

Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 86

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. It is positioned in the bottom right corner of the page.

Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer

von

Heike Hoffmann

Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Claudia Wipking
Ludger Blanke
Michael Falkenstein

Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 86

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der BASt zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de/benutzung.php?la=de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0378/2010:
Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer

Projektbetreuung
Heike Hoffmann

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-86918-280-3

Bergisch Gladbach, Januar 2013

Print  kompensiert
Id-Nr. 1325551
www.bvdm-online.de

Kurzfassung – Abstract

Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer

Aufgrund des demografischen Wandels werden in der Zukunft immer mehr ältere Menschen ein Kraftfahrzeug führen. Das vorliegende Projekt soll Erkenntnisse dazu liefern, wie unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit die Mobilität der älteren Fahrer so lange wie möglich erhalten werden kann. Unfallanalysen zeigen, dass ältere Kraftfahrer typische Fahrfehler bzw. Unfälle begehen. Unklar ist derzeit die genaue Ursache hierfür, vor allem vor dem Hintergrund der langjährigen Erfahrung älterer Kraftfahrer, welche eher eine äußerst geringe Unfallrate vermuten ließe. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, tiefere Erkenntnisse über die Ursache von Fahrfehlern älterer Kraftfahrer zu gewinnen, um daraus Anforderungen an die technische Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen ableiten zu können. Diese Fahrerassistenzsysteme sollen speziell älteren Autofahrern Hilfestellung zum sicheren Führen von Kraftfahrzeugen bieten.

In dem folgenden Laborexperiment wurde ein Doppeltätigkeits-Paradigma verwendet, indem eine Spurhalteaufgabe mit einer peripheren Lichtreizaufgabe kombiniert wurde. Die peripheren Lichtreize wurden den Probanden bilateral in zwei verschiedenen Abständen vom zentralen Punkt des Sehens (20 Grad und 60 Grad) präsentiert. Die Aufgaben wurden von älteren (65+) und jüngeren Kraftfahrern (22-45) zuerst einzeln, dann in Kombination durchgeführt. Um Aufschluss über mögliche Ursachen von Leistungsbeeinträchtigungen erhalten zu können, wurde neben der Erfassung von Verhaltensdaten (Spurabweichungen, Reaktionszeit, Anzahl der Auslassungen) ein Elektroenzephalogramm abgeleitet, welches Einblicke in die zugrunde liegenden neuronalen Verarbeitungsmechanismen ermöglicht.

Wie erwartet, zeigten Ältere in der Spurhalteaufgabe schlechtere Leistungen als Jüngere, besonders bei gleichzeitiger Durchführung der Lichtreizaufgabe (Doppel-Aufgabe). In der Lichtreizaufgabe unterschieden sich die Leistungen der Altersgruppen nur bei Lichtreizen, die im 60-Grad-Sehwinkel auftraten. Die Älteren reagierten hier langsamer und

zeigten mehr Auslassungen als die Jüngeren. Überraschenderweise zeigten alle Versuchspersonen weniger Auslassungen in der Doppel-Aufgabe.

Mittels Elektroenzephalogramms wurde anhand der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) deutlich, dass die Defizite Älterer nicht in einer Einschränkung der frühen Verarbeitung peripherer Reize (P1) liegen, da die P1-Amplitude bei Älteren sogar höher war als bei Jüngeren. Die N2-Amplitude, welche Hinweise auf die Verschiebung der Aufmerksamkeit gibt, war bei Jüngeren hingegen bei weiter peripher liegenden Reizen (60-Grad-Sehwinkel) erhöht, was einen fronto-zentral fokussierten Kontrollprozess widerspiegelt. Die Orientierung auf den peripheren Reiz (P3a) war bei Älteren geringer ausgeprägt sowie auch die Zuordnung von Verarbeitungsressourcen (P3b) vor allem bei peripheren Lichtreizen. Es liegen zudem Hinweise darauf vor, dass Ältere verlängerte Reaktionszeiten aufgrund einer verzögerten Reaktionsaktivierung aufweisen.

Mit dem vorliegenden Experiment konnte also gezeigt werden, dass die schlechteren Leistungen der älteren Versuchspersonen nicht auf periphere Sehleistungsmängel zurückzuführen sind, sondern einem späteren kognitiven Verarbeitungsprozess zuzuschreiben sind.

Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund der Literatur und der Erfordernisse technischer Unterstützungen älterer Kraftfahrer diskutiert.

Experimental study to support the development of advanced driver assistance systems for elderly drivers

Due to the demographic change the amount of older drivers will rise. In this context and in consideration of traffic safety it is important to gain insight of how best to support and maintain the mobility of older drivers. The analysis of accidents shows typical driver faults of seniors which could be responsible for the traffic accidents. The aim of this project is to find out the causes of driver mistakes against the background of their long driving experience. This new knowledge about the causes

of driver faults should help in getting special requirements for technical developments of Advanced Driver Assistance Systems. Older drivers may benefit from appropriate technical aid supporting their driving.

A dual-task-paradigm was applied in the following experiment. A tracking-task and a signal-detection-task were combined. The signal-detection-task consists of the detection of bilateral peripheral visual stimuli. The bilateral visual stimuli were presented in two different angles of sight (20 degree and 60 degree) apart from the central point of view. The tracking and the signal-detection tasks were performed by a group of older (aged 65+) and younger (22-45) drivers both separately and in dual-task condition. In addition to the records of visible behaviour measures (deviation of the optimal lane, reaction time, amount of missings in detecting peripheral visual stimuli) an electroencephalogram (EEG) was recorded in order to analyse event-related potentials (ERP) and to examine the underlying neuronal processing of the stimuli.

As expected, elderly people showed lower performance in the tracking task than younger people particularly in dual-task condition. While carrying out a signal-detection-task it was shown that only the elderly people studied performance less well if the bilateral peripheral visual stimuli were presented in an angle of sight of 60 degree. In addition to this, older participants showed slower reaction times and a higher percentage of missed targets compared to the younger participants. Expectedly, all subjects showed a lower rate of missings in the single-task condition compared to the dual-task-condition.

The outcome of the analysis of ERP shows that the deficits of elderly people are not associated with early visual processing because the amplitude of P1 was higher in comparison to the younger group. The younger subjects showed a more pronounced fronto-central N2-component, reflecting cognitive control while the peripheral stimuli were presented in the further angle of sight (60 degree away from the central point of view). Orientation toward the peripheral stimuli (P3a) and allocation of processing resources (P3b) were diminished for the elderly compared to the younger subjects. Additionally the findings hypothesize slower reaction times because of delayed reaction activation.

In summary, this study has shown that the deficits of the older subjects have nothing to do with their deficiency of peripheral visual eyesight. The task deficits are due to an alteration of cognitive processing, in aging, as reflected by the ERP.

These results will be discussed in relation to the literature and the requirements of technical support for older drivers.

Inhalt

Abkürzungen	6	5.3 Beschreibung der Versuchs- apparatur	22
1 Ausgangslage	7	5.3.1 Sitzposition	22
2 Untersuchungen zum technischen Unterstützungsbedarf älterer Menschen	8	5.3.2 Raumbeleuchtung	23
3 Altersbedingte Einschränkungen ...	10	5.3.3 Beobachtungskamera	23
3.1 Visuelle Wahrnehmung	11	5.3.4 EEG	23
3.1.1 Blickbewegungen	11	5.3.5 Hardwaretechnischer Aufbau der Versuchsanlage	24
3.1.2 Nutzbares Sehfeld, visuelle Aufmerksamkeit und visuelle Suche	11	6 Versuchsdurchführung	25
3.1.3 Peripheres Sehen	12	6.1 Spurhalteaufgabe	25
3.1.4 Visuomotorische Koordinations- leistung	12	6.2 Periphere Lichtreizaufgabe	26
3.2 Kognitive Funktionen	13	6.2.1 Vortest	26
3.3 Aufmerksamkeit	14	6.2.2 Doppel-Aufgabe	27
3.3.1 Neurophysiologie der Aufmerk- samkeit	15	6.2.3 Versuchsablauf	27
3.3.2 Neurophysiologische Methoden zur Erfassung sensorischer und kognitiver Prozesse, insbesondere der Aufmerksamkeit	16	6.3 Dokumente für die Versuchsdurchführung	28
3.3.3 EKP, Alter und Doppel-Aufgaben.....	17	7 Ergebnisse	34
4 Ziele, Fragestellung, unabhängige und abhängige Variablen, Hypothesen	18	7.1 Verhaltensdaten	34
4.1 Ziele und Fragestellungen	18	7.1.1 Spurabweichung	35
4.2 Unabhängige und abhängige Variablen	19	7.1.2 Reaktionszeiten	35
4.2.1 Unabhängige Variablen	20	7.1.3 Auslassungen	36
4.2.2 Abhängige Variablen	20	7.1.4 Subjektiv wahrgenommene Anstrengung	37
4.2.3 Hypothesen	20	7.2 Ereigniskorrelierte Potenziale	37
5 Methode	21	7.2.1 P1	37
5.1 Stichprobe	21	7.2.2 N2-Latenz	39
5.2 Experimentelles Design	22	7.2.3 N2-Amplitude	40
		7.2.4 P3a-Latenz	41
		7.2.5 P3a-Amplitude	42
		7.2.6 P3b-Latenz	43
		7.2.7 P3b-Amplitude	44
		7.3 Korrelationen der EKP-Parameter	47
		7.3.1 Amplitude P3 und Auslassungen	47
		7.3.2 Latenz der P3 und Reaktionszeiten ...	47
		7.4 Zusammenfassung der Ergebnisse ...	47

7.5	Daten	48	P3b	= positive EKP-Komponente; Korrelat der Ressourcen-Zuordnung
7.5.1	Mittelwerte (geschätzte Randmittel)	48	RT	= Reaktionszeit
7.5.2	Ereigniskorrelierte Potenziale	51	Sehwinkel	= Sehwinkel 20 Grad; Sehwinkel 60 Grad
8	Diskussion	60	SOM	= somatosensorisch
9	Literatur	67	20 Grad	= Lichtreizpräsentation im Sehwinkel 20 Grad
			60 Grad	= Lichtreizpräsentation im Sehwinkel 60 Grad

Abkürzungen

Abstand	= Darbietung der Lichtreize nach 2, 5 und 7 Sekunden	T1	= Einzel-Aufgabe (Spurhalteaufgabe)
ANOVA	= Analysis of Variance	T2	= Einzel-Aufgabe (periphere Lichtreizaufgabe)
AUD	= auditiv	T3	= Doppel-Aufgabe (Spurhalteaufgabe und periphere Lichtreizaufgabe)
Aufgabe	= Einzel-Aufgabe; Doppel-Aufgabe	VIS	= visuell
EEG	= Elektroencephalogramm	VP	= Versuchsperson
EKP	= Ereigniskorreliertes Potenzial		
Elektrode	= FCz, Fz (fronto-zentral), Cz (central), CPz, Pz (centro-parietal), POz (parieto-okzipital), Oz (okzipito-central)		
EOG	= Elektroofokulogramm		
FAS	= Fahrerassistenzsystem		
FEV	= Fahrerlaubnis-Verordnung		
FIS	= Fahrerinformationssystem		
Gruppe	= Ältere vs. Jüngere		
L2	= Lichtreiz im Winkel 20 Grad		
L6	= Lichtreiz im Winkel 60 Grad		
MRF	= mesencephale reticuläre Formation		
MRT	= Magnet-Resonanz-Tomografie		
P1	= positive EKP-Komponente; Korrelat der Reizverarbeitung		
N2	= negative EKP-Komponente; Korrelat des Aufmerksamkeitswechsels		
P3a	= positive EKP-Komponente; Korrelat der Aufmerksamkeits-Orientierung		

1 Ausgangslage

Durch den demografischen Wandel steigt die Anzahl älterer Verkehrsteilnehmer absolut und prozentual deutlich an. Während im Jahr 1991 der Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung in Deutschland bei 11,9 % lag und im Jahr 2006 auf 16 % stieg, wird nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes (2009) bis 2030 der Anteil an älteren Menschen auf 22,1 % ansteigen. Man schätzt, dass im Jahr 2035 bereits jeder dritte Bundesbürger über 65 Jahre alt sein wird. Mit der steigenden Zahl an älteren Menschen wächst gleichzeitig auch die Zahl der Senioren, die im Besitz der Fahrerlaubnis sind (36 % im Jahr 2002; 40 % im Jahr 2004; 45 % im Jahr 2006), und damit wächst insgesamt auch der Anteil älterer Personen an der Gesamtheit der Pkw-Fahrer. Im Jahr 2050 werden nach ROMPE (2011) mehr als 90 % der Senioren den Pkw-Führerschein besitzen. Bei Beachtung der Unfallrate zeigt sich, dass ältere Menschen zwar weniger häufig an Unfällen beteiligt sind als Personen anderer Altersgruppen, jedoch sind die Unfallfolgen für Senioren aufgrund ihrer körperlichen Vulnerabilität schwerwiegender als bei jüngeren Erwachsenen (ROMPE, 2011).

Mobilität stellt nicht nur ein Grundbedürfnis, sondern auch ein Grundrecht des Menschen dar, wobei damit nicht nur die physische, sondern auch die geistige und soziale Mobilität gemeint ist (s. z. B. Presseseminar in Leipzig, 2004). HAKAMIES-BLOMQUIST (2003), die sich intensiv mit dem Thema „ältere Verkehrsteilnehmer“ auseinandergesetzt hat, erklärt, dass die Mobilität und Gesundheit der älteren Bevölkerung für die Entwicklung der Gesellschaft in Europa zunehmend an Bedeutung gewinnen. Sie weist darauf hin, dass es für ältere Menschen notwendig sei, ihre gewohnten Aktivitätsformen sowie die Gestaltung ihres alltäglichen Lebens beizubehalten, da aktive Menschen im Vergleich zu passiven insgesamt gesünder seien. Gesunde Menschen seien unabhängig, senkten die staatlichen Kosten und unterstützten somit den Wohlstand der Gesellschaft.

Gerade für ältere Kraftfahrer lassen sich Freizeitgestaltung sowie die Erledigung alltäglicher Verpflichtungen oftmals nur mit Hilfe eines Pkw schnell und bequem realisieren. HAKAMIES-BLOMQUIST (2003) beschreibt in ihrer Veröffentlichung, dass ältere Kraftfahrer in Europa zunehmend die Nutzung ihres privaten Pkw bevorzugen, da sie das private Auto als das sicherste Transportmittel ansehen.

Hinzu kommt, dass künftig mehr ältere Menschen Mobilität mit dem eigenen Pkw in Verbindung bringen werden. Hierauf weist allein die Statistik über die Zunahme von Pkw-Fahrerlaubnissen (54 % im Jahr 2002; 57 % im Jahr 2004; 61 % im Jahr 2006) hin. Die Erhaltung der Mobilität älterer Menschen durch Nutzung des privaten Pkw stellt damit einen wesentlichen Schritt zur Förderung und Gesunderhaltung der Gesellschaft einschließlich der Verkehrssicherheit dar.

Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, sich stärker als bisher mit dem Thema „Erhaltung der Mobilität und Fahrsicherheit im Alter“ auseinanderzusetzen. Dabei stellt sich die Frage, auf welchem Wege sich sowohl Mobilität als auch Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer verbessern lassen.

Zum einen könnte hierzu die Verkehrsumwelt/der Verkehrsraum altersgerechter gestaltet werden. Zum anderen könnten auch die Fahrfertigkeiten bzw. die Fahrsicherheit des Kraftfahrers durch spezielle Fahrtrainings erhöht werden. Als dritte Möglichkeit bietet sich eine Anpassung der Automobiltechnik an die Bedürfnisse älterer Menschen an. FULLER (2000) beschreibt in seinem Modell „task-capability interface model“, dass es im Wesentlichen durch ein Wechselspiel zwischen den individuellen Fähigkeiten (Fahrfertigkeiten, Fahrrouline, kognitive Fähigkeiten) des Fahrers und den jeweiligen aktuellen Fahranforderungen im Straßenverkehr (Verkehrsumgebung, Verkehrsinfrastruktur, Verkehrsteilnehmer, Fahrzeuge) bestimmt wird, wie gut die aktuelle Fahraufgabe bewältigt wird. Nach seiner Auffassung ist die aktuell zu bewältigende Fahraufgabe umso schwieriger, je höher und komplexer die tatsächlichen Fahranforderungen sind. Bei deutlich erhöhten Fahranforderungen sind ältere Fahrer durch kognitive Leistungseinschränkungen nicht immer in der Lage, diese durch angepasstes Fahrverhalten wie z. B. „Abstand halten“ zu kompensieren. Um das Unfallrisiko gering zu halten, sollten die Fahranforderungen durch verkehrsinfrastrukturelle und/oder fahrzeugtechnische Anpassungen möglichst gesenkt werden.

FALKENSTEIN & POSCHADEL (2008) haben in ihrer Veröffentlichung „Altersgerechtes Autofahren“ die im Alter auftretenden fahrsicherheitsrelevanten kognitiven Einschränkungen beschrieben und Hinweise zur besseren Gestaltung des Verkehrsraumes gegeben. So empfehlen die Wissenschaftler, altersspezifische Fahrtrainings durchzuführen, Änderungen der Verkehrsregeln deutlicher anzukündi-

gen bzw. weniger wichtige Informationen wie z. B. Werbung zu reduzieren und Hinweisreize zu wiederholen. Auf kurzfristige Änderungsmarkierungen und -regeln sollte deutlicher hingewiesen werden (z. B. auf der Fahrbahndecke aufgebrauchte wiederholte Geschwindigkeitsbegrenzungen statt einmaliger Schilder).

In der vorliegenden Arbeit soll jedoch der dritten der genannten Möglichkeiten, einer Anpassung der Automobiltechnik an die Bedürfnisse älterer Menschen, zur Erhaltung der Mobilität älterer Kraftfahrer nachgegangen werden.

2 Untersuchungen zum technischen Unterstützungsbedarf älterer Menschen

Die Bundesanstalt für Straßenwesen setzt sich seit Jahrzehnten im Rahmen von nationalen und europäischen Forschungsprojekten mit dem Thema „Ältere Menschen im Straßenverkehr“ auseinander. Im Zuge des technischen Fortschritts und der zunehmenden Verbreitung von Fahrerassistenz- und -informationssystemen ist die Frage, wie sich diese Systeme auf das Fahrerverhalten und die Fahrersicherheit unter Berücksichtigung der Handhabbarkeit dieser Systeme auswirken, bereits in zahlreichen Forschungsprojekten untersucht worden. Aufgrund des demografischen Wandels, in dem sich die Gesellschaften der wohl meisten Industrienationen befinden (z. B. ROSENBLOOM, 2001), sind so genannte „Altersfragestellungen“ schon seit über 15 Jahren ein immer wieder thematisierter Gegenstand von Untersuchungen des Fahrerverhaltens (z. B. GELAU, METKER & TRÄNKLE, 1994). Beispiele hierfür sind Untersuchungen zu Auswirkungen alterskorrelierter Veränderungen der Leistungsfähigkeit im perceptiven und/oder kognitiven Bereich auf das Fahrerverhalten oder zu speziellen Anforderungen älterer Fahrerinnen und Fahrer an die Gebrauchstauglichkeit von Fahrerassistenz- (FAS) und Fahrerinformationssystemen (FIS) (z. B. POHLMANN & TRÄNKLE, 1994). Darüber hinaus wurde aber auch die Frage nach altersspezifischem Unterstützungsbedarf durch FAS/FIS mit dem Ziel einer Steigerung der Fahrsicherheit und einer möglichst langen Erhaltung individueller Mobilität zum Gegenstand einschlägiger Projekte gemacht (z. B. DAVIDSE, 2006).

