

Strategien älterer Autofahrer – Hinweise aus einer EEG-Studie im Fahrsimulator

Melanie KARTHAUS, Stephan GETZMANN, Edmund WASCHER

*IfADo – Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund*

Kurzfassung: Angesichts der großen interindividuellen Unterschiede in der Fahrkompetenz älterer Autofahrer stellt sich die Frage nach Subgruppen, die sich in kritischen Fahrsituationen (z.B. monotonen Strecken) in bestimmten Merkmalen voneinander unterscheiden. In einem kontrollierten Monotonie-Experiment in einem Fahrsimulator identifizierten wir anhand der Lenkvariabilität und EEG-Maßen zwei Subgruppen älterer Autofahrer: Ältere mit niedriger Lenkvariabilität wiesen eine niedrigere Alpha-Aktivität (8-13 Hz) und Theta-Aktivität (4-7 Hz) im EEG auf und zeigten eine alerte, proaktive Strategie. Ältere mit hoher Lenkvariabilität zeigten dagegen erhöhte Beta-Aktivität (> 13 Hz) und eine eher reaktive Strategie. Letztere könnte mit einem höheren Verbrauch mentaler Ressourcen verbunden sein und zu Problemen in kritischen Verkehrssituationen führen.

Schlüsselwörter: Alter, Autofahren, Monotonie, Fahrsimulator, EEG

1. Einleitung

Autofahren ist eine komplexe Tätigkeit, deren Durchführung verschiedene sensorische, motorische und kognitive Funktionen erfordert. Mit zunehmendem Alter kommt es zu Beeinträchtigungen dieser Funktionen (z. B. Nielson et al. 2002; Schneider & Pichora-Fuller 2000; Yordanova et al. 2004), die sich auch auf das Fahrverhalten auswirken können (z. B. Anstey & Wood 2011). Das Ausmaß dieser Beeinträchtigungen unterliegt jedoch einer großen interindividuellen Variabilität, die unabhängig von dem biologischen Alter von zahlreichen internalen und externalen Faktoren beeinflusst wird (Gajewski & Falkenstein 2015). Zu diesen Faktoren gehören auch verschiedene Kompensationsmechanismen, die ältere Autofahrer häufig – bewusst oder unbewusst – einsetzen, um mögliche Defizite auszugleichen (Poschadel et al. 2012). Eine erfolgreiche Kompensation kann eine Erklärung dafür sein, dass sich in einigen Studien kaum Unterschiede im Fahrverhalten zwischen jüngeren und älteren Altersgruppen finden (z. B. Karthaus et al. 2015). Dennoch haben manche Ältere (insbesondere in komplexen und unvorhersehbaren Situationen, die schnelle und flexible Reaktionen erfordern und damit hohe mentale Anforderungen stellen) erhebliche Probleme, eine Fahraufgabe sicher zu bewältigen (Pottgießer et al. 2012).

Es stellt sich daher die Frage, ob sich innerhalb der heterogenen Gruppe der Älteren Subgruppen identifizieren lassen, die sich nicht nur in offen beobachtbaren Merkmalen wie ihrem Fahrverhalten, sondern auch in neurophysiologischen Merkmalen voneinander unterscheiden. Neurophysiologische Maße haben den Vorteil, dass sie altersbedingte Veränderungen von Funktionen und Prozesse abbilden können, die sich (noch) nicht im offenen Verhalten zeigen. Sie können dadurch beispielsweise Hinweise auf Strategien geben, die ältere Personen bei der Bewältigung einer bestimmten Aufgabe anwenden. Eine gut etablierte Methode ist in diesem Zu-

sammenhang die Untersuchung der mit dem Elektroenzephalogramm (EEG) erfassten oszillatorischen Hirnaktivität in verschiedenen Frequenzbereichen.

