008) Mental Fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews* 59, 125-139.
- Craig A, Tran Y, Wijesuriya N, Nguyen H (2012) Regional brain wave activity changes associated with fatigue. *Psychophysiology* 49(4), 574-582.
- Delorme A, Makeig S (2004) EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods* 134, 9-21.
- Dinges D (1995) An overview of sleepiness and accidents. *Journal of Sleep Research* 4, 4-14.
- Grandjean E (1979) Fatigue in industry. *British Journal of Industrial Medicine* 36, 175-186.

- Herman J, Kafoa B, Wainiqolo I, Robinson E, McCaig E, Connor J, Jackson R, Ameratunga S (2014). Driver sleepiness and risk of motor vehicle crash injuries: A population-based case control study in Fiji (TRIP 12). *Injury* 45(3), 586-591.
- Hockey G, (1997) Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology* 45(1-3), 73-93.
- Klimesch W (1999) EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews* 29(2-3), 169-195.
- Korunca C, Kubicek B, Prem R, Cvitan A (2012) Recovery and detachment between shifts, and fatigue during a twelve-hour shift. *Work* 41(1), 3227-3233.
- Lal S, Craig A (2001) A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology* 55(3), 173-194.
- Lal, S. K. L., & Craig, A. (2002). Driver fatigue: electroencephalography and psychological assessment. *Psychophysiology*, 39(3), 313–21.
- Lim J, Quevenco FC, Kwok K (2013) EEG alpha activity is associated with individual differences in post-break improvement. *NeuroImage* 76, 81–89.
- May J, Baldwin C (2009) Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F: traffic Psychology and Behavior* 12(3), 218-224 .
- Pivik R, Broughton R, Coppola R, Davidson R, Fox N, Nuwer M (1993). Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. *Pathophysiology*.
- Simon JR (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1), 174–176.
- Simon JR, Sly P, Vilapakkam S (1981). Effect of compatibility of SR mapping on reactions toward the stimulus source. *Acta Psychologica*, 47, 63–81.
- Sluiter AJK, De Croon EM, Meijman TF, Sluiter JK (2003) Need for recovery from work related fatigue and its role in the development and prediction of subjective health Ccomplaints. *Occup Environ Med* 60(1), 62-70.
- Tops M, Boksem M (2010) Absorbed in the task: Personality measures predict engagement during task performance as tracked by error negativity and asymmetrical frontal activity. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience* 10(4), 441-453.
- Van der Linden D, Frese M, Meijman T (2003) Mental fatigue and the control of cognitive processes: Effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica* 113(1), 45-65.
- Wascher E, Getzmann S (2014) Rapid mental fatigue amplifies age-related attentional deficits. *Journal of Psychophysiology* 28(3), 215-224.
- Wascher E, Rasch B, Sängler J, Hoffmann S, Schneider D, Rinkebauer G, Heuer H, Gutberlet I (2014). Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology* 96, 57–65.