Da das Autofahren eine komplexe Mehrfachaufgabe darstellt, die wichtige visuelle und kognitive Anforderungen an die Fahrer stellt, ist es von großer Bedeutung, die Auswirkungen alterskorrelierter perceptiver und kognitiver Einschränkungen auf das Fahrverhalten zu untersuchen, um daraus Empfehlungen zum sicheren Autofahren älterer Kraftfahrer ableiten zu können.

In einem Forschungsprojekt wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen an der Universität Regensburg (DAHMEN-ZIMMER GRÜNDL, KOSTKA, SCHNEIDER & ZIMMER, 2007) im Rahmen eines Fahrsimulatorexperiments der Bedarf an altersspezifischer Unterstützung durch Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme näher untersucht. Ausgangspunkt dieses Projektes waren die aus vielfachen Studien gewonnenen Erkenntnisse, dass ältere Kraftfahrer größere Schwierigkeiten als jüngere haben, ihre Aufmerksamkeit selektiv auf die fahrrelevanten Informationen zu richten, und dass sie langsamer auf unerwartete Reize reagieren. Unfallverursachende Fahrfehler zeigen ältere Fahrer daher insbesondere in zeitkritischen Situationen mit hoher Informationsdichte wie z. B. beim Einbiegen, beim Kreuzen oder beim Beachten der Vorfahrt (z. B. GELAU, 2009, sowie Studien von SCHLAG, 2008). BOUGLER et al. (2005) evaluierten in ihrer Untersuchung mit älteren (65-84 Jahre) und jüngeren (20-38 Jahre) Versuchspersonen die Wirksamkeit eines Zeit-Lückenassistenten („Toyota GapAdvise LTAP“), der insbesondere ältere Fahrer unterstützen soll, in Kreuzungssituationen die zeitgenauen Abbiege-Entscheidungen zu treffen. Das Ergebnis erbrachte erwartungsgemäß mehr riskante Links-Abbiegemanöver für die jüngeren als für die älteren Fahrer (BOUGLER, CODY, GEYER, HORNE, MISENER, NOWAKOWSKI, RODIER, DAGLAND, SHAHEEN, CAGUIMBA, DANIELS & HAMEL, 2005).

In dem Experiment von DAHMEN-ZIMMER et al. (2007), in dem u. a. das Ergebnis von BOUGLER et al. bestätigt werden sollte, nahmen Versuchspersonen zweier Altersgruppen mit einem Durchschnittsalter von 26 (30-45) und 68 (60+) Jahren teil. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, an einem Fahrsimulator computergenerierte Fahrstrecken mit mehreren Linksabbiegesituationen und entgegenkommenden Fahrzeugen abzufahren. Um Lerneffekte auszuschließen, wurden die Fahrzeugtypen und Karosseriefarben der entgegenkommenden Fahrzeuge variiert. Zusätzlich wurde den Versuchspersonen eine Lücken-

assistentenfunktion bereitgestellt, die den Fahrer beim Linksabbiegen unterstützen sollte. Dabei wurden drei verschiedene Lückenassistentenfunktionen eingesetzt: Ein grüner Kreis bedeutete, dass noch genügend Zeit (mehr als 5 Sekunden) für ein Abbiegemanöver zur Verfügung stand. Ein gelber Kreis mit einem schwarzen Ausrufezeichen signalisierte, dass die Zeit noch ausreichte, um ein begonnenes Manöver zügig zu beenden (Zeitlücke zwischen 2 und 5 Sekunden). Mittels eines weißen Dreiecks mit roter Umrandung und schwarzem Ausrufezeichen wurde vor dem Abbiegen gewarnt (Zeitlücke kleiner als 2 Sekunden). Zusätzlich zur akzeptierten Zeitlücke wurde auch für jedes entgegenkommende Fahrzeug an der Kreuzung eine „Time to Collision“ (TTC) ermittelt, die Auskunft über die Zeitdauer bis zur potenziellen Kollision des abbiegenden Fahrzeugs mit dem entgegenkommenden Fahrzeug gab und somit über die Güte des Abbiegemanövers informierte. Bei zwei der insgesamt vier Experimentalfahrten war die Assistentenfunktion aktiviert und informierte die Versuchsperson durch das Aufleuchten des Symbols im Head-up-Display über die noch zur Verfügung stehende Zeitlücke.

Bei diesem Experiment sollte der Frage nachgegangen werden, ob ältere Fahrer von der Funktion eines Lückenassistenten profitieren, d. h., ob die Schwierigkeiten älterer Autofahrer beim Abbiegen durch einen Lückenassistenten kompensiert werden können. Den Ergebnissen von Literaturanalyse und Unfalldaten zufolge wurde erwartet, dass ältere Fahrer ohne die Funktion des Lückenassistenten Probleme beim Abbiegen zeigen, beim Einsatz des Assistenten jedoch die Zeitlücken so wählen, dass sie die Abbiegemanöver insgesamt sicherer bewältigen. Tatsächlich entsprachen die Ergebnisse des Experiments aber nicht den Erwartungen der Autoren: Die ältere Versuchspersonengruppe wählte insgesamt längere Zeitlücken ohne Einsatz des Lückenassistenten und wies auch längere TTC auf. Dies lässt vermuten, dass Ältere ihre etwaigen Unsicherheiten beim Abbiegen dadurch kompensieren, dass sie im Vorfeld mehr Zeit einplanen, um den Linksabbiegevorgang insgesamt sicherer zu vollziehen. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass ältere Fahrer dazu übergehen, Kompensationsstrategien zur Bewältigung beanspruchender Fahrsituationen einzusetzen. Nach diesem Ergebnis stellt sich jedoch auch die Frage, warum ältere Fahrer dann überhaupt Fahrfehler zeigen. Dieser Frage ist daher näher nachzugehen.

Aus zahlreichen Studien ist bekannt, dass ältere Menschen problemlos Einzel-Aufgaben bewältigen können, jedoch erhebliche Schwierigkeiten bekommen, wenn sie Parallel-Aufgaben oder Aufgaben unter Zeitdruck zu erledigen haben. In einem Folgeprojekt (GELAU, SIREK, DAHMEN-ZIMMER, 2009) wurde daher das o. g. Experiment von DAHMEN-ZIMMER et al. (2007) repliziert und um den Faktor „Zeitdruck“ als weitere unabhängige Variable erweitert. Die Versuchspersonen wurden während einer Fahrsimulation unter künstlich induzierten Zeitdruck gesetzt, indem ein Mitarbeiter als Mitfahrer der jeweiligen Versuchsperson die Instruktion gab, möglichst schnell zum Flughafen zu fahren, um den gebuchten Flug noch pünktlich zu erreichen. Erwartet wurde, dass ältere Fahrer unter der Bedingung „Zeitdruck“ und fehlendem Lückenassistenten Auffälligkeiten bei der Durchführung des Abbiegemanövers zeigen.

Als Ergebnis wurde zum einen festgestellt, dass es mittels künstlich erzeugten Zeitdrucks gelungen ist, in beiden Altersgruppen tatsächlich das Gefühl von Zeitdruck zu erzeugen, was sich darin äußerte, dass die TTC und die gewählten Zeitlücken in jeder Links-Abbiegesituation im Durchschnitt kürzer waren als unter der Bedingung „ohne Zeitdruck“. Zum anderen ergab sich allerdings, dass das Fahrverhalten bzw. die Fahrsicherheit der Älteren, insbesondere unter der schwierigen Bedingung „Zeitdruck“, mit denen der Jüngeren annähernd vergleichbar war.

DAVIDSE (2006) betont, dass Assistenzsysteme älteren Kraftfahrern ein Höchstmaß an Unterstützung bieten und daher eine auf ihre fahrrelevante Leistungseinschränkung ausgerichtete Funktion vorweisen sollten. Beispielsweise kämen Systeme infrage, die die aktuellen Informationen über die nächste Verkehrssituation direkt an den Fahrer weiterleiten oder ihn in seinen fahrrelevanten Aufmerksamkeitsleistungen unmittelbar unterstützen. Ob ältere und jüngere Fahrer die Vorteile eines Assistenzsystems erkennen und diese für sich nutzen, wurde in einer Studie von DAVIDSE, HAGEN-ZIEKER, von WOLFFENLAAR & BROUWER (2009) näher untersucht. Während die Versuchspersonen im Fahrsimulator eine Route fuhren, wurde ihnen durch das System frühzeitig vor Erreichen einer Kreuzung mitgeteilt, auf welches Ereignis zu achten sei (Rechts vor Links; Halten und/oder Überfahren der Kreuzung aufgrund der Distanz des herankommenden Fahrzeugs). In dieser Studie beurteilten beide Gruppen das einge-

setzte Fahrerassistenzsystem im Fahrsimulator als effektiv und gewinnbringend und einige gaben sogar an, dieses System kaufen zu wollen, wenn es im Handel zu erwerben wäre. Eine ähnliche positive Beurteilung ergab eine umfangreich durchgeführte Befragung, bei der u. a. die Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen sowie Informations- und Kommunikationssystemen bei über 54-jährigen Autofahrern erfasst wurde (JANSEN et al., 2001, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen). Das Ergebnis erbrachte insgesamt eine hohe Akzeptanz (80 %) von Assistenzsystemen, die der Orientierung im Verkehrsraum dienen (automatische Staumeldung, Navigationssystem), jedoch wurden Systeme, die automatisch in das Fahrgeschehen eingreifen können (z. B. eine automatische Geschwindigkeitsregulierung), als wenig relevant beurteilt. Allerdings standen ältere Fahrer einer Geschwindigkeitsregulierung dann positiv gegenüber, wenn das System aus Sicherheitserwägungen nur in spezifischen kritischen Fahrsituationen – wie zu hohe Geschwindigkeit in der Kurve – eingreift.

Mit den beschriebenen Experimenten ist insgesamt noch nicht geklärt, wie es zu den laut Statistik belegten Fahrfehlern älterer Kraftfahrer tatsächlich kommt. VOLLRATH, BRIEST & SCHIESSL (2006) betonen in ihrer Untersuchung „Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit“, dass eine Ursachenanalyse der Fehlhandlungen des Fahrers für die Entwicklung eines unterstützenden Systems wichtig ist. Danach werden Fehlerarten je nachdem unterschieden, an welcher Stelle der auszuführenden Handlung die Ursache des Fehlers zu finden ist, wie bei der Informationsaufnahme, Interpretation, Handlungsplanung oder Durchführung. Die Forscher haben in Anlehnung an RASMUSSEN (1982) ein Modell des Handlungsablaufs bei Fehlern erstellt und in Abhängigkeit von der jeweiligen Fehlerart Anforderungen an die Eingriffsstrategie für Fahrerassistenzsysteme abgeleitet (VOLLRATH et al., 2006):

- Informationsfehler: relevante Informationen werden vom Fahrer nicht wahrgenommen (z. B. Übersehen eines Radfahrers an einer Kreuzung):

FAS-Eingriffsstrategie: Information,

- Diagnosefehler: Verkehrssituation wird vom Fahrer falsch beurteilt (z. B. Unterschätzung der Geschwindigkeit eines entgegenkommenden Fahrzeuges):

FAS-Eingriffsstrategie: Warnung,

- Zielsetzungsfehler: Das Handlungsziel wird vom Fahrer falsch gesetzt (z. B. Abbiegen anstatt Abwarten an einer Kreuzung):

FAS-Eingriffsstrategie: aktive Unterstützung,

- Auswahlfehler: Fahrer trifft die falsche Vorgehensweise (z. B. Einordnen in die falsche Fahrspur zum Abbiegen):

FAS-Eingriffsstrategie: aktive Unterstützung,

- Handlungsfehler: Umsetzung in einzelne Handlungsschritte misslingen (z. B. wenn gleichzeitig gelenkt, gebremst und gehupt werden soll):

FAS-Eingriffsstrategie: Eingriff,

- Bedienungsfehler: Die motorische Ausführung erfolgt fehlerhaft (z. B. Fuß rutscht von der Bremse):

FAS-Eingriffsstrategie: Eingriff.

Um die Mobilität älterer Fahrer langfristig zu erhalten, ist es daher entscheidend, die Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer – insbesondere vor dem Hintergrund der kognitiven Leistungseinschränkungen – spezifischer zu erforschen, um daraus eine zielgerichtete technische Unterstützung durch Fahrerassistenzsysteme abzuleiten. Wichtig hierbei ist, zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen, welche Gruppe von Assistenzsystemen für ältere Kraftfahrer nutzbringend sein könnte.

Sollen Fahrerassistenzsysteme und Fahrerinformationssysteme von älteren Kraftfahrern vermehrt genutzt werden, um so zur Erhaltung der Mobilität beizutragen, so ist es erforderlich, sich mit Einschränkungen, die durch das zunehmende Alter bedingt sind, auseinanderzusetzen. Im Folgenden sollen daher einige dieser altersbedingten Einschränkungen näher ausgeführt werden, die Auswirkungen auf das Führen von Kraftfahrzeugen haben könnten.

3 Altersbedingte Einschränkungen

Auffällig ist, dass ältere Kraftfahrer trotz ihrer langjährigen Fahrerfahrung besonders in komplexen und neuartigen Verkehrssituationen, die schnelles Handeln erfordern, Schwierigkeiten aufweisen.

FASTENMEIER & GSTALTER (2007) belegen, dass vorwiegend an innerstädtischen Knotenpunkten ältere Kraftfahrer deutliche Fahrfehler erkennen lassen. So zeigen Senioren insbesondere folgende Fehler:

- mangelndes Sichern (Blickverhalten) beim Abbiegen,
- zu hohe Geschwindigkeit beim Heranfahen an Knotenpunkte sowie beim Abbiegen,
- Spurungenauigkeiten beim Abbiegen nach rechts/Hineinfahren in die Fußgänger- und Radfahrerfurt,
- zu zögerndes Verhalten in komplexen Situationen (gegenüber Radfahrern und Fußgängern).

Wissenschaftliche Untersuchungen (z. B. SCHLAG, 2008) zu älteren Kraftfahrern belegen, dass diese Gruppe von Kraftfahrern besonders in unvorhergesehenen Situationen, welche schnelles und adäquates Entscheiden erfordern, bei Fahrten unter Zeitdruck oder in komplexen Situationen, die zu Mehrbelastungen führen, Fahrfehler begehen, die sie offensichtlich nicht mehr durch ihre Fahrerfahrungen kompensieren können. Wenn man bedenkt, dass ältere Fahrer im Vergleich zu den jüngeren über deutlich mehr Fahrerfahrung verfügen, so stellt sich die Frage, warum sie o. g. Fahr-situationen oftmals nur schwer meistern.

Als eine Ursache für diese Auffälligkeiten werden seit Jahren altersbedingte Veränderungen im visuellen System ins Feld geführt. Im Folgenden soll daher auf die Veränderung der visuellen Wahrnehmung im Alter eingegangen werden.

3.1 Visuelle Wahrnehmung

Mit zunehmendem Alter, aber mit hoher interindividueller Variabilität, vermindern sich bestimmte visuelle Fähigkeiten, vor allem bezüglich der Sehschärfe, der Kontrastempfindlichkeit, des Dämmerungssehens, des peripheren Sehens und der visuellen Lokalisation (COHEN, 2007). Da die visuelle Information die wichtigste Informationsquelle für den Fahrer darstellt (80-90 % verkehrsrelevanter Informationen werden beim Führen von Kraftfahrzeugen visuell wahrgenommen, siehe z. B. ABENDROTH & BRUDER, 2009), ist dem visuellen System bei der Ursachenforschung der Fahrfehler besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Zur besseren Übersicht werden im Folgenden einige wesentliche Aspekte des visuellen Wahrnehmungssystems angesprochen.

3.1.1 Blickbewegungen

COHEN konnte in seinen Untersuchungen mit Fahranfängern (zuletzt 2007) nachweisen, dass diese während des Fahrens relativ häufig Blickbewegungen auf die im unmittelbaren Umfeld des Fahrzeuges vorherrschenden Situationen ausführen, um alle verkehrsrelevanten Informationen während der Fahrt aufzunehmen. Je mehr Erfahrungen der Fahranfänger sammelt, desto häufiger werden die seitlichen Blickbewegungen durch das periphere Sehen abgelöst. COHEN ist der Auffassung, dass mit zunehmendem Alter das periphere Sehen nachlässt, der ältere Fahrer diesen Verlust aber nicht bemerkt. Der Betroffene bleibt daher bei seiner gewohnten Aufmerksamkeitsleistung – nämlich den Blick nach vorne zu richten – und übersieht dadurch Objekte außerhalb des zentralen Sehfeldes.

Der Autor geht auch davon aus, dass die Alterung eines Menschen neben nachlassender Wahrnehmungsleistung eine generelle Verlangsamung des Organismus und der Informationsverarbeitung bedingt. Dabei deutet er darauf hin, dass der verlangsamte Informationsstrom teilweise durch aktualisiertes Wissen (z. B. Erfahrungen) kompensiert wird.

3.1.2 Nutzbares Sehfeld, visuelle Aufmerksamkeit und visuelle Suche

Wie zahlreiche Untersuchungen (z. B. COHEN, 1987; WALKER, SEDNEY & MAST, 1992) belegen, geht mit zunehmender Beanspruchung des Fahrers (z. B. durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit) eine Verengung des nutzbaren Sehfeldes („useful field of view“) einher. „Useful field of view“ wird nach MACKWORTH (1976, S. 307) wie folgt definiert: „The useful field of view is defined as the area around the fixation point from which information is being processed, in the sense of being stored or acted upon during a given visual task.“ Untersuchungen zum „useful field of view“ zeigen, dass die Schnelligkeit der visuellen Verarbeitung, die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit sowie die Fähigkeit, relevante Reize vor einem Hintergrund zu erkennen, bei älteren Kraftfahrern häufiger reduziert sind als bei jüngeren.

WALKER et al. (1992) vermuten als Ursache für die altersbedingten Schwierigkeiten hinsichtlich der Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit ein im Durchschnitt zu geringes nutzbares Sehfeld bei älteren Menschen. Nach OWSLEY et al. (1991) erhöhen Mängel bei der visuellen Informationsverarbeitung und der Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit die Unfallwahrscheinlichkeit (OWSLEY, BALL, SLOANE, ROENKER & BRUNI, 1991).

3.1.3 Peripheres Sehen

Obwohl das periphere Sehen eine fahrrelevante Funktion darstellt und diese bereits in umfangreichen Studien bestätigt wurde (z. B. OWSLEY et al., 1991; STAPLIN, HARKEY, LOCOCO & TARAWNEH, 1997), gibt es Hinweise darauf, dass die für das Fahren wichtige Rolle des peripheren Sehens noch nicht ausreichend untersucht wurde. Das periphere Sehen beim Fahren wird dann besonders bedeutsam, wenn Reize oder Objekte im peripheren Sehbereich auftauchen, die der Fahrer zur Vermeidung von Kollisionen unbedingt zu berücksichtigen hat (z. B. Radfahrer beim Rechtsabbiegen). Ein Objekt wird vom Fahrer umso eher wahrgenommen, je näher dieses zur Fovea centralis (Punkt des schärfsten Sehens auf der Netzhaut) abgebildet wird. Nach LACHENMAYR (2006) ist insbesondere das Gesichtsfeld bis etwa 30 Grad Abstand vom Fixationspunkt von hoher Bedeutung für das Führen von Kraftfahrzeugen.

