

Monotonie, Ermüdung und Langeweile – Gibt es Altersunterschiede im Verhalten und im EEG?

Melanie KARTHAUS, Stephan GETZMANN, Edmund WASCHER

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

Kurzfassung: Zur Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit bei zunehmender Ermüdung oder Langeweile werden häufig kognitive Ressourcen mobilisiert, die neurophysiologisch vor allem in frontalen und frontozentralen Hirnarealen angesiedelt sind. Ein mögliches Maß hierfür stellt die im EEG erfasste frontale Theta-Aktivität dar, die bei der Durchführung monotoner Aufgaben über einen längeren Zeitraum hinweg kontinuierlich ansteigt. In einem kontrollierten Monotonie-Experiment in einem Fahrsimulator fanden wir eine erhöhte Phasensynchronizität im Theta-Band bei älteren vs. jungen Probanden auf irrelevante akustische Reize. Gleichzeitig zeigten Ältere eine größere Lenkvarianz, aber eine vergleichbare Leistung in der Spurhaltung, was mit einer erfolgreich durchgeführten Kompensationsstrategie erklärt werden könnte.

Schlüsselwörter: Ermüdung, Langeweile, Monotonie, Alter, EEG, Fahrsimulator

1. Einleitung

Um auch bei monotonen Aufgaben die Aufmerksamkeit trotz zunehmender Ermüdung oder Langeweile aufrecht erhalten zu können, müssen kognitive Ressourcen mobilisiert werden. Am Verhalten und der Leistung der Personen ist eine solche verstärkte Mobilisierung kognitiver Ressourcen, die neurophysiologisch vor allem in frontalen und frontozentralen Hirnarealen angesiedelt ist, oft nicht abzulesen. Hierfür sind stattdessen physiologische Maße vonnöten, die auch Prozesse abbilden können, die sich (noch) nicht im Verhalten manifestieren. Ein mögliches Maß für die erhöhte Anstrengung ist die mit dem Elektroenzephalogramm (EEG) erfasste frontale Theta-Aktivität (4-7 Hz), für die in zahlreichen Studien ein Zusammenhang mit der Verstärkung kognitiver Kontrolle bei der Reaktionsüberwachung (z.B. Cavanagh et al., 2010), der Kontrolle von Gedächtnisfunktionen (z.B. Holz et al., 2010) oder der Fehlerverarbeitung (z.B. Hoffmann et al., 2014) nachgewiesen wurde. Darüber hinaus steigt die Theta-Aktivität bei der Durchführung monotoner Aufgaben im Laufe der Zeit kontinuierlich an (Kiroi & Aslanyan, 2006; Wascher et al., 2014) und kann deshalb als Korrelat für den Verbrauch mentaler Ressourcen angesehen werden.

Neben der Theta-Aktivität selbst kann auch die Phasen-Synchronizität (Inter-Trial-Coherence, ITC) der Signale als physiologisches Maß für die Nutzung kognitiver Ressourcen verwendet werden. Eine hohe Synchronizität wird mit einer stärkeren neuronalen Konnektivität in Verbindung gebracht, die wiederum mit kognitiver Informationsverarbeitung und neuronaler Kommunikation in Zusammenhang steht (Güntekin & Basar, 2010). Im Falle des Theta-Bandes scheint die Synchronizität mit steigenden Anforderungen an kognitive Kontrollfunktionen zuzunehmen (Sauseng et al., 2005).

Es ist bekannt, dass altersbedingte Einschränkungen kognitiver Funktionen auch frontale kognitive Ressourcen betreffen. Insbesondere werden in diesem Zusammenhang Beeinträchtigungen der sogenannten exekutiven Funktionen genannt, bei denen es sich um kognitive Funktionen höherer Ordnung handelt, die unter anderem dem Frontalhirn zugeordnet werden und eng mit dem Arbeitsgedächtnis in Verbindung stehen (für einen Überblick siehe Bialystok & Craik, 2006). Diese exekutiven Funktionen modulieren Prozesse niedrigerer Ordnung und koordinieren zielgerichtete mentale Aktivitäten. Typische Beispiele für exekutive Funktionen sind visuelle Suche, der Wechsel und die Teilung von Aufmerksamkeit, die Koordination mehrerer gleichzeitig ausgeführter Aufgaben sowie die Inhibition von irrelevanten Reizen und unangemessenen Reaktionen. Diese und andere exekutive Funktionen sind hoch relevant für komplexe Situationen wie das Autofahren.