Für das Autofahren auf einfachen, monotonen Strecken sind vor allem drei Frequenzbereiche von Interesse, die mit Ermüdung, kognitiver Kontrolle und mentaler Beanspruchung in Verbindung gebracht werden: Zu den prominentesten Frequenzbereichen gehört das Alpha-Band (8-13 Hz), wobei eine hohe Alpha-Aktivität traditionell mit mentaler Ermüdung assoziiert wird (Borghini et al. 2014). Es gibt jedoch auch Arbeiten, die zeigen, dass Alpha-Aktivität mit zunehmender Komplexität der Aufgabe kleiner wird (z. B. Klimesch 1999). Einige Autoren sehen Alpha-Aktivität deshalb weniger als Abbild von Ermüdung, sondern eher als Korrelat von Langeweile oder dem Abzug von Aufmerksamkeit an (Pattyn et al. 2008; Wascher et al. 2015). Frontale Theta-Aktivität (4-7 Hz) wird in vielen Studien mit der Verstärkung kognitiver Kontrolle bei der Reaktionsüberwachung (Cavanagh et al. 2010), der Kontrolle von Gedächtnisfunktionen (Holz et al. 2010) oder der Fehlerverarbeitung (Hoffmann et al. 2014) in Zusammenhang gebracht. Sie steigt bei der Durchführung monotoner Aufgaben im Laufe der Zeit kontinuierlich an (Kiroi & Aslanyan 2006; Wascher et al. 2014) und wird deshalb als Abbild für den Verbrauch mentaler Ressourcen interpretiert. Nachdem Beta-Aktivität (> 13 Hz) zunächst mit der Aktivierung motorischer Areale bei Bewegungen (Pfurtscheller et al. 1998) und der Bewegungsplanung (Alegre et al. 2003) in Verbindung gebracht wurde, zeigen neuere Arbeiten einen Zusammenhang zwischen Beta-Aktivität und kognitiver Verarbeitung (z. B. Personen et al. 2006) und mentaler Beanspruchung.

Unterschiede in diesen neurophysiologischen Maßen könnten verschiedene Strategien bei der für das Autofahren erforderlichen Bewältigung sensorischer, motorischer und kognitiver Herausforderungen abbilden. Ziel der vorliegenden Studie war es, mittels Analyse der oszillatorischen Alpha-, Beta- und Theta-Aktivität während einer monotonen Fahrsituation mögliche Ursachen für die große interindividuelle Variabilität älterer Autofahrer zu identifizieren. Dazu wurde ein Experiment im Fahrsimulator durchgeführt, bei dem junge und ältere Probanden über einen längeren Zeitraum hinweg bei unterschiedlich stark auftretendem Seitenwind auf einer geraden Strecke möglichst gut die Spur halten sollten.

2. Methoden

2.1 Probanden

An der Studie nahmen 14 junge (20-31 Jahre, $M = 25,1$, $SD = 3,7$; 7 Frauen) und 28 ältere (56-70 Jahre, $M = 64,6$, $SD = 3,7$; 12 Frauen) Autofahrer teil. Alle Probanden fuhren selbst regelmäßig Auto, besaßen normales bzw. korrigiertes Seh- und Hörvermögen und litten nach eigenen Angaben weder zum Untersuchungszeitpunkt noch zu einem früheren Zeitpunkt an neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen.

2.2 Versuchsaufbau

Die Probanden sollten im Fahrsimulator eine gerade, monotone Strecke fahren und das Fahrzeug dabei möglichst mittig auf der Fahrspur halten. Dabei wurde das Fahrzeug durch unterschiedlich starken Seitenwind (kein, mittel, stark) immer wieder zur linken oder rechten Seite gedrückt. Aufgabe der Probanden war es, diese unvor-

hersehbare Seitwärtsbewegung des Fahrzeugs möglichst schnell und präzise durch Gegenlenken zu kompensieren. Gleichzeitig hörten die Probanden im Abstand von jeweils 1 Sekunde hohe und tiefe Töne, die jedoch zu ignorieren waren. Die Präsentation der Töne diente zum einen der Überprüfung der Ablenkbarkeit der Probanden und zum anderen zur Segmentierung der EEG-Daten. Die Fahraufgabe wurde in drei unmittelbar aufeinander folgenden Blöcken ohne Pause durchgeführt und dauerte insgesamt etwa 110 Minuten.

2.3 Datenerhebung und Auswertung

Als abhängige Variable wurden die mittlere quadrierte Abweichung von der individuellen Ideallinie als Maß für die Spurhaltegenauigkeit sowie die Lenkvariabilität (LV) als Maß für die mentale Beanspruchung durch die Fahraufgabe erfasst. Für die weiteren Analysen wurden die älteren Probanden anhand ihrer Lenkvariabilität in zwei Subgruppen (niedrige vs. hohe Lenkvariabilität) eingeteilt, so dass sich insgesamt drei Gruppen (jung, alt – niedrige LV, alt – hohe LV) ergaben. Die resultierenden Daten wurden in einer 3 (Gruppe) x 3 (Blöcke) x 3 (Windstärke)-Varianzanalyse verrechnet.