Bild 1 veranschaulicht das binokulare Gesichtsfeld, das sich bis ca. 60 Grad um den Fixationspunkt

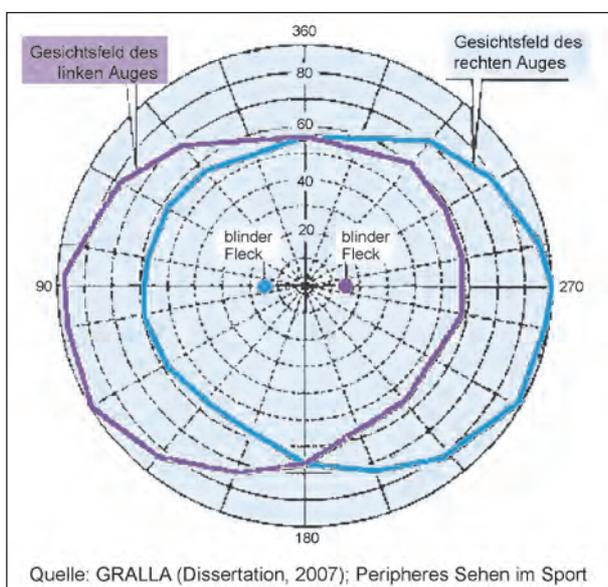


Bild 1: Binokulares Gesichtsfeld

erstreckt (120 Grad horizontal). Weiter außen liegen die monokularen Regionen. Etwa 15 Grad rechts bzw. links vom Fixationspunkt befindet sich der blinde Fleck, d. h., an dieser Stelle befinden sich keine Sehzellen (physiologische Blindheit).

In Anlage 6 der Fahrerlaubnis-Verordnung (Fünfte Verordnung zur Änderung der Fahrerlaubnis-Verordnung und anderer straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften vom 01.07.2011) wird gefordert, dass zum Führen von Kraftfahrzeugen der Gruppe 1 (darunter fällt die Fahrerlaubnisklasse B) das beidäugige Gesichtsfeld des Fahrers einen horizontalen Durchmesser von mindestens 120 Grad aufweisen und das zentrale Gesichtsfeld bis 20 Grad normal sein muss. Die beidäugige Gesamtsehschärfe muss mindestens 0,5 betragen, wobei Fehlsichtigkeiten so weit wie möglich korrigiert werden müssen. Diese Mindestanforderungen sind wichtig, um ausreichende Sehfunktionen zur Überwachung des Verkehrsraums zu gewährleisten.

3.1.4 Visuomotorische Koordinationsleistung

Neben der visuellen Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung besteht die wesentliche Fahraufgabe in der motorischen Führung des Fahrzeugs. Nach BACKS (1997) erfordert die Durchführung einer Spurhalteaufgabe visuomotorische Koordinationsleistungen bei gleichzeitiger Beteiligung selektiver Aufmerksamkeitsprozesse. Visuomotorische Koordinationsleistungen jedoch setzen eine intakte visuell-räumliche Wahrnehmung voraus, die sich nach KERKHOFF (1988) in einer richtigen Abschätzung von Positionen, Entfernungen, Abständen und Winkeln äußert. Eine Beeinträchtigung dieser Basisleistungen kann zu Störungen vieler alltäglicher Tätigkeiten führen. In vielen Rehabilitationseinrichtungen wird eine Trackingaufgabe daher als Training zur Verbesserung der visuomotorischen Koordination eingesetzt. Neurophysiologen ordnen visuell-räumliche Leistungen dem hinteren Parietallappen zu, wobei der rechten Hemisphäre hierbei eine dominierende Rolle zukommt. POSCHADEL et al. (2012) betonen in ihrer Untersuchung zu Defiziten und Kompensationsmöglichkeiten älterer Kraftfahrer, dass mit altersbedingten Leistungsminderungen atrophische Veränderungen der Hirnsubstanz insbesondere in den prä-frontalen und parietalen Hirnarealen einhergehen. Dies könnte die schlechte Leistung Älterer bei räumlichen Aufgaben erklären, z. B. beim visuell-

räumlichen Scannen (WILD-WALL, HOHNSBEIN & FALKENSTEIN 2007) und beim Tracking (HAHN, FALKENSTEIN & WILD-WALL, 2010).

3.2 Kognitive Funktionen

Schon im letzten Jahrhundert wurden Untersuchungen zur Fahreignung und zum Alter des Fahrers durchgeführt. Die Ergebnisse und Erfahrungen mit den im frühen 20. Jahrhundert zum Einsatz gebrachten psychotechnischen Eignungsuntersuchungen zur Klärung der Fahreignung wiesen insgesamt darauf hin, dass die Fähigkeitsleistungen mit zunehmendem Alter nachließen. So ergaben die Leistungsuntersuchungen bei Militärkrafth Fahrern, bei Lokomotivführern oder dem Personal der Deutschen Reichsbahn, dass z. B. das Raumgedächtnis bzw. die Reaktionszeiten bereits im mittleren Alter sinken. Hierzu schreibt HERWIG (1928, S. 781): „Es zeigt sich nach allen diesen Untersuchungen, dass im Durchschnitt etwa das 40. Lebensjahr eine starke Senkung der Leistungsfähigkeit mit sich bringt, die weniger auf intellektuellen Gebieten liegt als bei solchen Fähigkeiten, die gewisse Geschicklichkeiten oder aber schnelles Einstellen auf gewisse Situationen und rasches Handeln umfassen. Es trifft dies daher in ganz besonderem Maße für die Fahrerberufe zu.“

Aktuellere Untersuchungsergebnisse z. B. von SHINAR & SCHIEBER (1991) bestätigen zwar, dass ältere Fahrer dann schlechtere Leistungen bei der kognitiven Informationsverarbeitung und der Aufmerksamkeit aufweisen, wenn mehrere Informationen gleichzeitig zu bearbeiten und relevante Informationen von irrelevanten zu unterscheiden sind, jedoch beziehen sich die heutigen Ergebnisse im Durchschnitt auf Personen, die das 60. Lebensjahr bereits überschritten haben.

Die o. g. Ergebnisse werden auch durch aktuellere Untersuchungen bestätigt: Nach FALKENSTEIN & SOMMER (2008) sind insbesondere die exekutiven Funktionen (Kontrollfunktionen) bei älteren Menschen beeinträchtigt. So zeigen Senioren besondere Schwierigkeiten, wenn es um die schnelle und selektive Verarbeitung von Informationen unter Ablenkungsbedingungen und um eine schnelle Einstellung auf neue Situationen und Aufgaben geht (z. B. schnelles Entscheiden in unvorhergesehenen Situationen, Fahren unter Zeitdruck und bei Mehrbelastung). Kontrollprozesse sind vor allem für sol-

che Tätigkeiten wichtig, bei denen es auf schnelle Aktionen und Reaktionen, auf den Wechsel von einer Aufgabe zur nächsten unter Zeitdruck ankommt, wie auch beim Führen von Kraftfahrzeugen. In welchem Ausmaß die exekutiven oder Kontrollfunktionen im Alter verändert sind und wie stark sie sich im offenen Verhalten auswirken, ist individuell sehr verschieden.

POSCHADEL et al. (2012) bringen in ihrer Untersuchung zu altersbedingten sensorischen und kognitiven Veränderungen die in Laboren eingesetzte Spurhalteaufgabe mit grundlegenden Fahraufgaben in Zusammenhang. Beide Aufgaben stellen vergleichbare kognitive Leistungsanforderungen an die Person. Sie nehmen dabei auch Bezug auf Forschungsergebnisse von KETCHAM & STELMACH (2004), die herausfanden, dass bei einer Trackingaufgabe die wahrgenommene Abweichung von der Sollspur (der Spur, die den optimalen Spurverlauf anzeigt) erst nach einer zeitlichen Verzögerung in eine Kontrollreaktion umgesetzt wird. Bei älteren Menschen sei diese Verzögerungszeit verlängert. Nicht auszuschließen sei, dass eine deutlich verzögerte Lenkbewegung das Unfallrisiko insgesamt erhöhen könnte. POSCHADEL et al. (2012) verweisen in diesem Zusammenhang auf WICKENS & HOLLANDS (2000), die jede Verzögerung in der Verarbeitungszeit als kritisch bewerten, da so optimale Anpassungen an den tatsächlichen Streckenverlauf nicht mehr gewährleistet seien.

In anderen Veröffentlichungen (z. B. BUCHSTALLER, 2007; POSCHADEL & FALKENSTEIN, 2009) wird betont, dass psychometrisch erfasste kognitive Leistungsdefizite bei älteren Personen nicht immer in unmittelbarem Zusammenhang mit einer Verschlechterung des Fahrverhaltens gebracht werden können. So weist BUCHSTALLER darauf hin, dass nach SEIDLER & STELMACH (1996) ältere Menschen in ihren Antwortreaktionen häufig 30 % bis 60 % langsamer sind als Jüngere. Dieser Alters-effekt zeige sich besonders im Faktor „Entscheidungszeit“, die umso länger werde, je komplexer die Handlungsaufgabe gestaltet sei. Bislang durchgeführte Untersuchungen zeigten jedoch keinen direkten Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und Unfallhäufigkeit. Dies lässt sich u. a. dadurch erklären, dass die einfache Reaktionszeit, die z. B. auch beim Bremsen relevant ist, bei Älteren nur geringfügig verringert ist (z. B. YORDANOVA, KOLEV, HOHNSBEIN & FALKENSTEIN, 2004). Bei der Erfassung kognitiver Funk-

tionen auf der Ebene von Verhaltensbeobachtungen und -messungen wird nach WILD-WALL et al. (2007) ein methodisches Problem deutlich, das darin besteht, dass Ältere bestimmte Defizite kompensieren (wie z. B. Vermeidung kritischer Situationen, Reduktion der Geschwindigkeit), sodass ihre bestehenden Defizite nicht unbedingt im offenen (Fahr-)Verhalten erkennbar sein müssen. Damit sind der Erfassung kognitiver Funktionen auf der Verhaltensebene Grenzen gesetzt. Zum anderen wird durch reine Verhaltensbeobachtungen nicht immer klar, wo in der Verarbeitungskette altersbegleitende Defizite auftreten. Dies hat erhebliche Folgen für das Design von FAS. Wenn Ältere Reize langsamer wahrnehmen als Jüngere, hat das andere Konsequenzen für das Design von FAS, als wenn sie ihre Motorik langsamer aktivieren.

Für das Verständnis und die Aufklärung altersbedingter Spurabweichung ist es daher von großer Bedeutung, Maße hinzuzuziehen, die helfen, die Quellen altersbegleitender Verhaltenseinbußen aufzuzeigen. Konkret sollte geklärt werden, ob sensorische, kognitive oder motorische Funktionen die Ursache der Einschränkung sind. Des Weiteren ist es für die Erkennung von Risiken wichtig, auch unterschwellige Veränderungen sensorischer, kognitiver oder motorischer Funktionen zu erkennen. Außerdem wäre es von großem Wert, unterschiedliche Kompensationsprozesse, die Ältere häufig anwenden, aufzudecken und wenn möglich zu quantifizieren. Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP), die durch Mittelung aus dem Elektroenzephalogramm (EEG) extrahiert werden können, bieten genau diese Möglichkeiten. Zum einen können mit EKP verschiedene sensorische, kognitive und zentral-motorische Funktionen in ihrer Intensität und in ihrem Zeitverlauf erfasst werden. Zum anderen können durch den Vergleich mit Normstichproben unterschwellige Veränderungen von Prozessen detektiert werden. Zuletzt kann man mit EKP einige Kompensationsprozesse, z. B. Vorbereitung und sensorische Aufmerksamkeit, messbar machen (z. B. WILD-WALL et al. 2007). Die Verwendung von EKP bietet sich auch deshalb an, weil es Hinweise auf altersbedingte Veränderungen von aufmerksamkeits sensitiven Komponenten gibt, welche auf eine Veränderung der Aufmerksamkeitssteuerung bei Senioren hindeuten.

Andere Untersuchungen, die bildgebende Verfahren eingesetzt haben, haben auch gezeigt

(GRADY, 2000), dass ältere Menschen im Vergleich zu jüngeren kortikale Aktivierungsunterschiede aufweisen, d. h. zusätzliche frontale Aktivierungen während der Bearbeitung von kognitiven Aufgaben beanspruchen. Die Forscher interpretieren diese Ergebnisse dahingehend, dass Ältere Kompensationsstrategien zur Unterstützung kognitiver Funktionen einsetzen. YORDANOVA et al. (2004) konnten mit Hilfe von EKP zeigen, dass die längere Reaktionszeit Älterer nicht durch eine Verzögerung kognitiver Prozesse zustande kommt, sondern durch eine vermutlich strategische Verzögerung der Reaktion. Mithin ist die verlängerte Reaktionszeit Älterer anscheinend kein Defizit, was den oben erwähnten fehlenden Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit plausibel macht. Weiterhin konnten YORDANOVA et al. (2004) zeigen, dass Ältere die Reizverarbeitung intensivieren, was sich als Erhöhung der Amplitude der P1-Komponente zeigte, welche frühe Verarbeitungsprozesse widerspiegelt.

Die vorliegende Studie verwendet daher EKP-Maße, um mögliche Defizite älterer Kraftfahrzeugführer differenzierter erfassen zu können. Im Folgenden werden in Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsdefiziten Älterer auch neurophysiologische Aspekte dargestellt.

3.3 Aufmerksamkeit

Das Thema „Aufmerksamkeit“ stand bereits in den frühen Anfängen des 20. Jahrhunderts in Zusammenhang mit dem Einsatz psychologischer Eignungstests im Fokus der Verkehrspsychologie. Mit Beginn des Ersten Weltkrieges, der erstmalig technisiert und motorisiert geführt wurde, wurden psychotechnische Prüfstellen eingerichtet, um nur die geeignetsten Soldaten für den Umgang mit technischen Waffen, Geräten und Fahrzeugen auszubilden. So wurden damals schon hohe Anforderungen an die Ausübung von Fahrerberufen gestellt, indem neben verschiedenartigen Fahrproben auch Einzelfunktionen gemessen wurden. W. MOEDE, der 1915 für die Auslese von Militärkraftfahrern verantwortlich war und die erste psychotechnische Prüfstelle des Heeres errichtete, wollte ein möglichst valides Messinstrument zur Erfassung der Anforderungen an einen Kraftfahrer anwenden und entwickelte auf dieser Grundlage die „Aufmerksamkeits-Reaktionsprobe“. Bereits 1918 existierten 14 psychotechnische Prüfstellen für Militärkraftfahrer, in denen Fahreignungsunter-

suchungen durchgeführt wurden (MOEDE, 1926, S. 23-26). MOEDE legte besonderen Wert auf die Sinnestüchtigkeit der Augen und auf gute Aufmerksamkeits- und Reaktionsleistungen im gesamten extrapersonalen Raum und entwickelte daher ein Messinstrument zur Erfassung einer breiten Aufmerksamkeitsverteilung. Hierbei wurden externe Reize (Aufleuchten von Lampen und Töne) über ein großes Blickfeld hin verteilt dargeboten und gleichzeitig simulierte Fahrverhaltensreaktionen (Betätigung eines Gashebels oder Fußbremse) von der Testperson abverlangt (HERWIG, 1928).

Folgendes Zitat der Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine verdeutlicht, wie lange schon die Erfassung der Aufmerksamkeit mit dem Führen eines Kraftfahrzeuges in Zusammenhang gebracht wird:¹

„Der Gedanke, dass ein Mensch auf seine Eignung untersucht werden muß, bevor ihm die Erlaubnis erteilt wird, ein Kraftfahrzeug zu führen, ist nicht so neu, wie man nach den Entstehungsdaten der amtlich anerkannten Medizinisch-Technischen Untersuchungsstellen bei den Technischen Überwachungs-Vereinen in der Bundesrepublik meinen könnte. Man muß sich in den Geist der Jahrhundertwende versetzen, um zu verstehen, daß bereits 14 Jahre nach dem Bau des ersten vierrädrigen Motorwagens (Daimler 1886) öffentlich Eignungsuntersuchungen der Fahrzeugführer gefordert wurden“.

In einer Veröffentlichung verweisen die Autoren LEWRENZ und WINKLER (1962) auf einen italienischen Arzt namens Patrizi, der bereits im Jahre 1900 forderte, dass die „Konstanz der Aufmerksamkeit“ der Kraftfahrer mit psychologischen Methoden zu erfassen sei, und hiermit den Grundstein für die auch heute noch gültigen Eignungsvoraussetzungen des Kraftfahrers auf eine schnelle, sichere visuelle Orientierung in der Umgebung mit ständig wechselnden Verkehrssituationen legte.

Aufmerksamkeit wird als eine relevante kognitive Anforderung für das Führen eines Kraftfahrzeuges verstanden (s. auch Begutachtungs-Leitlinien zur

Kraftfahrereignung, 2009). Aus Studien, die neuropsychologische Testleistungen und Ergebnisse einer Fahrprobe miteinander korrelieren, geht hervor, dass vor allem die kognitive Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sowie Aufmerksamkeitsfunktionen eine große Rolle für die Fahrereignung spielen (BUKASA & PIRINGER, 2001).

3.3.1 Neurophysiologie der Aufmerksamkeit

Nach heutigen Erkenntnissen sind funktionierende Aufmerksamkeitsleistungen für eine adäquate Bewältigung von nahezu allen intellektuellen Tätigkeiten unabdingbar und bilden somit die Basis für sämtliche kognitive Prozesse wie Wahrnehmung, Orientierung, Gedächtnis, planerisches/problemorientiertes Denken etc.

Dass Aufmerksamkeit für kognitive Prozesse eine zentrale Bedeutung zukommt, wird durch Beobachtungen an Patienten nach Hirnschädigungen belegt, da diese mehr oder weniger weitreichende Einschränkungen in allen Bereichen des täglichen Lebens aufweisen.

Aufmerksamkeit stellt keine einzelne kognitive Funktion dar, die neuroanatomisch einem Hirnareal zugeordnet werden kann, sondern es werden diskrete anatomische Netzwerke angenommen, innerhalb derer aufmerksamkeitsspezifische Operationen verschiedenen Hirnarealen zugeschrieben werden (z. B. FERNANDES-DUQUE & POSNER, 2001).

3.3.1.1 Aufmerksamkeitstheorie von POSNER & PETERSEN, 1990

POSNER & PETERSEN (1990) haben sich intensiv mit visueller Aufmerksamkeit und den zugrunde liegenden neuronalen Systemen beschäftigt. POSNER beschreibt drei wesentliche Systeme/Netzwerke, die mit Aufmerksamkeit assoziiert sind (nach SCHMENK, 2003):

Das posteriore Netzwerk ist für die Kontrolle der räumlichen Orientierung der Aufmerksamkeit verantwortlich. Hier unterscheiden die Wissenschaftler drei Subprozesse, nämlich die Loslösung des Aufmerksamkeitsfokus (Disengagement – Areal des posterioren Parietallappens), die Verschiebung (Shifting – Areal des superioren Colliculus) sowie die Fokussierung auf das neue Objekt (Engagement – Areal des Thalamus). Forschungsergebnisse zeigen, dass Läsionen im posterioren Parietal-

¹ Quelle: „Die amtlich anerkannten Medizinisch-Psychologischen Untersuchungsstellen bei den Technischen Überwachungs-Vereinen. Werdegang und Arbeitsweise“, Hrsg.: Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e. V., Essen, 1962, S. 9

lappen Einschränkungen bei der Loslösung der Aufmerksamkeit (Disengagement) verursachen, wenn die Aufmerksamkeit auf einen neuen Zielreiz in der kontralateral zur Läsionsseite gelegenen Raumhälfte verschoben werden soll.

Das anteriore oder exekutive Netzwerk ist für die Fokussierung der Aufmerksamkeit verantwortlich, um Aufgaben/Funktionen wie Inhibition, Aufgabenwechsel, Konfliktlösung, Ressourcenzuteilung, Planung etc. erfüllen zu können. Zu diesem Netzwerk gehören der präfrontale Kortex und der Thalamus. Eine Beteiligung der Basalganglien sowie des anterioren Cingulums wird ebenfalls angenommen.

Das subkortikale System oder Vigilanzsystem generiert die Grundaktivierung (Alertness/Arousal) des Organismus und erhält diese aufrecht. Zu diesem System gehören die mesencephale retikuläre Formation (MRF) sowie rechtshemisphärische kortikale Areale.