Da frontale Hirnareale altersbedingten Veränderungen unterworfen sind (Salat et al., 2009) und auch die damit verbundenen exekutiven Funktionen über die Lebensspanne hinweg im Mittel abnehmen, stellt sich die Frage, ob ältere Personen auch vermehrt Probleme haben, die Aufmerksamkeit in monotonen Situationen aufrechtzuerhalten und somit anfälliger für Ermüdung / Langeweile und für die Ablenkbarkeit durch aufgaben-irrelevante Reize sind als jüngere Personen (Wascher & Getzmann, 2014). Dies könnte sich durch eine Leistungsabnahme im Verhalten (z.B. beim Fahren monotoner Strecken), oder aber (auch) in der Hirnaktivität wie beispielsweise einer Veränderung in der Theta-Aktivität oder der Phasen-Synchronizität widerspiegeln.

2. Methoden

Um zu überprüfen, ob ältere Autofahrer anfälliger für Ermüdung oder Langeweile sind, führten wir ein kontrolliertes Monotonie-Experiment im Fahrsimulator durch, bei dem junge und ältere Probanden über einen längeren Zeitraum hinweg eine monotone Strecke fahren sollten.

2.1 Versuchspersonen

An dem Experiment nahmen 16 junge (19-30 Jahre, $M = 23,8$, $SD = 2,4$) und 16 ältere (57-69 Jahre, $M = 64,0$, $SD = 2,9$) gesunde und aktive Autofahrer teil, die normales bzw. korrigiertes Seh- und Hörvermögen besaßen und nach eigenen Angaben an keinen neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen litten.

2.2 Versuchsaufbau

Die Aufgabe im Fahrsimulator bestand darin, eine gerade Strecke zu fahren und das Fahrzeug dabei möglichst gut auf der Mitte der Fahrspur zu halten. Durch einen Seitenwind, der in unterschiedlichen Stärken auftrat (leicht, mittel, stark) wurde das Fahrzeug zur Seite gedrückt. Die Probanden wurden instruiert, diesen unvorhersehbaren Wind durch Gegenlenken möglichst schnell und präzise zu kompensieren. Diese Aufgabe sollte etwas länger als 1 Stunde durchgeführt werden. Während der Fahrt wurden den Probanden im Abstand von 1 Sekunde hohe und tiefe Töne vorgespielt, die sie jedoch ignorieren sollten. Die Töne dienten einerseits dazu, die Ablenkbarkeit jüngerer und älterer Autofahrer durch irrelevante Reize zu überprüfen und wurden andererseits zur Segmentierung der EEG-Daten verwendet.

2.3 Datenerhebung und Auswertung

Aus den analogen Fahrdaten wurde die mittlere quadrierte Abweichung von der Ideallinie als Maß für die Fahrleistung und die Varianz in den Lenkbewegungen als Maß für den Aufwand erhoben.

Das EEG wurde an 64 aktiven Elektroden (Biosemi ActiveTwo system) erfasst. Alle folgenden Bearbeitungsschritte wurden mit der Matlab Toolbox EEGLAB durchgeführt. Nach der Filterung (0,5 – 45 Hz) wurden die Daten in 1,7 Sekunden lange Stücke zerlegt (-0,5 bis 1,2 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 über eine Zeit-Frequenz-Dekomposition die ITC für 25 Frequenzbänder (von 4 bis 14 Hz) berechnet. Die resultierenden Daten wurden in einer 2 (Altersgruppe) x 3 (Blöcke) Varianzanalyse verrechnet und mittels FDR-Korrektur für wiederholte Testung korrigiert.

3. Ergebnisse

Bei der Spurhaltung (Fahren auf der Ideallinie) zeigte sich ein Haupteffekt der Windstärke ($F(2,52) = 44,5; p < ,05$), wobei die quadrierte Abweichung von der Ideallinie umso größer ausfiel, je stärker der Wind, d.h. je schwerer die Lenkbedingung war (Abbildung 1). Dabei unterschieden sich die beiden Altersgruppen nicht.

Dagegen zeigen Ältere eine signifikant größere Lenkvarianz als Jüngere (Haupteffekt Gruppe: $F(1,26) = 4,3; p < ,05$), die vor allem bei mittlerem und starkem Wind deutlich ausgeprägt ist (Wechselwirkung Gruppe x Wind: $F(2,52) = 3,4; p < ,05$).