Darüber hinaus wurde das EEG an 64 aktiven Elektroden (Biosemi ActiveTwo System) abgeleitet. Alle folgenden Bearbeitungsschritte wurden mit der Matlab Toolbox EEGLAB durchgeführt. Zuerst wurden die Daten bandpassgefiltert (0,5 – 45 Hz), die Abtastfrequenz auf 200 Hz reduziert und Artefakte mittels einer Independent Component Analysis (ICA) bereinigt. Dabei wurde vor allem auf den Einfluss von Augen- und Muskelbewegungen, aber auch auf Einstreuungen durch Störsignale geachtet. Die verbleibenden Daten wurden in 1-Sekunden-Abschnitte geteilt und einer Fast Fourier Transformation (FFT) unterzogen. Die mittlere Power in den ausgewählten Frequenzbändern wurde mit denselben Faktoren verrechnet wie die Verhaltensdaten.

3. Ergebnisse

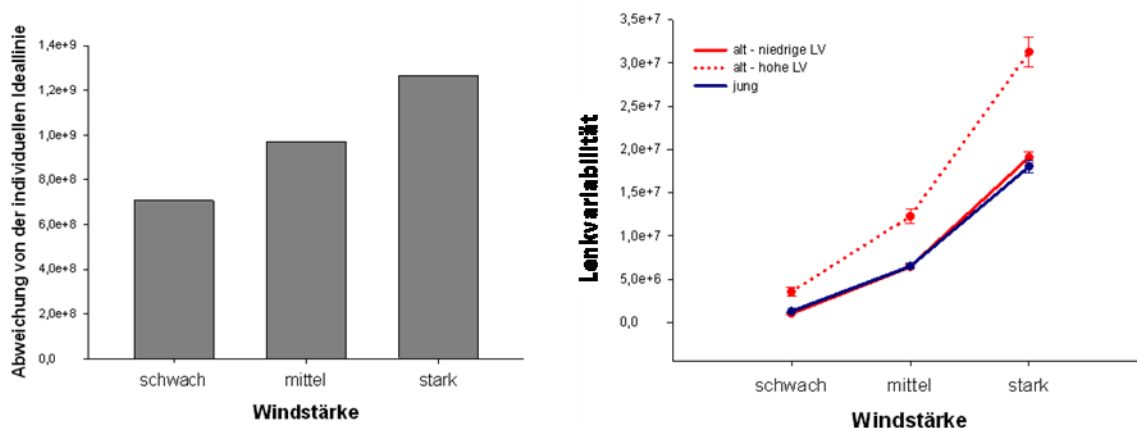


Abbildung 1: Mittlere quadrierte Abweichung von der individuellen Ideallinie (links) und Lenkvariabilität (rechts) in der Fahraufgabe, getrennt nach Windstärke und Gruppe.

Unabhängig von Gruppe und Block nahm die Abweichung von der individuellen Ideallinie mit zunehmender Windstärke zu (Haupteffekt der Windstärke: $F(2,78) = 67,35$; $p < ,001$; (Abb. 1 links).

Die Analyse der Lenkvariabilität nach Aufteilung der älteren Probanden in zwei Subgruppen mit niedriger vs. hoher Lenkvariabilität ergab einen Haupteffekt Gruppe ($F(2,39) = 9,54$; $p < ,001$) und einen Haupteffekt Windstärke ($F(2,78) = 313,87$; $p < ,001$). Darüber hinaus zeigte sich, dass die Unterschiede in der Lenkvariabilität zwischen den Gruppen mit steigender Windstärke zunahm (Interaktion Gruppe x Windstärke: $F(4,78) = 8,56$; $p < ,001$; Abb. 1 rechts).

Auf der neurophysiologischen Ebene zeigten sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. So wies die Gruppe Älterer mit niedriger Lenkvariabilität eine niedrigere Alpha-Aktivität (8-13 Hz) als die Gruppe Älterer mit hoher Lenkvariabilität ($F(1,26) = 5,03$; $p = ,034$) in den letzten Blöcken und insgesamt eine niedrigere Theta-Aktivität (4-7 Hz) als die junge Gruppe ($F(1,26) = 14,12$; $p = ,001$) und die Gruppe Älterer mit hoher Lenkvariabilität ($F(1,26) = 7,73$; $p = ,010$) auf. Dagegen zeigte letztere eine auffallend hohe Beta-Aktivität (> 13 Hz) im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen ($F(2,39) = 3,28$; $p = ,048$; Abb. 2).