Die Funktion Alertness, die als eine Art Reaktionsbereitschaft des Organismus für externe Stimuli verstanden wird, stellt die unterste Ebene in der hierarchischen Ordnung dar und bildet die Voraussetzung für höhere selektive Funktionen der Aufmerksamkeit.

Zwischen den drei Aufmerksamkeitssystemen postulieren POSNER & PETERSEN (1990) eine enge Verbindung. So gehen die Forscher davon aus, dass der präfrontale Kortex als „Top down“-Regulierung das Noradrenalinsystem beeinflusst. Über das MRF innerviert der präfrontale Kortex das posteriore System (FERNANDES-DUQUE & POSNER, 1997).

3.3.1.2 Aufmerksamkeitsmodell von WICKENS

WICKENS (1984a) spricht in seinem Aufmerksamkeits-Erklärungsmodell von „multiplen Ressourcen“ anstelle von Aufmerksamkeit und betont, dass der Organismus unterschiedliche und voneinander unabhängige Ressourcen bereitstellen kann, die je nach Kapazität letztlich über die Qualität der Durchführung von Aufgaben entscheiden. Demnach interferieren zwei Aufgaben, wenn die vom Organismus hierfür zur Verfügung gestellten Ressourcen den gleichen Verarbeitungstyp („code“) beanspruchen. Dies bedeutet, wenn beide Aufgaben visuell-räumliche Anforderungen enthalten, so sind diese schlechter zu bewältigen, als wenn z. B. eine Auf-

gabe visuell-räumliche und die andere verbale Anforderungen hat.

Im Kapitel 3.3.2 werden zwei neurophysiologische Methoden (bildgebende Verfahren, elektrophysiologische Methoden) dargestellt, mit denen sich Aufmerksamkeit erfassen lässt.

3.3.2 Neurophysiologische Methoden zur Erfassung sensorischer und kognitiver Prozesse, insbesondere der Aufmerksamkeit

3.3.2.1 Bildgebende Verfahren

Bildgebende Verfahren werden seit mehreren Jahrzehnten für die klinische Diagnostik eingesetzt. Diese Verfahren können auch für die Erfassung von sensorischen und kognitiven Prozessen genutzt werden.

In einem Experiment zur genaueren Spezifizierung eines alterskorrelierten kortikalen Aufmerksamkeits-Netzwerkes (SOLBAKK, FUHRMANN, FURST, HALE, OGA & CHETTY, 2008) erhielten ältere und jüngere Probanden eine visuell-räumliche Aufmerksamkeitsaufgabe, währenddessen wurde eine Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT) zur Darstellung der Hirnaktivität durchgeführt. Ältere benötigten insgesamt höhere Bearbeitungszeiten als jüngere und reagierten auch häufiger auf irrelevante Reize. Auf neuronaler Ebene wiesen die mit Aufmerksamkeit assoziierten Hirnareale älterer Probanden eine geringere Aktivität auf als die der jüngeren. Die Wissenschaftler schlossen daraus, dass mit zunehmendem Alter eine funktionale Aktivitätsveränderung im Aufmerksamkeits-Regelkreis stattfindet, der insgesamt die kognitiven Leistungen beeinflusst.

In einer früheren MRT-Studie wiesen TOWNSEND ADAMO & HAIST (2006) nach, dass bei Älteren bereits bei der Bearbeitung einfacher selektiver Aufmerksamkeitsaufgaben die frontalen und parietalen Hirnareale aktiv sind, während bei den Jüngeren sich lediglich bei anspruchsvolleren Aufgaben (Aufmerksamkeitswechsel-Aufgaben) eine frontale Mitbeteiligung zeigt. Diese Ergebnisse bestätigen Befunde, dass Ältere die Bewältigung von bereits weniger anspruchsvollen Aufgaben durch Rekrutierung frontaler Areale kompensieren. Die Daten zeigen weiterhin, dass Ältere irrelevante Reize stärker verarbeiten als Jüngere, was auf einen Verlust von attentionaler Selektivität bei Älteren hinweist.

3.3.2.2 Elektrophysiologische Verfahren

Elektrophysiologische Verfahren wie z. B. die Ableitung von Gehirnströmen mit Hilfe eines Elektroenzephalogramms (EEG) werden seit vielen Jahrzehnten vornehmlich in der klinischen Diagnostik, aber auch in der Grundlagenforschung erfolgreich eingesetzt. Das EEG dient dazu, Aussagen über die Vorgänge der elektrischen Hirntätigkeit während eines Informationsverarbeitungsprozesses treffen zu können. Die aufgezeichneten Hirnströme bzw. EEG-Signalabschnitte werden zu einem bestimmten Ereignis (z. B. Reizpräsentation, Reaktion) gemittelt und die Potenzialschwankungen für eine weitere Analyse extrahiert.

Die hierbei erfassten elektrischen Signale werden direkt mit Informationsverarbeitungsprozessen, die im Gehirn ablaufen, in Beziehung gesetzt. Seit mehreren Jahren findet diese Untersuchungsmethode aufgrund der profunden Daten auch in der Arbeitspsychologie zunehmend Anwendung. Mit Hilfe eines EEG-Gerätes werden reizevozierte Spannungsveränderungen des Gehirns von der Kopfhaut abgeleitet. Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) sind reizevozierte Spannungsänderungen des Gehirns, die von der Kopfoberfläche (Skalp) abgeleitet werden können und zeitlich an sensorische, motorische oder kognitive Prozesse gekoppelt sind. Sie werden abgeleitet, indem ein Reiz mehrfach präsentiert und die entsprechenden EEG-Epochen reizbezogen gemittelt werden. So wird die nicht reizgebundene (Spontan-)Aktivität herausgemittelt (RÜSSELER & MÜENTE, 2005). EKP, die zeitlich an sensorische, motorische oder kognitive Prozesse gekoppelt sind, haben den Vorteil, dass sie während einer kognitiven Aufgabebearbeitung erfasst werden können, im Gegensatz zu anderen üblichen Verhaltensmaßen wie Reaktionszeiten, die eher das Ergebnis einer Informationsverarbeitung darstellen. Die Aufdeckung kompensatorischer Verarbeitungsstrategien wird dadurch ermöglicht. Die Untersuchung von EKP ist besonders vorteilhaft bei der Erforschung von Informationsverarbeitungsdefiziten nicht nur bei z. B. neurologischen/psychiatrischen Patienten, sondern auch bei der Untersuchung altersspezifischer kognitiver Defizite, wie im Folgenden ausgeführt wird:

Das EKP zeigt sich als Sequenz von positiven und negativen Komponenten, die bei visuellen Reizen im Zeitbereich von ca. 50 bis ca. 500 ms nach Reizbeginn auftreten. Die frühesten visuellen EKP-

Komponenten treten ab ca. 50 ms nach foveal präsentierten visuellen Reizen mit Maximum über den okzipitalen Arealen auf, welche die frühe Reizverarbeitung im striatären visuellen Cortex widerspiegeln (z. B. LOWITZSCH, 1993). Bei parafovealer Reizpräsentation sind die frühen Anteile dieses Komplexes reduziert (z. B. LOWITZSCH, 1993; JEDYNAK & SKRANDIES, 1998) oder fehlen (KUTAS, IRAQUI & HILLYARD, 1994). Hier tritt als früheste klar detektierbare Komponente eine Positivität mit Maximum bei ca. 100 bis 150 ms über dem posterioren Skalp auf, die P1, welche mit der Reizverarbeitung im extrastriären visuellen Cortex assoziiert wird (KUTAS et al., 1994). Nach der P1 folgt (bei Reaktionsaufgaben) eine mehr anterior fokussierte negative Komponente, die sog. N2 (KUTAS et al., 1994), welche mit der Detektion von Reizänderungen und mit Kontrollprozessen assoziiert wird, wobei die genaue funktionelle Bedeutung der Kontrollprozesse von der jeweiligen Aufgabe abhängt (FOLSTEIN & van PETTEN, 2008; GAJEWSKI, STOERIG & FALKENSTEIN, 2008). Hiernach folgt (bei Reaktionsaufgaben) ein großer positiver Komponenten-Komplex, die P300, welcher sich aus einer fronto-zentralen Subkomponente (P3a) und einer parietalen Subkomponente (P3b) zusammensetzt (FALKENSTEIN, HOHNSBEIN & HOORMANN, 1994). Die P3a wird allgemein mit der Orientierung von Aufmerksamkeit auf potenziell relevante Reize in Zusammenhang gebracht (POLICH, 1997), während die P3b die Geschwindigkeit der neuronalen Verarbeitungsprozesse sowie Allokation neuer Ressourcen anzeigt (PRITCHARD, 1981; DONCHIN & COLES, 1988; GAJEWSKI, WILD-WALL, HOFFMANN & FALKENSTEIN, 2009). Die Latenz der genannten Komponenten zeigt den Zeitbedarf der einzelnen zugeordneten Funktionen, die Amplituden deren Intensität.

3.3.3 EKP, Alter und Doppel-Aufgaben

Die Latenz der N2, der P3a und der P3b steigt mit zunehmendem Alter an, während die Amplituden meist abnehmen (POLICH, 1997; FALKENSTEIN, HOHNSBEIN & HOORMANN, 2002). Dies zeigt eine Beeinträchtigung der zugeordneten Funktionen im Alter. Hinsichtlich der frühen Komponenten konnten YORDANOVA et al. (2004) hingegen bei Reaktionsaufgaben zeigen, dass bei älteren Versuchspersonen eine Erhöhung der Amplitude der P1 auftritt, was auf eine kompensatorische Erhöhung der visuellen Verarbeitung bei Älteren hindeutet. Weiterhin konnten diese Autoren zeigen, dass

die Reaktionszeiterhöhung der Älteren im Wesentlichen auf eine verzögerte Reaktionsaktivierung bei den Älteren zurückzuführen war.

Bezogen auf Doppel- vs. Einzel-Aufgaben wird angenommen, dass altersbedingte Veränderungen in einzelnen EKP-Komponenten bei Doppel-Aufgaben größer sind als bei Einzel-Aufgaben. WESTER et al. (2008) konnten zeigen, dass bei Doppel- im Vergleich zu Einzel-Aufgaben die Verarbeitung von aufgabenirrelevanten Reizen in der Zweitaufgabe verringert war, was sich in einer reduzierten P3a widerspiegelte. Im Verhalten zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Bedingungen. Dies deutet darauf hin, dass unter Doppel-Aufgaben-Belastung die Orientierung der Aufmerksamkeit auf aktuell irrelevante Reize, welche aber potenziell relevant sein können, reduziert ist (WESTER, BÖCKER, VOLKERTS, VERSTER & KENEMANS, 2008). Auch diese Arbeit zeigt, dass mit der EKP-Methodik Veränderungen in der Reizverarbeitung aufgedeckt werden können, die im Verhalten nicht zutage treten.

4 Ziele, Fragestellung, unabhängige und abhängige Variablen, Hypothesen

4.1 Ziele und Fragestellungen

Aufgrund der zunehmenden Überalterung unserer Gesellschaft wird es immer bedeutsamer, sich mit dem Erhalt der Mobilität älterer Menschen auch wissenschaftlich zu beschäftigen. Die Anzahl der Senioren, die es zeitlebens gewohnt sind, sich mit dem Pkw fortzubewegen, wird stetig ansteigen. Frühere und heutige Unfallanalysen zeigen jedoch, dass ältere Menschen trotz ihrer Fahrerfahrung spezifische Fahrfehler aufweisen, zu deren Ursachen bislang noch tiefere Erkenntnisse fehlen, wie in der vorstehenden Literaturanalyse dargestellt. Bislang werden vorrangig Verhaltensdaten erhoben, die allerdings lediglich indirekt Annahmen über ursächliche Zusammenhänge erlauben. Um aber konkretere und auch direktere Aussagen hierüber treffen zu können, ist es zum einen erforderlich, sich mit den fahrrelevanten kognitiven Einschränkungen älterer Kraftfahrer näher auseinanderzusetzen, zum anderen sollten neurophysiologische Methoden herangezogen werden, die es erlauben, einen Erklärungsansatz für die Ursachen der Fahrfehler abzuleiten.

Um den Ursachen für Fahrfehler älterer Kraftfahrer in Zusammenhang mit einer Fahraufgabe mit Doppel-Aufgaben-Charakter näherzukommen, sind Untersuchungen erforderlich, die Methoden anwenden, die nicht nur offenes Verhalten berücksichtigen, sondern mittels feinerer Maße auch einzelne Verarbeitungsschritte (z. B. Reizdetektion, Orientierung, kontrollierte Verarbeitung, Reaktionsevaluation etc.) durch elektrophysiologische Methoden sichtbar machen können. Hierzu sind am besten das EEG und die EKP geeignet, da sie realitätsnahe Versuchs-Settings erlauben (z. B. Spurhalte-Aufgaben am PC). Zudem ist das EEG nicht intrusiv, beeinträchtigt also das Verhalten nicht so stark wie die Technik der bildgebenden Verfahren.

Aus diesem Grunde sollen, wie in Kapitel 3.3.2.2 dargestellt, das EEG und die daraus extrahierten EKP zur Anwendung kommen.

Für die vorliegende Studie werden vier Forschungsfragen formuliert:

- Inwieweit sind neurophysiologische Untersuchungen bei älteren Kraftfahrern geeignet, um daraus Ansatzpunkte für die Entwicklung von angemessenen Fahrerassistenzfunktionen ableiten zu können, die der Kompensation von Leistungseinschränkungen Älterer und damit der Verkehrssicherheit dienlich sind?

Als methodischer Ansatz im Rahmen einer Laborstudie soll ein Doppel-Aufgaben-Paradigma verwendet werden, wobei die Versuchspersonen neben einer Fahraufgabe (Spurhalteaufgabe) eine Nebenaufgabe durchzuführen haben. Leistungsdaten und EKP sollen nicht nur in der Doppel-Aufgabe, sondern auch bei Bearbeitung der Einzel-Aufgaben analysiert werden, um zu untersuchen, ob mögliche Alterseffekte generell sind oder aber nur bei Doppelbelastung auftreten bzw. dort verstärkt sind.

In Bezug auf die zu wählende Fahraufgabe ist aufgrund der besseren Kontrollierbarkeit eine Aufgabe im Labor durchzuführen.

Viele Studien belegen einen Zusammenhang zwischen realer Fahrzeugsteuerung und einer computerbasierten Spurhalteaufgabe. So wird nach FRÖHLICH (1994, zitiert nach RENNER, 1995) „durch die Verwendung der auf SANDERS (1986) zurückgehenden ‚Safety-margin‘-Trackinginstruktion eine relativ hohe Korrelation ($r = .74$) zwischen der Spurhalteleistung im Laborversuch

und einer Autobahnfahrt mit einem Meßfahrzeug erreicht“.

In ihrer Dissertation berichtet BURGARD (2005) über die Zusammenhänge zwischen der sog. Bad Tölzer Fahrprobe und Hauptvariablen der verkehrspsychologischen Testbatterie des Wiener Testsystems. Die höchste Korrelation ($r = .642$; $p < .001$) zeigte sich zwischen den Ergebnissen in der Bad Tölzer Fahrprobe und den Spurhalteabweichungen in dem Testverfahren „Periphere Wahrnehmung“, welches ein Test zur Erfassung peripherer Wahrnehmungsleistung bei gleichzeitiger Spurhalteaufgabe darstellt. Dieses Testverfahren bildet aufgrund seiner Doppel-Aufgabe die Anforderung an das reale Autofahren sehr gut ab.

Dass periphere Wahrnehmungsaufgaben als sekundäre Aufgabe im Rahmen eines Doppel-Aufgaben-Paradigmas auch zur Messung der Fahrerbeanspruchung geeignet sind, konnte in der Untersuchung von JAHN, OEHME, KREMS & GELAU (2005) nachgewiesen werden.

Im vorliegenden Projekt soll während der Bearbeitung einer Spurhalteaufgabe eine periphere Lichtreizaufgabe von einer Gruppe älterer und einer Gruppe jüngerer Versuchspersonen durchgeführt werden. Dabei sollen neben der Erfassung von Verhaltensdaten EKP als Maß für die Beurteilung der aufmerksamkeitsensitiven und kognitiven Informationsverarbeitung abgeleitet und ausgewertet werden. Diese EKP-Parameter korrelieren mit den erhobenen Leistungsdaten und liefern Erkenntnisse im Hinblick auf die Informationsaufnahme und -verarbeitung bei älteren und jüngeren Menschen.

Es gibt bis heute nur wenige Erkenntnisse zur Auswirkung altersbedingter sensorischer, kognitiver und motorischer Defizite auf das Führen von Kraftfahrzeugen. Hierzu sollen mit der vorliegenden Studie detailliertere Erkenntnisse gewonnen werden. Neben der Registrierung der üblichen Verhaltensdaten wie Reaktionszeiten, Lichtreizentdeckungsrate und Spurabweichung wird während der Aufgabenbearbeitung das EEG aufgezeichnet und daraus EKP abgeleitet, um Aufschluss über Informationsaufnahme- und -verarbeitungsprozesse erhalten zu können. Mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie soll auch den elektrophysiologischen Ergebnissen von WILD-WALL et al. (2007) Rechnung getragen werden, die davon ausgehen, dass bereits Einzel-Aufgaben für Ältere eine kognitive Anstrengung bedeuten, die im offenen Verhalten nicht zwingend erkennbar sein muss.

Daneben sollen auch die Untersuchungsergebnisse von COHEN (2007) und SCHLAG (2008) näher beleuchtet werden, die beide davon ausgehen, dass Fahrfehler Älterer auch durch während der Autofahrt beobachtbare Einschränkungen im Blickverhalten zustande kommen.

Es ergeben sich weitere Fragen:

- Welche Leistungsveränderungen zeigen sich bei gleichzeitiger Durchführung einer Spurhalte- und einer peripheren visuellen Nebenaufgabe?
- Lassen die mittels EEG erhobenen Daten spezifischere Aussagen über mögliche Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer zu als die Erfassung der offensichtlichen Verhaltensdaten?
- Lassen sich anhand einer Doppel-Aufgabe bei gleichzeitiger Ableitung eines EEG Aussagen über alterskorrelierte Aufmerksamkeitsdefizite treffen, die als Ursache für spezifische Fahrfehler Älterer infrage kommen?

Mit der Durchführung einer visuellen Zusatzaufgabe soll auch dem Aufmerksamkeitsmodell von WICKENS (1984b) Rechnung getragen werden, welches besagt, dass zwei Aufgaben, denen wie in der vorliegenden Studie der gleiche Verarbeitungstyp zugrunde liegt, schlechter zu bewältigen sind als Aufgaben unterschiedlichen Verarbeitungstyps.

4.2 Unabhängige und abhängige Variablen

Da Ältere sowohl Probleme beim Spurhalten als auch bei der Erkennung peripherer Reize haben, und zudem größere Defizite in Doppel-Aufgaben zeigen, wird, wie oben beschrieben, ein Doppel-Aufgaben-Paradigma mit Spurhalteaufgabe und Reaktionen auf periphere Reize verwendet. Die Versuchspersonen erhalten die Anweisung, als Hauptaufgabe einen auf dem Bildschirm befindlichen Cursor (Fadenkreuz) so zu manövrieren, dass dieser möglichst exakt in der Mitte einer sich von oben nach unten bewegenden kurvenförmigen Streckenlinie bleibt. Diese Aufgabe soll kurvenreiches Fahren auf einfachem Niveau simulieren (s. BURGARD, 2005, und BUKASA & PIRINGER, 2001).

Als Nebenaufgabe ist auf periphere Lichtreize unterschiedlicher Exzentrizität zu reagieren; bei dieser Aufgabe wirken Prozesse der Sensorik, der

räumlich-visuellen Aufmerksamkeit und der Motorik zusammen. Während der Aufgabe werden EKP abgeleitet, um die Quelle verminderter Leistung in der Aufgabe zu eruieren.

Hinsichtlich der Durchführung dieser beiden Aufgaben haben die Versuchspersonen keinerlei Vorerfahrung.