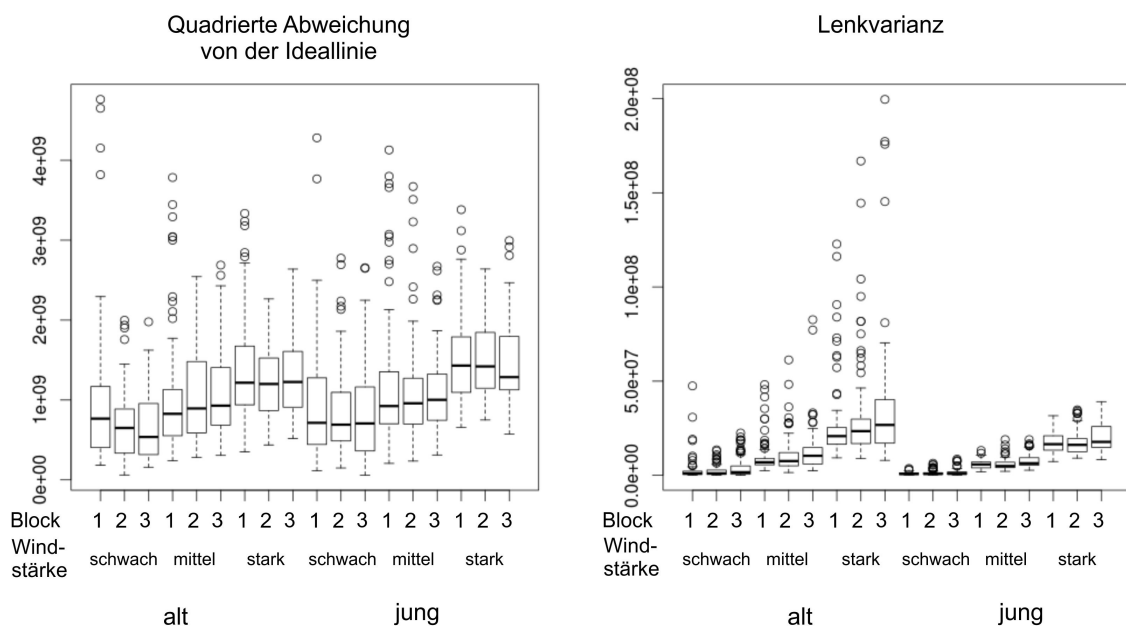


Abbildung 1: Quadrierte Abweichung (Root Mean Square Error, RMSE) von der Ideallinie (links) und Lenkvarianz (rechts) in der Fahraufgabe, getrennt nach Blöcken, Windstärke und Altersgruppe.

Auf der neurophysiologischen Ebene ergab sich eine Reduktion der Theta-Aktivität bei alten Probanden, die jedoch nicht sensitiv für die Zeit war. Deutlich spezifischer zeigte sich insbesondere bei der Analyse der ITC ein auffälliger Alterseffekt: So wurde in der Gruppe der älteren Probanden eine im Vergleich zu den jungen Probanden signifikant höhere Phasen-Synchronizität auf die irrelevanten Töne beobachtet (Abbildung 2), die über die Zeit hinweg in beiden Gruppen massiv abnahm.

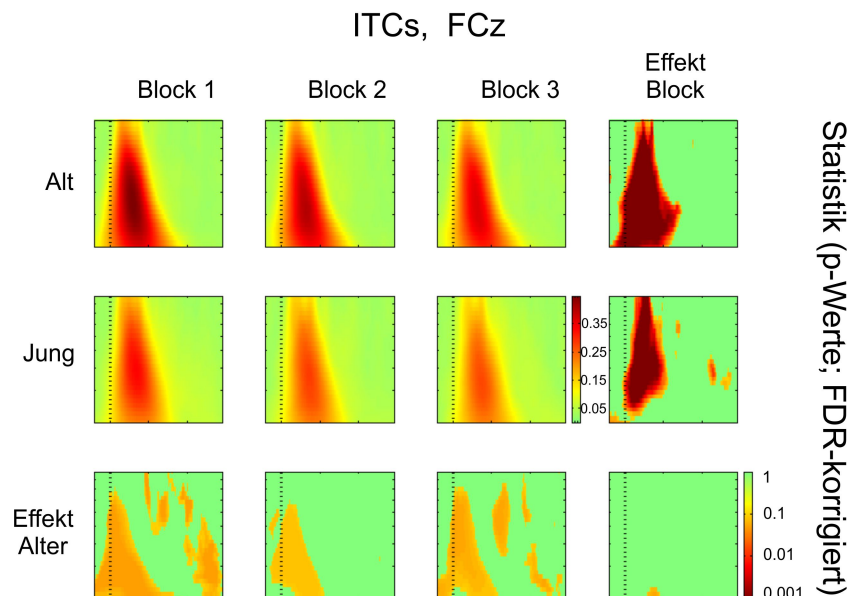


Abbildung 2: *Inter-Trial-Coherence (ITC) im frontozentralen Bereich (FCz), getrennt nach Blöcken und Altersgruppen, dazu die statistischen Effekte der beiden Variablen Block und Alter mit FDR-korrigierten p-Werten.*

4. Diskussion

Betrachtet man die Spurhaltung (Fahren auf der Ideallinie) als Indikator für die Fahrleistung, zeigten ältere Probanden in diesem monotonen Fahrexperiment im Fahrsimulator genauso gute Leistungen wie jüngere Probanden. Auf dieser Verhaltensebene gibt es daher keinen Hinweis für eine verstärkte Anfälligkeit älterer Autofahrer für Ermüdung oder Langeweile. Auffallend ist jedoch, dass bei der Gruppe der Älteren eine deutlich höhere Lenkvarianz zu beobachten war als bei den Jüngeren. Mit anderen Worten: Ältere lenken mehr und stärker, um das virtuelle Auto auf der Ideallinie und in der Spur zu halten.