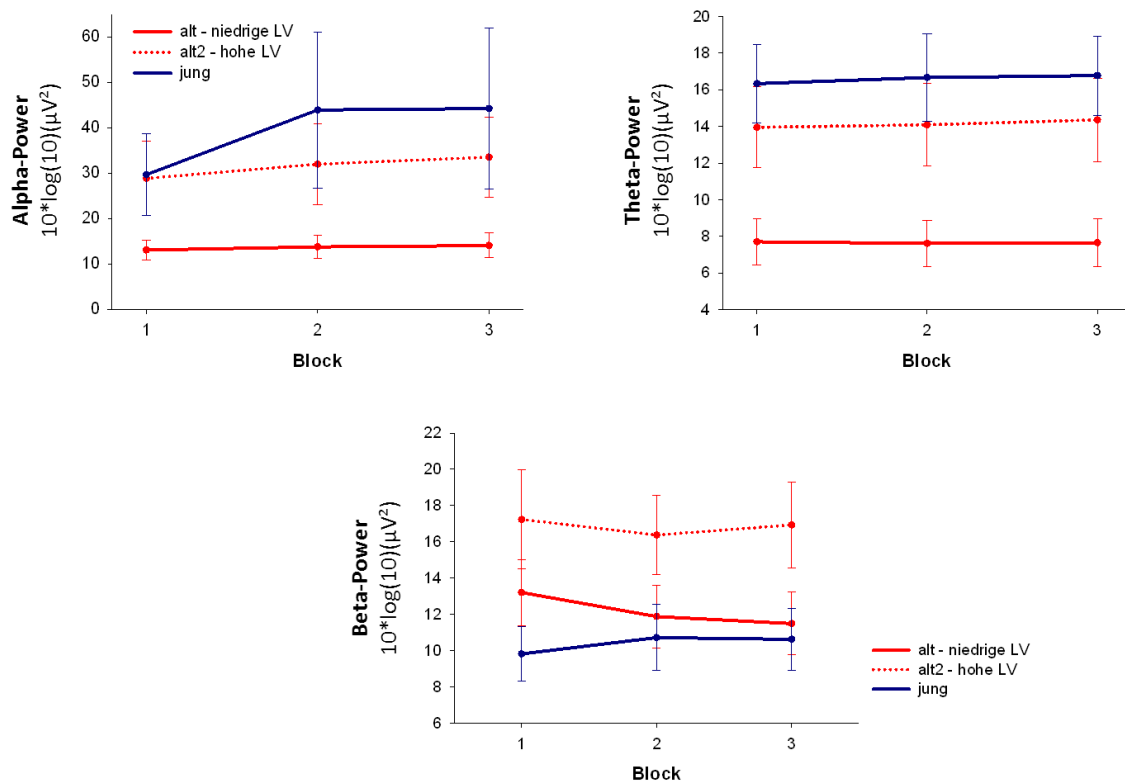


Abbildung 2: Alpha-, Theta- und Beta-Power, getrennt nach Blöcken und Gruppen.

4. Diskussion

Die Analyse des Fahrens auf der individuellen Ideallinie als Indikator für die Fahrleistung ergaben keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen, jüngere und ältere Probanden zeigten hiervergleichbare Leistungen. Lediglich die Windstärke hatte wie erwartet einen Einfluss auf die Spurhaltung, wobei die Abweichung von der Ideallinie

mit steigender Windstärke zunahm. Um das Ausmaß der mentalen Beanspruchung zu untersuchen, die mit der Bewältigung der Fahraufgabe einherging, wurde die Lenkvariabilität der Probanden analysiert. Angesichts der großen interindividuellen Variabilität in der Gruppe der älteren Autofahrer wurde diese in zwei Subgruppen mit hoher vs. niedriger Lenkvariabilität unterteilt. Die Unterschiede dieser beiden Gruppen in der Lenkvariabilität zeigten sich vor allem bei starkem Seitenwind.

Eine Erklärung für die unterschiedlich ausgeprägte Lenkvariabilität bei älteren Autofahrern könnten die erhobenen neurophysiologischen Daten liefern. Diese weisen auf unterschiedliche Strategie hin, die bei der Bewältigung der Fahraufgabe angewendet wurden. Tatsächlich zeichnete sich die Gruppe Älterer mit niedriger Lenkvariabilität durch eine vergleichsweise niedrigere Alpha-Aktivität und Theta-Aktivität aus. Dies deutet darauf hin, dass diese Gruppe für die Bewältigung der Fahraufgabe zwar Aufmerksamkeit aufwand, hierbei aber weniger mentale Ressourcen verbrauchte als die Gruppe der Älteren mit hoher Lenkvariabilität. Letztere zeichnete sich dagegen durch eine vergleichsweise hohe Beta-Aktivität aus, was auf eine stärkere mentale Beanspruchung durch die Fahraufgabe hindeutet.

Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die beiden Gruppen älterer Autofahrer unterschiedliche Strategien anwenden, um die Fahraufgabe gut zu bewältigen. So scheint eine Subgruppe einen eher alerten Fahrstil zu bevorzugen und eine proaktive Strategie zur Kompensation des Seitenwinds zu verfolgen, die sich in einer niedrigen Lenkvariabilität ausdrückt. Die andere Subgruppe scheint sich eher reaktiv zu verhalten, was mit einer höheren mentalen Beanspruchung einhergeht und einer größeren Lenkvariabilität bedarf, um die gleiche Leistung in der Spurhaltung zu erzielen. Die in der Literatur beschriebenen Schwierigkeiten älterer Autofahrer in komplexen und unvorhergesehenen Situationen (z. B. Falkenstein et al. 2014, Pottgießer et al. 2012) dürften vor allem Personen mit reaktiver Fahrstrategie betreffen, da diese hierdurch bereits deutlich stärker mental beansprucht sind und somit weniger Ressourcen für zusätzliche Ereignisse zur Verfügung haben könnten.

5. Literatur

- Alegre M, Labarga A, Gurtubay IG, Iriarte, J, Malanda, A, Artieda, J (2003) Movement-related changes in cortical oscillatory activity in ballistic sustained and negative movements. *Experimental Brain Research* 148:17-25.
- Anstey KJ, Wood J (2011) Chronological age and age-related cognitive deficits are associated with an increase in multiple types of driving errors in late life. *Neuropsychology* 25:613-621.
- Borghini G, Astolfi L, Vecchiato G, Mattia D, Babiloni F (2014) Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 44:58-75.
- Cavanagh JF, Frank MJ, Klein TJ, Allen JJ (2010) Frontal theta links prediction errors to behavioral adaptation in reinforcement learning. *Neuroimage* 49:3198-3209.
- Falkenstein M, Poschadel S, Joiko S. (2014) Erkenntnisstand zu Verkehrssicherheitsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer. In: *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 248*, Bremen: Fachverlag NW.
- Gajewski PD, Falkenstein M. (2015) Lifestyle and interventions for improving cognitive performance in older adults. In: Raab M, Lobinger B, Hoffmann S, Pizzera A, Laborde S (Eds) *Performance Psychology: Perception, Action, Cognition, and Emotion*. Oxford: Elsevier, 189-203.

- 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.
- Karthus M, Willemsen R, Joiko S, Falkenstein M (2015) Kompensationsstrategien von älteren Verkehrsteilnehmern nach einer VZR-Auffälligkeit. In: *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 254*, Bremen: Fachverlag NW.
- Kiroi VN, Aslanyan EV (2006) General laws for the formation of the state of monotony. *Neuroscience and Behavioral Physiology* 36:921–928.
- Klimesch W (1999) EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain research reviews* 29:169-195.
- Nielson KA, Langenecker SA, Garavan H (2002) Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychology and Aging* 17:56-71.
- Pattyn N, Neyt X, Henderickx D, Soetens E (2008) Psychophysiological investigation of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? *Physiology & Behavior* 93:369-378.
- Pesonen M, Haarala Björnberg C, Hämäläinen H, Krause CM (2006) Brain oscillatory 1-30 Hz EEG ERD/ERS responses during the different stages of an auditory memory search task. *Neuroscience Letters* 399:45-50.
- Pfurtscheller G, Zalaudek K, Neuper C (1998) Event-related beta synchronization after wrist, finger and thumb movement. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 109:154-160.
- Poschadel S, Falkenstein M, Rinkenauer G, Mendzheritskiy G, Fimm B, Worringer B, Engin T, Kleinemas U, Rudinger G (2012) Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Kraftfahrer. In: *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 203*, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Pottgießer S, Kleinemas U, Dohmes K, Spiegel L, Schädlich M, Rudinger G (2012) Profile von Senioren mit Autounfällen (PROSA). In: *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 228*, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Schneider BA, Pichora-Fuller MK (2000) Implications of perceptual deterioration for cognitive aging research. In: Craik F, Salthouse, TA (Eds) *The handbook of aging and cognition*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 155-219.
- Wascher E, Getzmann S, Karthus M (2015). Driver state examination - treading new paths. Manuscript submitted for publication.
- Wascher E, Rasch B, Sängler J, Hoffmann S, Schneider D, Rinkenauer G, Heuer H, Gutberlet I (2014) Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology* 96:57-65.
- Yordanova J, Kolev V, Hohnsbein J, Falkenstein M (2004) Sensorimotor slowing with ageing is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: evidence from high-resolution event-related potentials. *Brain* 127:351-362.

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