Die periphere Lichtreizaufgabe wurde sowohl als Einzel-Aufgabe als auch als Nebenaufgabe während des Spurhaltens durchgeführt.

Hierbei wurden Leuchtdioden jeweils auf einem höhenverstellbaren Stativ fixiert und vor Beginn der Aufgabe in eine zuvor definierte Raumposition gebracht, d. h., jede Leuchtdiode wurde in Augenhöhe der Versuchsperson mit zwei unterschiedlichen Sehwinkeln mit einem konstanten Abstand eingestellt. Die Dioden leuchteten in drei variablen Zeitabständen auf. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, ein auf dem Bildschirm dargestelltes Fadenkreuz visuell zu fixieren und jedes Aufleuchten der Lichtreize im peripheren Gesichtsfeld mit einem Druck auf eine am Lenkrad angebrachte Taste zu beantworten.

Im Folgenden sollen die unabhängigen und abhängigen Variablen beschrieben werden.

4.2.1 Unabhängige Variablen

1. Alter: jüngere (20-45 Jahre) und ältere Kraftfahrer (ab 65 Jahren) mit Fahrerfahrung,
2. Schwierigkeit der Spurhalteaufgabe, abgestuft in eine Spurhalteaufgabe ohne vs. mit peripherer zusätzlicher Lichtreizaufgabe,
3. Schwierigkeit der peripheren Lichtreizaufgabe operationalisiert durch zwei Winkelgrößen (20 vs. 60 Grad von der Fovea centralis entfernt),
4. Zeitpunkt der Lichtreizdarbietung nach 2, 5 bzw. 7 Sekunden (durchschnittlich nach 4,6 Sekunden).

4.2.2 Abhängige Variablen

1. Die abhängige Variable ist die Aufmerksamkeitsleistung, die wie folgt operationalisiert wird:
2. Qualität der Spurhalteaufgabe, gemessen über Anzahl der Abweichungen des Fadenkreuzes von der Linienmitte in Abhängigkeit von der Aufgabenspezifität,

3. Anzahl der entdeckten Lichtreize in Abhängigkeit von der festgelegten Winkelgröße, der Aufgabenspezifität und dem Zeitpunkt der Lichtreizdarbietung,
4. durchschnittliche Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der festgelegten Winkelgröße, der Aufgabenspezifität und dem Zeitpunkt der Lichtreizdarbietung,
5. visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung, gemessen über EKP, in Abhängigkeit von der festgelegten Winkelgröße, der Aufgabenspezifität und dem Zeitpunkt der Lichtreizdarbietung. Die bei peripheren Lichtreizen und darauf folgenden Reaktionen erwarteten EKP-Komponenten sind vor allem die P1, die N2, die P3a, und die P3b.

4.2.3 Hypothesen

Auf der Grundlage der in der Literatur beschriebenen Kenntnisse über altersbedingte kognitive Einschränkungen soll in der vorliegenden Studie untersucht werden, welchen Einfluss eine fahrähnliche Doppel-Aufgabe (Spurhalteaufgabe und Lichtreizaufgabe) auf die Leistung älterer Kraftfahrer und die ihr zugrunde liegenden neuronalen Prozesse ausübt. Allgemein wird angenommen, dass ältere Kraftfahrer bei der Durchführung einer Doppel-Aufgabe schlechtere Leistungen zeigen als eine jüngere Vergleichsgruppe.

Einige Forscher (z. B. COHEN, 2007) gehen auch davon aus, dass altersbedingte kognitive Einschränkungen mit einer generellen Verlangsamung der Informationsverarbeitung verbunden sind.

Da auch die Bedeutsamkeit des peripheren Sehens für das Führen eines Kraftfahrzeuges in vielen Studien bestätigt worden ist, soll untersucht werden, wie sich periphere Sehleistungen im Alter in Verbindung mit der Durchführung einer fahrähnlichen Aufgabe auswirken. In mehreren Studien hat sich gezeigt, dass Ältere im peripheren Gesichtsfeld auf weniger Reize reagieren, was u. a. durch Unfälle älterer Kraftfahrer belegt wird, bei denen Reize im peripheren Gesichtsfeld übersehen wurden.

Vor diesem Hintergrund sollen folgende spezifische Hypothesen überprüft werden:

1. Bei der alleinigen Durchführung der Spurhalteaufgabe gibt es gemäß KETCHAM & STELMACH (2004) signifikante Unterschiede in

der Bewegungsqualität zwischen den älteren und den jüngeren Kraftfahrern. So wird erwartet, dass die älteren Probanden die Spurhalteaufgabe schlechter durchführen als die Jüngeren, d. h. signifikant mehr Abweichungen des Fadenkreuzes von der Sollspur auftreten.

2. Bei der alleinigen Durchführung der peripheren Lichtreizaufgabe zeigen Ältere im Vergleich zu Jüngeren keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der entdeckten Lichtreize sowie hinsichtlich der Reaktionszeit auf die Lichtreize, wenn diese nah der Fovea centralis (20 Grad) dargeboten werden.
3. Bei der alleinigen Durchführung einer peripheren Lichtreizaufgabe zeigen Ältere im Vergleich zu Jüngeren eine signifikant geringere Anzahl entdeckter Lichtreize und verlängerte Reaktionszeiten, wenn diese weiter weg von der Fovea centralis dargeboten werden (60 Grad, vgl. OWSLEY et al. 1991; STAPLIN et al. 1997; COHEN, 2007).
4. In der Doppel-Aufgabe sind bei beiden Versuchspersonengruppen die Reaktionszeiten auf die periphere visuelle Lichtreizaufgabe signifikant verlängert und es treten signifikant mehr Auslassungen auf als bei alleiniger Durchführung der peripheren Lichtreizaufgabe.
5. In der Doppel-Aufgabe zeigen Ältere im Vergleich zu den Jüngeren eine signifikant geringere Anzahl entdeckter Lichtreize, mehr Spurabweichung und verlängerte Reaktionszeiten, unabhängig davon, ob die Reize nah oder fern der Fovea centralis dargeboten werden.
6. Die Leistungsunterschiede, welche sich auf der Verhaltensebene beobachten lassen, manifestieren sich auch auf der Ebene der kortikalen Reizverarbeitung.

Aus der letzten Hypothese ergeben sich weitere Ableitungen: Es wird vermutet, dass bereits die früheste kortikale Verarbeitung der peripheren Lichtreize bei älteren Kraftfahrern im Vergleich zu den jüngeren zeitlich verzögert und/oder verringert sein könnte, insbesondere in der Doppel-Aufgabe, erkennbar durch die Latenzverzögerung und/oder Amplitudenverringern der P1.

Für die späteren Komponenten N2, P3a und P3b werden dann sekundär verlängerte Latenzen und/oder geringere Amplituden bei älteren Kraftfahrern erwartet.

Alternativ könnte sich ergeben, dass die frühe Reizverarbeitung nicht verändert ist, sich jedoch bei den späteren kognitiven Prozessen Einbußen ergeben. Dies sollte sich in fehlenden Effekten bei der P1, aber klaren Effekten auf spätere EKP-Komponenten zeigen.

Die früheste Veränderung sollte also einen Hinweis auf den Ansatzpunkt des kognitiven Defizits in der Verarbeitungskette geben: Falls bereits die P1 verändert ist, sollten frühe kognitive Kontrollprozesse beeinträchtigt sein. Falls erst die P3a/P3b verändert ist, liegt das Defizit erst bei späten Prozessen.

5 Methode

5.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen insgesamt 63 Versuchspersonen teil, die in zwei Altersgruppen (30 jüngere/33 ältere) aufgeteilt wurden. Das Mindestalter der jüngeren Versuchspersonen betrug 22, das Höchstalter 45. In der Gruppe der älteren Versuchspersonen lag das Mindestalter bei 65 Jahren und das Höchstalter bei 88 Jahren.

Aus Tabelle 1 sind der Altersdurchschnitt (M), die Geschichtsverteilung sowie die Standardabweichungen (SD) zu ersehen.

Alle älteren Versuchspersonen stammten aus dem Raum Köln/Bergisch Gladbach und hatten sich auf Anfrage zur Teilnahme an dem Experiment zur Verfügung gestellt. Zu der jüngeren Gruppe gehörten Mitarbeiter der Bundesanstalt für Straßenwesen sowie angeworbene Bekannte und Freunde. Alle Versuchspersonen waren hinsichtlich der Fragestellungen des Experiments naiv.

Der Bildungsstand in beiden Altersgruppen war annähernd ausgeglichen. In der Gruppe der älteren Probanden befanden sich 16, in der Gruppe der jüngeren 17 Personen mit Abitur und abgeschlossener akademischer Ausbildung. Die Anzahl der Probanden mit mittlerer Reife war ebenfalls in beiden Gruppen vergleichbar. Lediglich in der Gruppe der Älteren befanden sich 10 Personen mit einem

Gruppe	N	M	SD	♂	♀
Jüngere	30	30,53	7,57	20	10
Ältere	33	72,94	5,41	23	10

Tab. 1: Anzahl, Mittelwert (M), Standardabweichung (SD), Geschichtsverteilung der Altersgruppen

Volksschulabschluss, in der Gruppe der Jüngeren dagegen 7 Auszubildende.

Voraussetzungen für die Teilnahme

Da in diesem Experiment eine Spurhalteaufgabe verwendet wurde, die auf einfacher Ebene kurvenreiches Fahren simulieren soll, und während der Durchführung der Aufgaben das EEG abgeleitet wurde, mussten die Versuchspersonen folgende Grundvoraussetzungen für die Teilnahme am Experiment erfüllen:

Voraussetzungen für die Spurhalteaufgabe

- Besitz des Führerscheins mit möglichst mehrjähriger Fahrpraxis, auch aktuell noch,
- ausreichende Sehschärfe und intaktes Sehfeld für Inhaber der Fahrerlaubnis der Gruppe 1 (Anlage 6, Fahrerlaubnisverordnung (FeV)).

Voraussetzungen für das EEG

- Rechtshändigkeit,
- Ausschluss neurologischer/psychiatrischer Erkrankungen (auch in der Vergangenheit (z. B. Schlaganfall)),
- Ausschluss der Einnahme von Psychopharmaka (z. B. Antidepressiva).

Vor Teilnahme an dem Experiment musste ein Fragebogen ausgefüllt werden (s. Kapitel 6.3), um zu prüfen, ob die o. g. Kriterien erfüllt wurden. Zudem war es erforderlich, den Vortest zur Bestimmung des zentralen und peripheren Sehens zu bestehen.

5.2 Experimentelles Design

Für das Experiment wurde ein Zwei-Gruppen-Plan mit 30 und 33 Versuchspersonen verwendet.

Sowohl die Spurhalteaufgabe (T1) als auch die Lichtreizaufgabe (T2) wurden jeweils als Einzel- sowie als Doppel-Aufgabe (T3) durchgeführt. Das Doppel-Aufgaben-Paradigma ist eine bekannte und häufig genutzte Methode in der kognitiven Psychologie und wird in der vorliegenden Untersuchung genutzt, um Aussagen über Aufmerksamkeitsprozesse zu ermöglichen.

Die Reihenfolge der Aufgaben wurde ausbalanciert. Jeder Bedingung wurden insgesamt 10 bzw. 11 Versuchspersonen zugeordnet (s. Tabelle 2).

Reihenfolge der Aufgaben	Anzahl Jüngere	Anzahl Ältere
T1-T2-T3	5	5
T1-T3-T2	5	6
T2-T1-T3	5	5
T2-T3-T1	5	6
T3-T1-T2	5	6
T3-T2-T1	5	5

Tab. 2: Zwei-Gruppen-Plan

5.3 Beschreibung der Versuchsausrüstung

Das Experiment wurde im Ergonomie-Labor der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt. Jede Versuchsperson wurde einzeln im Ergonomie-Labor getestet. Das Ergonomie-Labor besteht aus zwei Räumen, einem Versuchsraum sowie einem Steuerraum für den Versuchsleiter. Beide Räume sind durch eine Wand mit Fensterfront getrennt, um die Versuchspersonen stets beobachten zu können.

Zur Vermeidung der visuellen Ablenkung wurde der Versuchsplatz mittels weißer Stellwände abgeschirmt.

5.3.1 Sitzposition

Für jeden Probanden wurde die Sitzposition individuell eingestellt, um sicherzustellen, dass die Sehwinkel stabil, d. h. die Leuchtdioden in der exakten Winkelposition und in Augenhöhe des jeweiligen Probanden positioniert waren (s. Bild 2). Durch eine Abmessung wurde sichergestellt, dass der Abstand zwischen Versuchsperson und Monitor sowie der zu den Leuchtdioden jeweils 90 cm betragen (s. Checkliste).

Durch den höhenverstellbaren Monitor im Versuchsraum war gewährleistet, dass jeder Proband eine entspannte Blickposition auf den Bildschirm einnehmen konnte. In Anlehnung an ergonomische Anforderungen an Bildschirmarbeitsplätze lag für jeden Probanden der Fixierlinienwinkel auf dem Bildschirm zwischen 0° und 60°.

Mit Hilfe einer verschiebbaren Holzplatte, auf der die Winkelpositionen (20°/60°) der Leuchtdioden markiert waren, war es möglich, durch entsprechende Nachjustierung des Monitors und der Stativ den Abstand von 90 cm konstant zu halten (s. Bild 3).



Bild 2: Seitenansicht Versuchsplatz

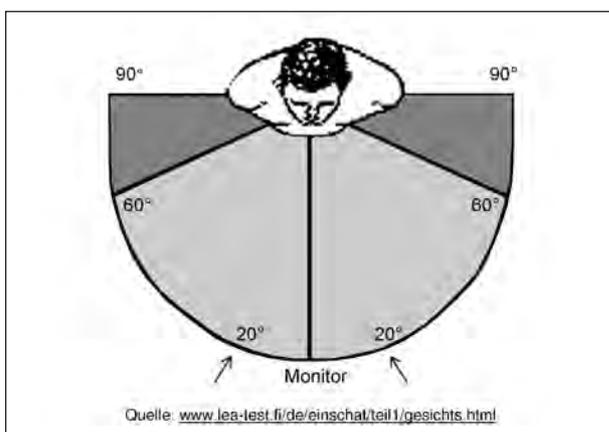


Bild 3: Winkelposition 20° und 60°

Durch eine Kinnstütze konnten Kopfbewegungen der Versuchsperson minimiert werden.

5.3.2 Raumbelichtung

Damit alle Versuchspersonen unabhängig vom Tageslicht den gleichen Helligkeitsbedingungen ausgesetzt waren, wurde der Versuchsraum künstlich beleuchtet.

Die horizontale Beleuchtungsstärke am Versuchsplatz betrug 500 lx (Lux), die Leuchtdichte im Hintergrund des Blickfeldes der Probanden 65 +/- 5 cd/m². Die Versuche fanden damit im Bereich des photopischen Sehens (Tagesehen) statt.

Die Leuchtdichte der Lichtreize betrug 1.500 cd/m² bei einer Leuchtzeit von 50 ms. Die für diese kurze Leuchtzeit nach BLONDEL & REY (1911) berechnete visuell wirksame Leuchtdichte der Lichtreize betrug 300 cd/m². Der Durchmesser der Leuchfläche betrug 0,9 cm.



Bild 4: Beobachtung des Probanden



Bild 5: Versuchsdarstellung mit einem jüngeren Probanden

5.3.3 Beobachtungskamera

Über eine an das Netzwerk angeschlossene drehbare (horizontal 300°, vertikal 135°) IP-Kamera (Vivotek PZ7122; 1/4-CCD-Sensor mit 4CIF-Auflösung und 10x-Zoom-Objektiv), die schräg gegenüber der Versuchsperson angebracht war, konnte der Versuchsleiter den Probanden während des gesamten Versuchs beobachten (s. Bild 4).

Besonderheiten wurden vom Versuchsleiter dokumentiert und in die EEG-Auswertung einbezogen.

5.3.4 EEG

Während der gesamten Versuchsdurchführung wurde das EEG abgeleitet und daraus später die EKP berechnet. Bei der Vorbereitung und Ableitung des EEG wurden die Mess-Prinzipien und Regelungen des Leibniz-Instituts für Arbeitsforschung angewandt (s. Kapitel 6.3).

Die Versuchsperson saß an ihrem Versuchsplatz, während sie mit Hilfe von Elektroden an das EEG-System angeschlossen wurde (s. Bild 5, 7, 8). So

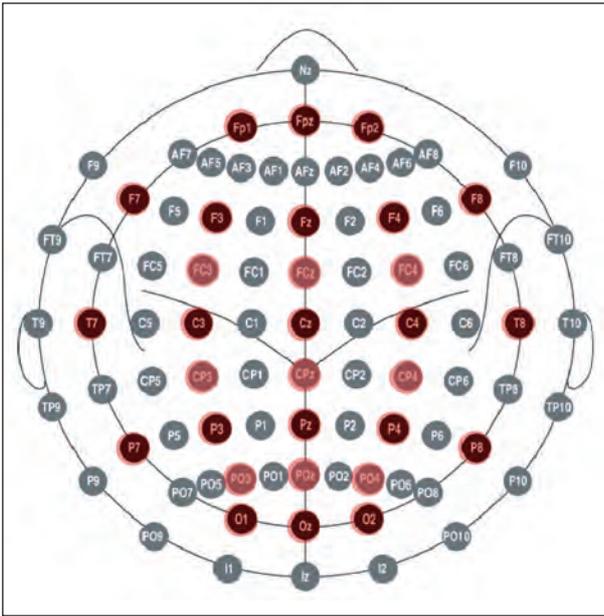


Bild 6: Platzierung und Nomenklatur der Elektroden nach dem internationalen 10-20- bzw. 10-10-System (Quelle: OOSTENVELD & PRAAMSTRA, 2001); die Buchstaben kennzeichnen die jeweilige Hirnregion (F – frontal; P = parietal; T = temporal; O = okzipital (Beispiel: FCz = fronto-zentral)). Die in dieser Studie verwendeten Elektroden sind rot markiert



Bild 7: Versuchsdarstellung mit einem älteren Probanden

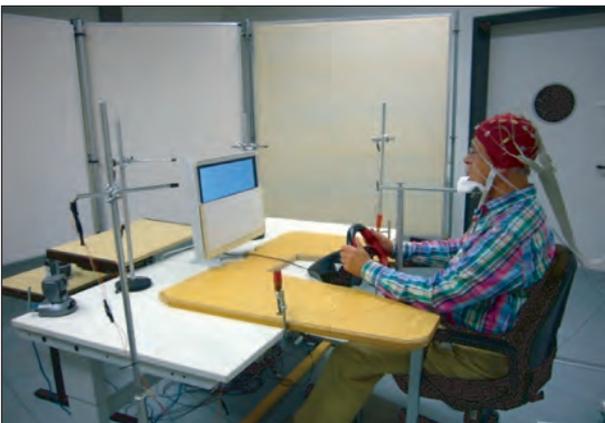


Bild 8: Versuchsdarstellung mit einem älteren Probanden

konnten physiologische Daten während der Aufgabebearbeitung aufgezeichnet werden.

Abgeleitet wurde das EEG von der Kopfhaut des Probanden mit 32 Elektroden (Biosemi „Pin-type“ Active electrodes) nach dem internationalen 10-20- bzw. 10-10-System (JASPER, 1958, s. Bild 6).

Die Elektroden wurden mit den in der elastischen EEG-Kappe (EASYCAP) eingesetzten Steckplätzen sowie am Ende mit dem Verstärker (Speed-Mode 4, 2048 Hz pro Kanal) verbunden. Die Elektrodenimpedanzen lagen unter 10 k Ω , die Verstärkerbandbreite betrug 0.01-140 Hz. Die Aufnahme des EEG und EOG erfolgte mit der ActiView-Software. Die zeitliche Auflösung des EEG betrug 2.048 Messzeitpunkte pro Sekunde.