Eine Erklärung hierfür könnten die neurophysiologischen Daten liefern, die während des Experiments aufgezeichnet wurden. So zeigten die älteren Probanden in diesem Experiment im Theta-Band eine stärkere Phasen-Synchronizität auf die irrelevanten Töne als jüngere Probanden, was darauf hindeutet, dass Ältere für die Inhibition der im Hintergrund präsentierten Töne eine stärkere kognitive Kontrolle ausüben müssen als Jüngere. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit zahlreichen anderen Befunden, die belegen, dass ältere Personen Schwierigkeiten mit der Inhibition irrelevanter Reize haben und diese oft ähnlich intensiv verarbeiten wie relevante Reize (z.B. Hahn et al., 2011, 2013; Wascher et al., 2010).

Die kognitiven Ressourcen, die vor allem Ältere für die (unnötige) Verarbeitung irrelevanter Reize verwenden, sollten eigentlich für die Hauptaufgabe, dem Fahren auf der Ideallinie, genutzt werden. Um diese Aufgabe trotz verringerter Ressourcen gut zu bewältigen, kann die Anwendung einer motorischen Kompensationsstrategie hilfreich sein, die sich in einer größeren Lenkvarianz (stärkeres Lenken) ausdrückt. Dies erklärt auch, warum Ältere vor allem bei mittlerem und starkem Seitenwind, also unter mittel- und schweren Bedingungen, eine größere Varianz im Lenkverhalten zeigen als Jüngere. Durch den erfolgreichen Einsatz dieser motorischen Kompensation gelingt es den Älteren trotz erhöhter Ablenkung durch irrelevante Töne eine Fahrleistung zu zeigen, die mit der Leistung jüngerer Probanden vergleichbar ist.

5. Literatur

- Bialystok E, Craik FIM (2006) *Lifespan cognition*. New York: Oxford University Press.
- Cavanagh JF, Frank MJ, Klein TJ, Allen JJ (2010) Frontal theta links prediction errors to behavioral adaptation in reinforcement learning. *Neuroimage* 49:3198-3209.
- Güntekin B, Basar E (2010) A new interpretation of P300 responses upon analysis of coherences. *Cognitive Neurodynamics* 4:107–118.
- Hahn M, Wild-Wall N, Falkenstein M (2011) Age-related differences in performance and stimulus processing in dual task situation. *Brain Research* 1414:66-76.
- Hahn M, Wild-Wall N, Falkenstein M (2013) Age-Related Changes of Neural Control Processes and Their Significance for Driving Performance. In: Schlick CM, Frieling E, Wegge J (Eds.) *Age-Differentiated Work Systems*. Heidelberg: Springer, 299-317.
- Hoffmann S, Labrenz F, Themann M, Wascher E, Beste C (2014) Crosslinking EEG time-frequency decomposition and fMRI in error monitoring. *Brain Structure and Function* 219:595-605.
- Holz EM, Glennon M, Prendergast K, Sauseng P (2010). Theta-gamma phase synchronization during memory matching in visual working memory. *Neuroimage* 52:326-335.
- Kiroi VN, Aslanyan EV (2006) General laws for the formation of the state of monotony. *Neuroscience and Behavioral Physiology* 36:921–928.
- Salat DH, Lee SY, van der Kouwe AJ, Greve DN, Fischl B, Rosas HD (2009) Age-associated alterations in cortical gray and white matter signal intensity and gray to white matter contrast. *Neuroimage* 48:21–28.
- Sauseng P, Klimesch W, Schabus M, Doppelmayr M (2005) Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology* 57:97–103.
- Wascher E, Falkenstein M, Wild-Wall N (2010) Age related strategic differences in processing irrelevant information. *Neuroscience Letters* 487: 66-9.
- Wascher E, Getzmann S (2014) Rapid mental fatigue amplifies age-related attentional deficits. *Journal of Psychophysiology* 28:215–224.
- 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.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Ludger Blanke und Tin Pham für die Programmierung des Fahrsimulators sowie Christiane Westedt, Sabrina Wueller und Christine Mertes für die Unterstützung bei der Datenerhebung.