Zur Registrierung von Augenartefakten wurde ein EOG (Elektrookulogramm), in dem zusätzlich 6 Augenelektroden am oberen und unteren Orbitarand des rechten und linken Auges angebracht wurden, fortlaufend aufgezeichnet. Die Versuchspersonen wurden gebeten, Augen- bzw. Kopfbewegungen weitestgehend zu vermeiden.

5.3.5 Hardwaretechnischer Aufbau der Versuchsanlage

Wie Bild 9 zu entnehmen ist, erfolgten die Aufzeichnung und Steuerung des EEG über drei vernetzte Personal Computer (PC) mit Windows-XP-Betriebssystem. Die Spurhalteaufgabe wurde über PC 1 ausgeführt und dem Probanden über einen Monitor dargeboten. Das Monitorsignal wurde zuvor von einem „Monitor-Switch mit digitaler Ausblendung“ so aufbereitet, dass nur der Spurverlauf für den Probanden sichtbar war. Der Proband steuerte das Fadenkreuz der Spurhalteaufgabe über ein Formula-Force-GP-Lenkrad der Fa. Logitech, welches über den USB-Port mit dem PC 1 verbunden war.

Die Reaktion auf die Lichtsignale konnte der Proband durch Drücken einer Taste direkt hinter dem Lenkrad anzeigen. Das Tastensignal wurde zusammen mit den EEG-Signalen in den PC 3 übertragen und dort durch das EEG-Erfassungsprogramm „Actiview605“ aufgezeichnet.

Die Ansteuerung der LEDs für die Lichtreize erfolgte über den Druckerport (LPT) des PC 1. Die zufallsverteilte Ansteuerung der LEDs und das Setzen eines Start- und Stoppsignals wurden über das Programm Switchboard der Fraunhofer Gesellschaft realisiert. Die LED-Ansteuerungssignale schalteten

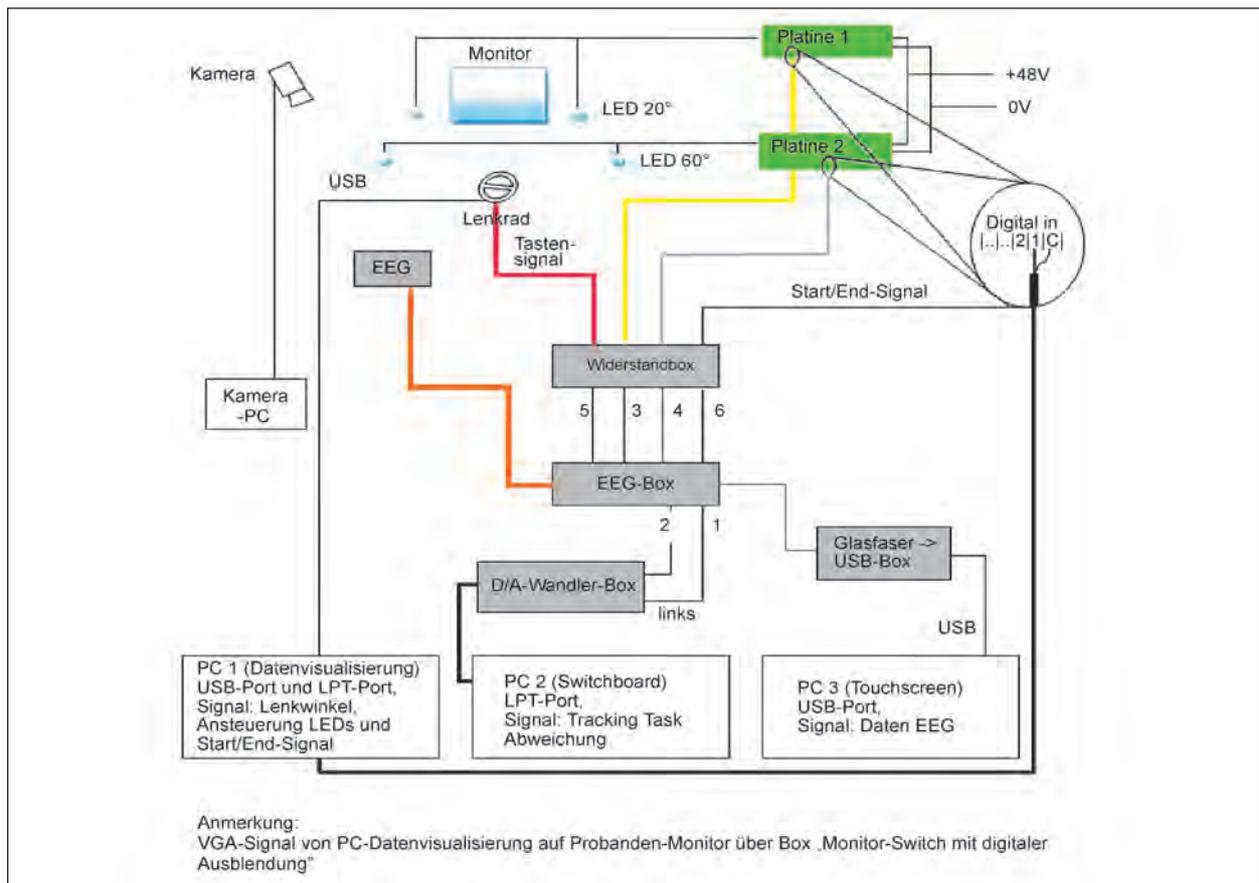


Bild 9: Schematische Darstellung der Hardware-Konfiguration

über die digitalen Eingänge zweier Ampelsteuerungsplatinen die entsprechenden LEDs mit einer Aufleuchtungsdauer von 50 ms. Die Ansteuerungssignale wurden zeitgleich an die EEG-Box übertragen, sodass sie ebenfalls durch das EEG-Erfassungsprogramm aufgezeichnet werden konnten. Die EEG-Box erhielt an einem weiteren Eingang das durch das Switchboardprogramm erzeugte Start- und Endsignal.

Die Abweichung des Fadenkreuzes zum vorgegebenen Track wurde von PC 1 an PC 2 übertragen und dort in zwei digitale Signale gewandelt. Über den Druckerport (LPT) wurden die Signale an einen Digital/Analog-Wandler übertragen. Die zwei ausgehenden analogen Signale wurden in die EEG-Box übertragen und konnten somit zusammen mit den EEG-, LED-, Lenkradtasten-, Start- und Stoppsignal im PC 3 synchron aufgezeichnet werden.

Zur Überwachung der Augenbewegungen des Probanden wurde ein kleiner analoger PC mit hochauflösender USB-Kamera unabhängig vom eigentlichen Aufbau verwendet, der das Gesichtsbild des Probanden dem Versuchsleiter anzeigt. Der hard-

waretechnische Versuchsaufbau ist schematisch in Bild 9 dargestellt.

6 Versuchsdurchführung

Vor Beginn der Aufgabendurchführung erhielten alle Versuchspersonen eine schriftliche Instruktion, wie die jeweilige Aufgabe zu bearbeiten war (s. Seite 30).

Um sicherzustellen, dass alle Probanden die Instruktion richtig verstanden hatten und einen vergleichbaren Leistungsstand aufwiesen, war es erforderlich, vor Beginn des Versuchs die Probanden an die jeweiligen Aufgaben (Spurhalteaufgabe, Lichtreizaufgabe und Doppel-Aufgabe) zu gewöhnen. Die Übungszeit je Aufgabe betrug 90 Sekunden. Für die Übung sowie für den Hauptversuch wurden zwei verschiedene Spurverläufe verwendet.

6.1 Spurhalteaufgabe

Bei der von der Bundesanstalt für Straßenwesen genutzten Spurhalteaufgabe handelt es sich um

eine vom Fraunhofer IAO erstellte Software auf Basis von HTML, SVG und SwitchBoard. Die Dauer der Aufgabe wurde über eine Endlosschleife programmiert.

Diese computerbasierte primäre Aufgabe soll kurvenreiches Fahren im Straßenverkehr auf basalem Niveau simulieren. Hinsichtlich der Wahl der Aufgabe wurde den Ergebnissen der Wissenschaftler Rechnung getragen, die einen hohen Zusammenhang zwischen Führen eines Kraftfahrzeuges/Fahrerbeanspruchung und einer Tracking- und peripheren Wahrnehmungsaufgabe feststellten (s. Kapitel 4).

Auf dem Monitor erschien eine Führungskurve (ein so genannter Track, s. Bild 10), die sich mit konstanter Geschwindigkeit von oben nach unten bewegte. Dieser Track bestand aus einer Streckenmitte, die den optimalen Spurverlauf anzeigte, sowie aus zwei Begrenzungslinien rechts und links. Der ursprünglich schwarze Hintergrund der unteren Bildschirmhälfte wurde zur Verminderung unerwünschter Kontrasteffekte mit einer zugeschnittenen hellen Pappe abgedeckt. In der Mitte des waagerechten Bildschirmrandes befand sich das Fadenkreuz, das über das Lenkrad (Logitech Formula Force GP, Durchmesser 25 cm) gesteuert werden konnte.

Die Versuchsperson saß auf einem höhenverstellbaren bequemen Stuhl und hielt das Lenkrad in beiden Händen. Die Aufgabe war es, mittels Lenkbewegungen das Fadenkreuz so exakt wie möglich in der Linienmitte zu halten. Gemessen wurde hierbei die durchschnittliche Abweichung von der Spur (gemessen in Bildschirmpixel = pxl) als Maß der Aufgabenqualität.



Bild 10: Spurhalteaufgabe (Track 1)

Die Spurhalteaufgabe wurde über den Personal Computer gesteuert und hatte folgende konstante Voreinstellungen:

- Fadenkreuz (1,5 cm horizontal; 1 cm vertikal),
- Track 0 (Übungsphase), Track 1 (Hauptversuch),
- Abtastrate 16 Hz,
- Toleranzbreite (0-100 pxl = 10 pxl/2,5 mm),
- Cursor-Linienbreite (1-20 pxl = 3 pxl/0,75 mm),
- Track-Linienbreite (1-20 = 3 pxl/0,75 mm),
- Track-Geschwindigkeit (1-10 = 10 pxl/2,5 mm),
- Dauer der Aufgabe 14 Minuten (7 Minuten – Pause – 7 Minuten).

Diese Voreinstellungen galten sowohl für die Übungsphase als auch für den Hauptversuch.

6.2 Periphere Lichtreizaufgabe

6.2.1 Vortest

Um auszuschließen, dass schlechte Ergebnisse in dem Experiment allein auf die Sehleistung zurückzuführen sind, wurde der Vortest zur Bestimmung des zentralen und peripheren Sehens durchgeführt.

Zur Erfassung der zentralen Sehschärfe wurde eine Sehschärfestimmung anhand eines Screenings (Visus-Selbsttest des Schweizer Optikerverbandes, www.sov.ch) durchgeführt. Als Mindestmaß wurden die Anforderungen an das Sehvermögen gemäß Anlage 6, FeV zugrunde gelegt.

Bei der Bestimmung der peripheren Gesichtsfeldgrenzen wurden die aus der Literatur bekannten Daten (s. Kapitel 3.1) berücksichtigt. Um sicherzustellen, dass alle Versuchspersonen die in der Anlage 6 der FeV festgelegten Anforderungen für Fahrzeuginhaber der Gruppe 1 zum peripheren Sehen erfüllten, wurde mit den Versuchspersonen ein Vortest durchgeführt. Vor Beginn des Hauptversuchs wurden den Versuchspersonen jeweils 20 Lichtreize je Sehwinkel (20° und 60°) in der Peripherie präsentiert, auf die dann so zügig wie möglich mit einem Tastendruck am Lenkrad reagiert werden sollte.

Die Darbietung der Lichtreize erfolgte

- in Augenhöhe des Probanden,

- parallel im rechten und linken Gesichtsfeld gleichzeitig,
- im Sehwinkel von 20 Grad der Fovea centralis und
- im Sehwinkel von 60 Grad der Fovea centralis.

Je Sehwinkel wurden 20 Lichtreize randomisiert präsentiert. Die Dauer der Lichtreizdarbietung betrug 50 ms, um eine Aufmerksamkeitsumlenkung zu vermeiden. Zur Reduzierung der Erwartungseffekte und Vermeidung von Ergebnisverzerrungen wurden die LED-Reize in drei verschiedenen Zeitabständen (2, 5 und 7 Sekunden), aber in gleicher Häufigkeit präsentiert. Die Zeitabstände für das Aufleuchten der Dioden wurden ebenfalls randomisiert, sodass die zeitliche Abfolge der Lichtreize für die Probanden nicht vorhersehbar war. Der Test galt als bestanden, wenn die Versuchsperson je Sehwinkel mindestens 12 Lichtreize (d. h. 60 Grad) richtig erkannte.

Bei der peripheren Lichtreizaufgabe blickte die Versuchsperson auf ein auf dem Bildschirm befindliches Fadenkreuz (s. Bild 11), während Lichtreize gleichzeitig im rechten und linken Gesichtsfeld aufleuchteten. Die Versuchsperson hatte die Aufgabe, nach jedem wahrgenommenen Lichtreiz die an der Rückseite des Lenkrads befindliche rechte Taste so schnell wie möglich zu drücken. Die Präsentation der Lichtreize erfolgte durchschnittlich nach jeweils 5 Sekunden. Die Zeitabstände der Lichtreize wurden jedoch so gewählt, dass eine Vorbereitung auf die Lichtreize nicht möglich war (Abstand zwischen den Lichtreizen: 2, 5 und 7 Sekunden).

Die Anzahl der Lichtreize je Aufgabe betrug insgesamt 360 bei einer Dauer von 14 Minuten (7 Minu-

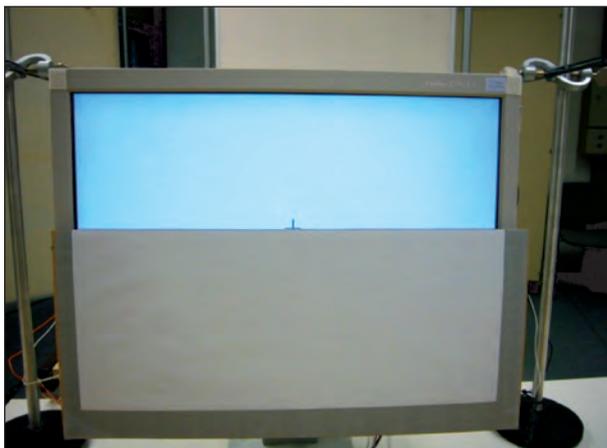


Bild 11: Fadenkreuz

ten – Pause – 7 Minuten). Die Abfolge der Lichtreize erfolgte randomisiert bei gleichverteilten Lichtreizen je Winkelposition und Zeitabstand.

6.2.2 Doppel-Aufgabe

Die Spurhalteaufgabe sowie die Lichtreizaufgabe wurden zu einer Doppel-Aufgabe kombiniert. Den Versuchspersonen wurde mitgeteilt, dass die Spurhalteaufgabe, analog dem Straßenverkehr, als Hauptaufgabe und die Lichtreizaufgabe als Nebenaufgabe anzusehen ist, d. h., sie sollten sich in erster Linie auf die Spurhalteaufgabe konzentrieren. Die Nebenaufgabe sollte gleichzeitig während des Spurhaltens ausgeführt werden.

6.2.3 Versuchsablauf

Zur Veranschaulichung des Versuchsablaufs wird dieser nachfolgend schematisch dargestellt (s. Bild 12).

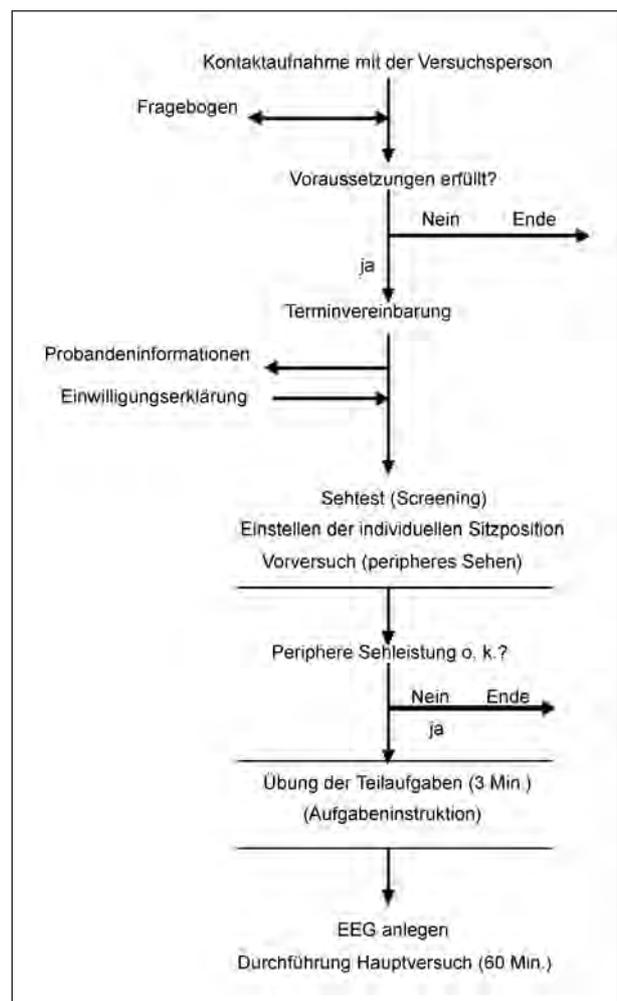


Bild 12: Ablaufschema

Erfüllten die Probanden die Voraussetzungen zur Teilnahme an dem Experiment (s. Kapitel 5.1), so wurde mit ihnen ein Termin zur Durchführung des Experiments vereinbart. Vor Beginn des Experiments erhielten sie ein Informationsblatt, auf dem die wesentlichen Erläuterungen zur Durchführung des Experiments beschrieben waren sowie Hinweise in Bezug auf die Einhaltung datenschutzrechtlicher Bestimmungen gegeben wurden. Die Probanden stimmten der Teilnahme an der experimentellen Untersuchung mit ihrer Unterschrift zu.

Lag die Einwilligungserklärung vor, so wurde im Anschluss daran ein Vortest durchgeführt, der Aufschluss darüber gab, ob die Probanden die in der

Peripherie dargebotenen Lichtreize (120° horizontal) auch tatsächlich wahrnehmen und darauf adäquat reagieren konnten. Es folgte die Eingewöhnung in die jeweilige Teilaufgabe. Im Anschluss daran wurden die Vorbereitungen zur Messung der Hirnströme für die Durchführung des Hauptversuchs getroffen. Die Dauer des Experiments betrug insgesamt ca. 2 Stunden.

6.3 Dokumente für die Versuchsdurchführung

Abfrage vor Terminvereinbarung

Datum:		
Versuchsperson-Nr.:		
Angaben zur Person		
Name, Vorname:		
Alter: <input type="text"/> Geschlecht: w m		
Sind Sie Links- oder Rechtshänder?*	R	L
Welchen Schulabschluss haben Sie?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Welchen Beruf haben / hatten Sie?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
In welchem Jahr wurde die Fahrprüfung abgelegt?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wie viele Kilometer fahren Sie jährlich im Durchschnitt (in Tausend)?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Hatten Sie in den letzten fünf Jahren einen Autounfall?	ja	nein
Tragen Sie eine Brille zum Auto fahren?	Ja	nein
Wie ist Ihre Sehstärke mit Korrektur der Brille?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wann waren Sie das letzte Mal zur Sehschärfestimmung beim Augenarzt? (ab 60 J. alle 2 J.; ab 70 J. jährlich)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Hat sich Ihre Sehschärfe seit dem letzten Augenarzt bzw. Optikerbesuch verschlechtert?	Ja	nein
Leiden Sie unter einer Augenerkrankung? Wenn ja, welche?	Ja	nein
Hatten Sie in der Vergangenheit eine neurologische oder psychiatrische Erkrankung gehabt? (z.B. Schlaganfall)*	Ja	nein
Nehmen Sie Psychopharmaka? (z.B. Antidepressiva)*	Ja	nein
Leiden Sie derzeit an einer Kontaktallergie (Alkohol)?	Ja	nein
Hinweis: morgens Haare waschen und keine Zusatz- bzw. Pflegemittel benutzen; informieren, dass es die Möglichkeit zum Haare waschen gibt.		
*Ausschluss: Sollten die Vpn Linkshänder sein, Antidepressiva oder andere Psychopharmaka nehmen und / oder einen Schlaganfall oder sonstige neurologische / psychiatrische Erkrankungen gehabt haben, können sie leider nicht an der EEG-Studie teilnehmen.		

Einverständniserklärung

Bundesanstalt für Straßenwesen

Referat F4: Kooperative Verkehrs- und Fahrer-Assistenzsysteme

Angabe zur Person

Name, Vorname

Geburtsjahr

PROBANDEN – INFORMATION

Zur Teilnahme am Forschungsprojekt „Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer“

Sehr geehrte(r) Teilnehmer(in),

hiermit möchten wir Sie über die o.g. Studie informieren und Sie um Ihre Einwilligung zur Teilnahme an diesem Forschungsvorhaben bitten.

Bitte lesen Sie diese Information sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu dieser Studie zu stellen.

Mit dem vorliegenden Projekt soll den Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer nachgegangen werden, um herauszufinden, ob mögliche Einschränkungen durch spezifische Fahrerunterstützungsfunktionen kompensiert werden können. Damit soll die Mobilität und Fahrsicherheit im Alter erhöht werden.

In dem folgenden Experiment werden Sie eine Spurverfolgungs- sowie eine Lichtsignal-Entdeckungsaufgabe durchführen. Bei der Spurhalteaufgabe wird Ihnen auf dem Bildschirm eine sich bewegende Linie präsentiert, in deren Mitte sich ein Fadenkreuz befindet. Ihre Aufgabe ist es, mit Hilfe des Lenkrades das Fadenkreuz möglichst in der Linienspur zu halten. Diese Daten werden aufgezeichnet.

Bei der Lichtsignal-Entdeckungsaufgabe werden Ihnen gleichzeitig im rechten und linken Gesichtsfeld Lichtreize dargeboten, auf die sie per Tastendruck so schnell wie möglich reagieren sollen.

Während der gesamten Testdurchführung werden Ihre Hirnströme mit Hilfe eines EEG-Gerätes aufgezeichnet, die sich in Form von minimalen Wellen im EEG zeigen. Diese Wellen sind mit dem bloßen Auge nicht erkennbar, können aber durch geeignete Techniken herausgefiltert werden.

Es werden mehrere Elektroden auf Ihre Kopfhaut geklebt, welche die elektrische Aktivität des Gehirns durch den Schädelknochen registrieren. Diese Untersuchung ist absolut harmlos. Die Auswertung dieser Hirnstromkurven erlauben uns Rückschlüsse auf die jeweiligen Reizverarbeitungsprozesse.

Die Teilnahme ist selbstverständlich freiwillig. Sie können ohne Angabe von Gründen die Teilnahme beenden, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile entstehen. Ihre bis dahin erhobenen Daten werden dann umgehend vernichtet.

Datenschutz / Schweigepflicht

Bei dieser wissenschaftlichen Studie werden persönliche Daten über Sie erhoben, die ausschließlich zum Zwecke der Projektdurchführung dienen. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt daher vor Teilnahme an dieser Studie Ihre Einwilligung voraus.

Ihre pseudonymisierten Leistungsdaten (Name wird durch ein anderes Identifikationsmerkmal wie Buchstaben- oder Zahlenkombination ersetzt) werden elektronisch gespeichert, durch das Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund ausgewertet und nach Projektabschluss nach datenschutzrechtlichen Maßgaben vernichtet. Alle an dieser Studie beteiligten Mitarbeiter unterliegen der Schweigepflicht und sind auf das Datengeheimnis verpflichtet.

Die aggregierten Leistungsdaten werden in anonymisierter Form in wissenschaftlichen Veröffentlichungen verwendet.

Einwilligungserklärung

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Forschungsstudie erhobenen Leistungsdaten auf elektronische Datenträger aufgezeichnet, gespeichert und in verschlüsselter Form (ohne Namens- und Initialen-Nennung) an das Leibniz-Institut für Altersforschung zur Auswertung weitergegeben werden.

DatumUnterschrift

Instruktionen zur Durchführung der Haupt- und Nebenaufgaben

Allgemeine Hinweise:

Bitte setzen Sie sich bequem hin!

Wir werden gleich mehrere Versuche machen. Bitte halten Sie sich genau an den Anweisungen, die ich Ihnen gleich gebe. Sollte etwas unklar sein, bitte fragen Sie.

Wichtig für die Messungen mit der Elektrodenkappe ist, dass Sie sich während der Versuchsdurchführung möglichst wenig (oder gar nicht bewegen) und möglichst wenig zu blinzeln (Kein Kaugummi, kein Schlucken, nicht Sprechen...). Auch während der kurzen Pausen sollten Sie den Kopf möglichst ruhig halten und nicht ruckartig bewegen (Elektrodenleitungen könnten abreißen).

In den Pausen zwischen den einzelnen Versuchen können oder sollten Sie die Augen zu machen, sich evtl. zurücklehnen und entspannen (Nacken und Augen).

Anleitung zur Durchführung der Spurhalteaufgabe:

Auf dem Bildschirm wird gleich eine Schlangenlinie (sog. Track) erscheinen, die sich in einer bestimmten Geschwindigkeit von oben nach unten bewegt. Die Linie besteht aus zwei Begrenzungslinien rechts und links sowie einer dünnen Mittellinie. Am unteren Rand des Bildschirms sehen Sie ein Fadenkreuz (sog. Cursor), der sich mit dem Lenkrad vor Ihnen bewegen lässt.

Ihre Aufgabe ist es nun, mit dem Lenkrad den Cursor so genau wie möglich zu bewegen, so dass dieser sich stets in der Spur, d.h. zwischen den äußeren Begrenzungslinien befindet. Die Mittellinie zeigt dabei den optimalen Spurverlauf an.

Anleitung zur Durchführung der Signal-Entdeckungsaufgabe:

Ihre Aufgabe ist es, auf den Bildschirm (Fadenkreuz) zu schauen (*oder Durchführung der Spurhalteaufgabe*). Gleichzeitig rechts und links in der Peripherie werden Leuchtdioden aufleuchten. Die Lichtreize tauchen entweder hinten, d.h. an den seitlichen Rändern des Bildschirms oder aber weiter vorne in der Peripherie auf (auf Leuchtdioden zeigen). Wenn Lichtreize auftauchen (vorne oder hinten), dann drücken Sie bitte so zügig wie möglich mit der rechten Hand auf die rechte Taste am Lenkrad und lassen dann wieder los (Taste zeigen).

Allgemeine Hinweise für die Durchführung des Hauptversuches:

Wir werden gleich mehrere Versuche machen, deren Durchführung Sie eben geübt haben.

Bitte halten Sie sich genau an die Instruktionen, die ich Ihnen jetzt gebe. Sollte etwas unklar sein, bitte fragen Sie. Wichtig für die Messungen mit der Elektrodenkappe ist, dass Sie sich während der Versuchsdurchführung möglichst wenig oder besser gar nicht bewegen (Kein Kaugummi, nicht schlucken, nicht sprechen...). Bitte schließen Sie während der Versuchsdurchführung nicht die Augen. Während der kurzen Pausen sollten Sie den Kopf möglichst ruhig halten und nicht ruckartig bewegen (Elektrodenleitungen könnten abreißen). In den Pausen zwischen den einzelnen Versuchen können oder sollten Sie die Augen schließen, sich zurücklehnen und entspannen.

Checkliste Versuchsablauf

- 1 ausgefüllter Fragebogen (Telefonische Abfrage) liegt vor?
- 2 Probanden-Information (inkl. Einwilligungserklärung) liegt vor?
- 3 Screeningtest zur Sehschärfestimmung wurde durchgeführt und Wert in Protokollblatt eingetragen?
- 4 Protokollblatt (inkl. Ablaufbogen) liegt vor?
- 5 Sitzposition individuell einstellen:
 - Versuchsperson nimmt bequeme Sitzposition ein und bestätigt diese
 - Kinnstütze auf Versuchsperson in Länge, Höhe und Kinnschale anpassen
 - Nullpunkt bestimmen
 - Zentimetermaß an Kante der Kinnschale halten und gerade nach unten halten (die waagerechte Kante der Kinnschale ist immer in Augenhöhe und somit als Nullpunkt anzusehen)
 - Tischplatte um die fehlenden Zentimeter in Richtung Körper der Vp heranziehen
 - Monitor nachschieben (siehe Einkerbung der Tischplatte)
 - Lenkradkonsole an Tisch ausrichten

Prüfpunkte

ja	
Schrauben der Kinnstütze sind fest (waagrecht / vertikal)	
Metallklammern sind im Loch der unteren Kante beider Rohre eingefasst	
Tischplatte ist an beiden Seiten rechts und links gut fixiert	
Vier Leuchtdioden in Augenhöhe eingestellt	
Leuchtdioden auf Winkel (20° / 60°) ausgelotet	
Blickrichtung gerade zum Bildschirm (Fixierwinkel zwischen 0 und 60°)	
Obere Rahmenkante des Monitors in Augenhöhe des Probanden (90°)	

- 6 Probanden den Vorversuch (Anleitung für Lichtsignal-Entdeckungsaufgabe) anhand der Instruktion erläutert?
- 7 Ergebnisse des Vorversuchs auf Protokollblatt eingetragen?
- 8 Übung (T1_90 – T2_90 – T3_90) erfolgt?
- 9 EEG angelegt und Daten in Protokollblatt eingetragen?
- 10 Durchführung Hauptversuch (Reihenfolge s. Ablaufbogen); Auffälligkeiten in Ablaufbogen eingetragen?
- 11 EEG-Materialien gereinigt?
- 12 aufgezeichnete Daten extern gespeichert?
- 13 Probanden-Unterlagen zusammengeheftet (Fragebogen, Probanden-Information, Protokollblatt, Ablaufbogen, Checkliste Versuchsablauf)?

Protokollblatt – Seite 1

Name der Versuchsperson:

Datum der Versuchsdurchführung:

Vp.-Nr.:

Vp.-ID: A (alt)J (jung)

Kopfumfang: cm

Kappenfarbe: blau/rot rot blau

Abstand Nasion – Inion: cm

Abstand Ohr – Ohr: cm

Vorversuch: Dargebotene LEDs:

Anzahl Fehler: , davon

bei 20°: (mind. 12 von 20)

bei 60°: (mind. 12 von 20)

RT (20°) von bis: (max. 1 Sek.)

RT (60°) von bis: (max. 1 Sek.)

Beginn des Hauptversuchs Uhr

Ende des Hauptversuchs Uhr

Protokollblatt – Seite 2

Dateiname (ID/P-Nr.Tx_Ux_Rx)	Haupttest	Auffälligkeiten (z. B.: Alpha-Wellen; Husten, Augenblinzeln; Toilette)
/ _T1_U1_R1	Reihenfolge: T1/T2/T3	<u>T1</u> U1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
T1_U2_R1	<u>Grad der Anstrengung:</u> 0 = gar nicht 10 = sehr anstrengend	U2 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
T2_U1_R2		<u>T2</u> U1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
T2_U2_R2		U2 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
T3_U1_R3		<u>T3</u> U1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
T3_U2_R3		U2 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Anleitung EEG

Materialliste für das Anlegen des EEGs

- Ein Stuhl auf dem der Proband entspannt Platz nehmen kann
 - Q-Tips (Wattestäbchen)
 - Peeling
 - Kontaktgel
 - Desinfektionstücher (Alkoholtupfer)
 - Leukosilk
 - Kleberinge
 - Spritzen (zum Einfüllen des Kontaktgels)
 - Die Kappen in 4 verschiedenen Größen
 - Brustgurt und Ohrbänder
 - Ohrelektrodenhalter
 - die 6 Augenelektroden
 - Das Maßband (zum vermessen des Kopfes)
 - 2x Elektrodenstränge (mindestens)
 - Taschentücher / Kosmetiktücher
 - Mülleimer für die Abfälle

Vorbereitungen vor Eintreffen des Probanden

- Stuhl mit ausreichend umliegendem Platz bereitstellen
- Steuerungs- und Messrechner hochfahren
- Tisch mit gewischter und desinfizierter Oberfläche für die weiteren Materialien vorbereiten und einen Mülleimer bereitstellen
- Elektroden sauber und geordnet bereitlegen
- Kappen in verschiedenen Größen und Maßband griffbereit hinlegen
- Saubere Spritzen mit Gel füllen
- Q- Tips, Abtupftücher, Alkoholtücher, Leukoplast, Peeling (NuPrep) bereitlegen
- Kleberinge, Brustgurt und Kappenbänder bereithalten
- Schriftliche Instruktionen für den Probanden zurechtlegen
- Ohrelektrodenhalterung auf der runden Seite mit Kleberingen bestücken. Dabei in Richtung des Fortsatzes die Abzugsglaschen ausrichten.
- Augenelektroden mit Kleberingen bestücken, so dass das Loch des Kleberings über dem Elektrodenmetall liegt und die Abzugsglasche Richtung Kabel ausgerichtet ist

ALLE MOBILTELEFONE AUSSCHALTEN

Kleben von Elektroden an Ohren und Augen

- Haut um die Augen und hinter Ohren peelen und anschließend mit Alkohol abwischen
- Ohrelektrodenhalterung hinter den Ohren auf den Knochen kleben

Anlegen der Kappe

- Ausmessen des Kopfumfangs vom Nasion über Inion
- Auswahl der zum Kopfumfang passenden Kappe
- Aufsetzen der Kappe
- Ermitteln des zentrierten Kopfmittelpunkts zwischen Nasion und Inion und Ausrichten des Cz-Elektrodensteckplatzes nach diesem Punkt
- Ermitteln des zentrierten Kopfmittelpunkts zwischen den beiden Porionen (Kuhlen am Ohr)

Anleitung EEG – Fortsetzung

- und Ausrichten der Cz-Elektrode nach diesem Punkt
- Kappe so positionieren, dass die Cz-Elektrode weiterhin mittig sitzt, aber die Kappe nicht in sich verdreht ist
- Kappenbänder an den Ohrenschlaufen der Kappe befestigen und überkreuz am Brustgurt fixieren
- Nochmals überprüfen, ob die Kappe richtig und gerade sitzt

Anlegen der Elektroden an Kappe und Ohren

- Elektrodenhalterungen immer festhalten, damit es stabiler ist
- Befüllen der Elektrodenhalterungen hinter den Ohren und auf der Kappe mit Gel
- Die Elektroden von vorne nach hinten in die dafür vorgesehenen Halterungen stecken
- Immer darauf achten, dass die Kabel nicht unter Zug stehen (Mit Leukoplast entlasten)

Anlegen der Elektroden an Augen

- Elektrode mit etwas Gel bestreichen
- Klebeschutz abziehen
- Elektroden an die richtige Stelle kleben (siehe Skizze)

Abschließend Elektrodenstrang an den Verstärker anschließen
Widerstände prüfen (ggf. einzelne Elektroden nachbearbeiten)

7 Ergebnisse

Die interferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgte über ein computergestütztes Statistik-Programm „Predictive Analysis SoftWare“ (PASW Statistics), Version 18. Die Mittelwerte bzw. geschätzten Randmittel der untersuchten Variablen sind im Anhang dargestellt.

Um zu prüfen, ob die zugrunde liegenden Messwerte in der jeweiligen Grundgesamtheit normalverteilt und die Fehlervarianzen zwischen den Gruppen homogen sind, wurden der Kolmogorov-Smirnov-Test sowie der Levene-Test durchgeführt. Die Testergebnisse zeigten für die Zielvariablen „Reaktionszeit“ und „Spurabweichung“ eine Normalverteilung und Varianzhomogenität der Messwerte. Die Ergebnisse der ANOVA (Haupt- und Interaktionseffekte) sind in den einzelnen Unterkapiteln fett gedruckt dargestellt. Als Messwiederholungsfaktoren galten „Aufgabe“, „Abstand“, „Sehwinkel“ und als Gruppenfaktor „Gruppe“.

Die Messdaten der Zielvariablen „Auslassungen“ unterlagen keiner Normalverteilung und die Varianzen waren inhomogen. Die Ergebnisse des verteilungsfreien Mann-Whitney-U-Tests sind in Kapitel 7.1.3 dargestellt. Die Gruppenergebnisse (Jüngere und Ältere) finden sich unter „Ergebnisse der beiden Gruppen“ in den nachfolgenden Unterkapiteln.

7.1 Verhaltensdaten

An Verhaltensdaten wurden neben den Reaktionszeiten (benötigte Zeit bis zum Tastendruck nach Lichtreizpräsentation) die Anzahl der Auslassungen (übersehene Lichtsignale) sowie die Spurabweichung (Abweichung von der Solllinie in Pixel bei der Spurhalteaufgabe) erfasst.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den einzelnen Verhaltensdaten dargestellt. In Bezug auf die hierbei verwendeten Abkürzungen „Aufgabe“, „Sehwinkel“, „Abstand“ und „Gruppe“ wird auf das Abkürzungsverzeichnis (s. S. 6) verwiesen.

7.1.1 Spurabweichung

Die ANOVA lieferte lediglich einen Haupteffekt der Gruppe:

- Haupteffekt Gruppe $F(1,61) = 10.20$, $p = .002$

Die Älteren zeigten eine größere Spurabweichung (989 ms) als die Jüngeren (810 ms).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

- Es gab keinen Haupteffekt der „Aufgabe“.

Ältere:

- Tendenzieller Haupteffekt „Aufgabe“ ($F(1,32) = 4.13$, $p = .051$):

Bei den älteren Versuchspersonen war die Spurabweichung in der Doppel-Aufgabe größer als in der Einzel-Aufgabe (1.006 ms vs. 962 ms).

7.1.2 Reaktionszeiten

Die Reaktionszeit wurde als benötigte Zeit bis zum Tastendruck nach Reizpräsentation definiert.

Da die Lichtreize in Abständen von 2, 5 oder 7 Sekunden („Abstand“) präsentiert wurden, wurde überprüft, ob der zeitliche Abstand zwischen den Reizen einen Effekt auf die Reaktionszeiten hatte:

- Haupteffekt Abstand $F(2,122) = 65.84$, $p < .001$

Die mittlere Differenz der Reaktionszeit unterschied sich signifikant ($p < .001$) zwischen 2 und 5 Sekunden sowie zwischen 2 und 7 Sekunden (Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni).

Da sich keine Interaktionen mit der Gruppe ergaben, wurde der Faktor „Abstand“ in die weiteren Analysen nicht mit einbezogen.

- Haupteffekt Aufgabe: $F(1,61) = 218.07$, $p < .001$

In der Doppel-Aufgabe war die Reaktionszeit auf die Lichtreize insgesamt signifikant höher als in der Einzel-Aufgabe.

Die mittlere Reaktionszeit aller Versuchspersonen betrug in der Einzel-Aufgabe 359 ms und in der Doppel-Aufgabe 448 ms.

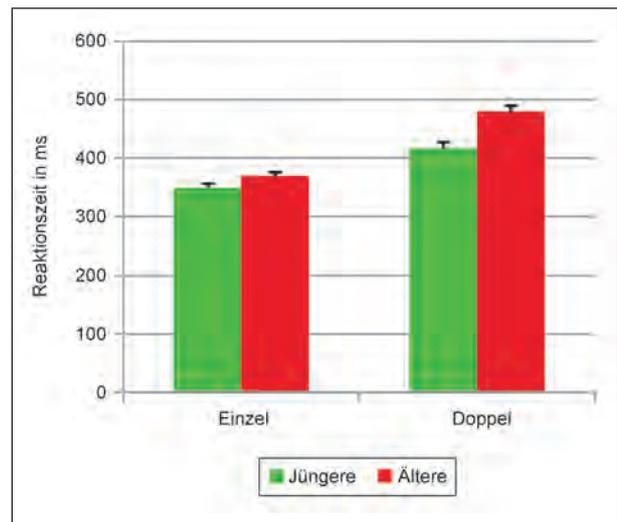


Bild 13: Mittlere Reaktionszeiten in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe für Jüngere und Ältere

- Haupteffekt Sehwinkel: $F(1,61) = 73.05$, $p < .001$

Die mittlere Reaktionszeit aller Versuchspersonen war in der Bedingung „60 Grad“ insgesamt länger (415 ms) als in der Bedingung „20 Grad“ (392 ms).

- Haupteffekt Gruppe: $F(1,61) = 12.09$, $p = .001$

Die mittlere Reaktionszeit der älteren Probanden war im Durchschnitt signifikant langsamer (425 ms) als die der jüngeren (383 ms).

- Interaktion Aufgabe x Gruppe: $F(1,61) = 13.20$, $p = .001$

Nur in der Doppel-Aufgabe fiel der Gruppenunterschied (hoch)signifikant größer aus als in der Einzel-Aufgabe $F(1,61) = 16.66$, $p = .001$.

Ältere Probanden hatten in der Doppel-Aufgabe eine durchschnittliche Reaktionszeit von 480 ms und waren damit signifikant langsamer als jüngere Probanden (416 ms) (s. Bild 13).

- Interaktion Sehwinkel x Gruppe: $F(1,61) = 13.52$, $p < .001$

Werden die Reaktionszeiten bei Durchführung der Doppel-Aufgabe betrachtet, so ergab sich ein signifikanter Gruppenunterschied sowohl für die Bedingung, in der die Lichtreize 20 Grad vom Sehwinkel entfernt dargeboten wurden ($F(1,61) = 11,36$, $p = .001$), als auch für die Bedingung, in der die Lichtreize im Sehwinkel von 60 Grad ($F(1,61) = 20,39$, $p < .001$) entdeckt werden mussten. In beiden Bedingungen rea-

gierten die älteren Versuchspersonen langsamer (s. Bild 14).

Unabhängig davon, ob die Lichtreizaufgabe allein oder zusammen mit der Spurhalteaufgabe durchgeführt wurde, reagierten Ältere auch signifikant langsamer bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad (Ältere: $F(1,32) = 45.97$, $p < .001$; Jüngere: $F(1,29) = 51.43$, $p < .001$).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

- Haupteffekt Aufgabe ($F(1,29) = 92.16$, $p < .001$)

Bei der Doppel-Aufgabe reagierten die jüngeren Versuchspersonen langsamer (416 ms) als bei der alleinigen Durchführung der Lichtreizaufgabe (349 ms).

- Haupteffekt Sehwinkel ($F(1,29) = 51.43$, $p < .001$)

Bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad reagierten die jüngeren Versuchspersonen etwas schneller als bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad (376 ms vs. 389 ms).

Ältere:

- Haupteffekt Aufgabe ($F(1,32) = 134.21$, $p < .001$)

Ältere reagierten ähnlich wie Jüngere langsamer bei der Durchführung der Doppel-Aufgabe

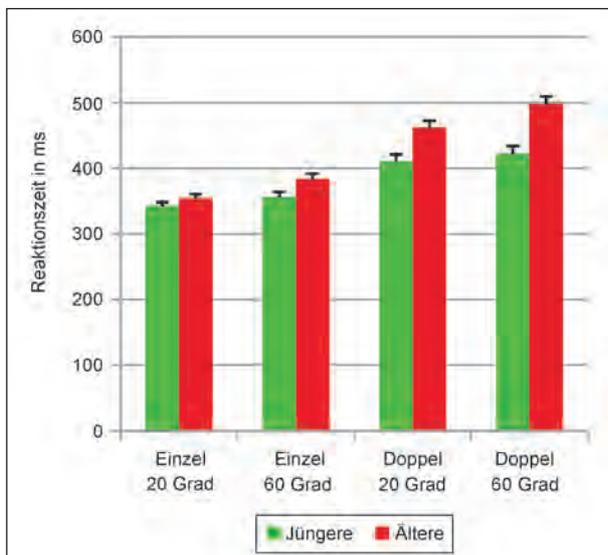


Bild 14: Mittlere Reaktionszeiten in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe bei Reizen im 20- und 60-Grad-Sehwinkel für Jüngere und Ältere

(480 ms) als bei der alleinigen Durchführung der Lichtreizaufgabe (369 ms). Der Unterschied war mit 111 ms sehr hoch.

Wie die Jüngeren reagierten die Älteren bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad schneller als bei 60 Grad (408 ms vs. 441 ms).

7.1.3 Auslassungen

Zur Erfassung der Gruppenunterschiede hinsichtlich der Auslassungen wurde der verteilungsfreie Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Die Gruppenunterschiede im Vortest waren nicht signifikant.

Die Ergebnisse im Hauptversuch zeigten, dass Ältere sowohl in der Einzel- als auch in der Doppel-Aufgabe signifikant mehr Auslassungen aufwiesen als Jüngere, wenn die Lichtreize weiter in der Peripherie (60 Grad) dargeboten wurden (Bild 15). Es zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede bei der Entdeckung der Lichtreize im Sehwinkel von 20 Grad, wenn die Lichtreizpräsentationen in Abständen von 5 bzw. 7 Sekunden erfolgten (s. Kapitel 6.2.1 sowie Tabelle 18 in Kapitel 7.5.1).

Sowohl in der Einzel-Aufgabe (Lichtreizaufgabe) als auch in der Doppel-Aufgabe zeigten sich für beide Gruppen signifikante Effekte des Sehwinkels (siehe Tabelle 3).

Die Lichtreize im Sehwinkel von 60 Grad waren für die Versuchspersonen schwieriger zu entdecken als die Lichtreize im Sehwinkel von 20 Grad.

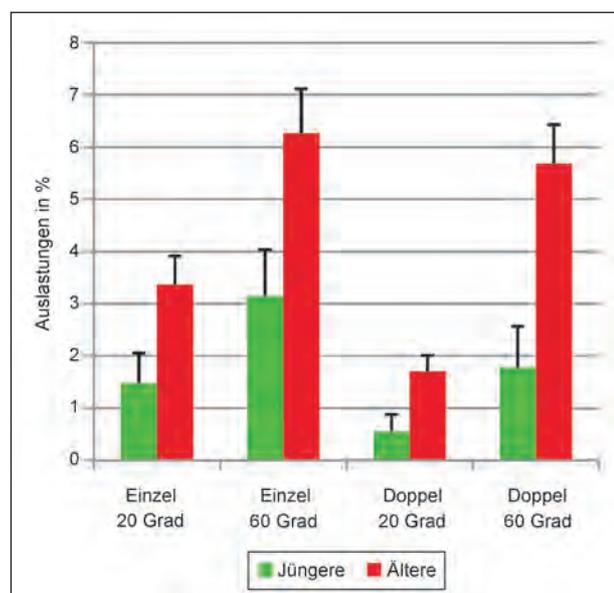


Bild 15: Auslassungen in % bei Reizen im 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe für Jüngere und Ältere

WilcoxonTest	Bedingung		
	T2-L6 T2-L2	T3-L2 T2-L2	T3-L6 T3-L2
Mittlerer Rang	17,33	23,85	17,07
Z	-4,639	-2,863	-5,214
P	.000	.004	.000
T2-L6 = Einzel-Aufgabe – Lichtreize 60 Grad T2-L2 = Einzel-Aufgabe – Lichtreize 20 Grad T3-L6 = Doppel-Aufgabe – Lichtreize 60 Grad T3-L2 = Doppel-Aufgabe – Lichtreize 20 Grad			

Tab. 3: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests

Darüber hinaus zeigte sich ein Haupteffekt der Aufgabe. Entgegen der Annahme zeigten alle Versuchspersonen in der Einzel-Aufgabe mehr Auslassungen als in der Doppel-Aufgabe (Bild 15).

7.1.4 Subjektiv wahrgenommene Anstrengung

Die Auswertung der Angaben der Versuchspersonen zeigte, dass entgegen der Annahme in 57 % der Fälle die Versuchspersonen die alleinige Durchführung der Lichtreizaufgabe anstrengender fanden als die Doppel-Aufgabe.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Verhaltensdaten

In der Spurhalteaufgabe waren die Älteren insgesamt etwas ungenauer als die Jüngeren. In der Doppel-Aufgabe war dieser Unterschied noch deutlicher. In der Einzel- und Doppel-Aufgabe reagierten die Älteren insbesondere bei der Darbietung von 60-Grad-Reizen erheblich langsamer und zeigten hierbei auch mehr Auslassungen als Jüngere. Überraschenderweise zeigten beide Gruppen weniger Auslassungen in der Doppel-Aufgabe als in der Einzel-Aufgabe (Bild 15). Hierzu passt auch das Ergebnis der subjektiv wahrgenommenen Anstrengung.

7.2 Ereigniskorrelierte Potenziale

Die Auswertung der EEG-Daten erfolgte mit Hilfe des computergestützten Programms „BrainVision Analyzer“, Version 1.05 (www.brainproducts.com). Die Berechnungen basieren auf individuellen mittleren Amplituden sowie Latenzen und Peak-Amplituden, welche aus dem EEG extrahiert und dann mit der „Predictive Analysis SoftWare“ (PASW Statistics), Version 18, statistisch ausgewertet wur-

den. Als Baseline für die Amplitudenmessungen wurde der Mittelwert im Zeitbereich 100-0 ms vor Reizbeginn gewählt. Da die Komponenten sämtlich symmetrisch mit Maximum über der Mittellinie auftraten, wurden nur die Mittellinienelektroden mit hinreichend großer Amplitude berücksichtigt: Fz, FCz, Cz, CPz, Pz (s. Bild 6).

Bedingt durch die periphere Reizdarbietung konnte eine Auswertung der frühen visuellen Potenziale über okzipitalen Regionen nicht stattfinden.

Die Ergebnisse der ANOVA (Haupt- und Interaktionseffekte) sind in den einzelnen Unterkapiteln fett gedruckt dargestellt. Als Messwiederholungsfaktoren galten „Aufgabe“, „Elektrode“, „Sehwinkel“ und als Gruppenfaktor „Gruppe“.

7.2.1 P1

Die P1 ist als das früheste detektierbare Korrelat der Verarbeitung der peripher dargebotenen Reize anzusehen. Diese frühe klar messbare Komponente zeigte sich als distinkte Positivität im Zeitbereich 100-150 ms nach Reizpräsentation über dem centro-parietalen Skalp (FCz, Cz, CPz, Pz). Die stärksten Effekte zeigten sich an der Elektrode Pz, wo die P1 als Positivität bei ca. 140 ms auftrat (Bild 17), weswegen die Berechnungen mit dieser Elektrode durchgeführt wurden.

Die Latenz war bei den Jüngeren so klein, dass sie nicht zuverlässig gemessen werden konnte. Im mittleren Verlauf erschien die Gipfellatenz der P1 bei Älteren minimal (ca. 20 ms) später als bei den Jüngeren (so weit hier erkennbar). Daher konnten für die statistische Auswertung nur Amplituden gemessen werden. Sie wurden als Mittelwert des EKP im Zeitbereich 100 bis 150 ms parametrisiert.

- Haupteffekt Sehwinkel $F(1,61) = 38.09$, $p < .001$
Bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad war die P1 größer (1,23 μV) als bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad (0,92 μV , Bild 16).
- Haupteffekt Aufgabe $F(1,61) = 27.28$, $p < .001$
In der Einzel-Aufgabe war die P1 größer (0,93 μV) als in der Doppel-Aufgabe (0,39 μV , Bild 16).
- Haupteffekt Gruppe $F(1,61) = 6.71$, $p = .012$
Bei den Älteren war die P1 größer als bei den Jüngeren (1,05 μV vs. 0,27 μV).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

- Haupteffekt Sehwinkel ($F(1,29) = 13.48, p < .001$)
Die P1-Amplitude war nur für Reize im Sehwinkel von 20 Grad signifikant höher als für Reize im Sehwinkel von 60 Grad ($0,79 \mu V$ vs. $-0,25 \mu V$).
- Haupteffekt Aufgabe $F(1,29) = 9.4, p = .005$
In der Einzel-Aufgabe war die Amplitude der P1 größer als in der Doppel-Aufgabe ($0,49 \mu V$ vs. $0,05 \mu V$).

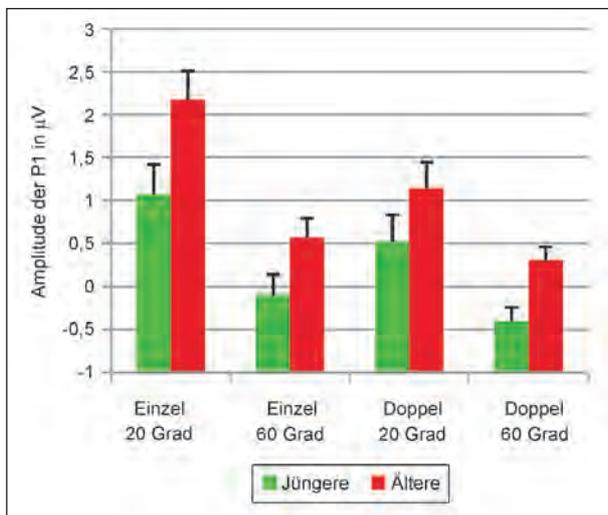


Bild 16: Mittlere Amplitude in µV der P1 an Pz

Ältere:

- Haupteffekt Sehwinkel ($F(1,32) = 26.75, p < .001$)
Die mittlere P1-Amplitude war – genau wie in der Gruppe der Jüngeren – bei 20 Grad größer als bei 60 Grad ($1,66 \mu V$ vs. $0,43 \mu V$).
- Haupteffekt Aufgabe $F(1,32) = 18.71, p = .001$
Ältere zeigten genau wie Jüngere in der Doppel-Aufgabe eine signifikant niedrigere Amplitude als in der Einzel-Aufgabe ($0,72 \mu V$ vs. $1,37 \mu V$).
- Interaktion Sehwinkel x Aufgabe $F(1,32) = 6.39, p = .017$
In der Einzel-Aufgabe zeigten Ältere nur bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad eine höhere Amplitude. Bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad ist der Unterschied nicht signifikant.

Zusammenfassung der Ergebnisse der P1

Die P1 war bei den Älteren generell größer als bei den Jüngeren und zeitlich nicht verzögert. Die auffällig größere Amplitude tritt vor allem bei 20 Grad sowie in der Einzel-Aufgabe in Erscheinung (Bild 17). Dies deutet auf eine kompensatorisch erhöhte Reizverarbeitung bei den Älteren hin.

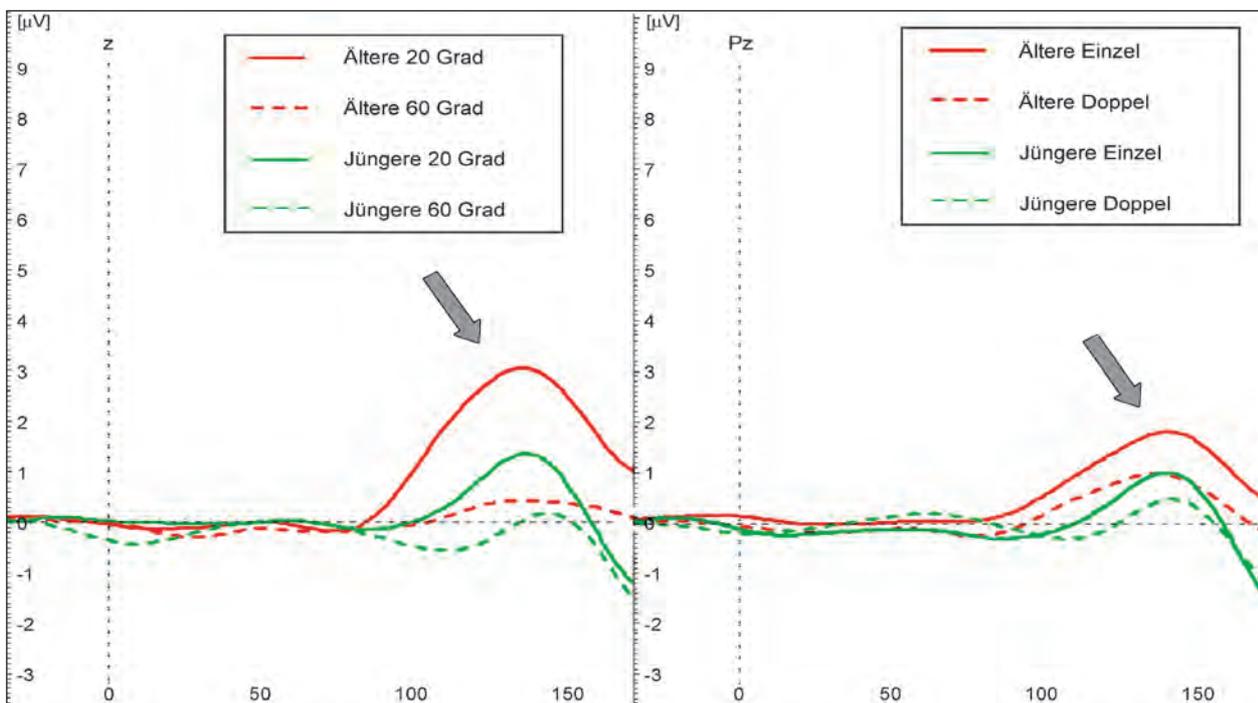


Bild 17: P1 an der Elektrode Pz für die Gruppen Jüngere und Ältere für 20- und 60-Grad-Sehwinkel (links) und in Einzel- und Doppel-Aufgabe (rechts)

7.2.2 N2-Latenz

Die N2-Komponente weist insgesamt einen frontozentralen Fokus auf und ist durch einen Kontrollprozess der Aufmerksamkeitsverschiebung zu erklären.

Die Latenz der N2 wurde in ms bis zum lokalen negativen Maximum im Bereich 150-280 ms nach Reizpräsentation an den Elektroden Fz, FCz und Cz parametrisiert (separate Suche für jeden Kanal).

- Haupteffekt Elektrode $F(2,122) = 8.66, p = .001$

Die mittlere Latenz an der Elektrode Fz betrug 194 ms, an der Elektrode FCz 193 ms und an der Elektrode Cz 190 ms. Die Unterschiede waren minimal und können durch Überlagerungseffekte mit anderen Komponenten bedingt sein.

Von einer weiteren statistischen Untersuchung des Effektes „Elektrode“ wurde abgesehen, da er für die Fragestellung nicht relevant erschien.

- Haupteffekt Sehwinkel $F(1,61) = 37.43, p < .001$

Bei einer Reizung im Sehwinkel von 20 Grad war die Latenz der N2 mit 186 ms etwas kürzer als bei einem Sehwinkel von 60 Grad (199 ms).

- Haupteffekt Gruppe $F(1,61) = 8.52, p = .005$

Die Latenz der N2 war bei den Älteren mit 198 ms geringfügig länger als bei den Jüngeren mit 187 ms.

- Interaktion Sehwinkel x Gruppe $F(1,61) = 4.371, p = .041$

Der Gruppenunterschied in der Latenz der N2 wurde nur unter der Bedingung 60 Grad signifikant ($F(1,61) = 11.24, p = .001$). Hierbei zeigten die Älteren eine längere Latenz der N2 (206 ms) im Vergleich zu den Jüngeren (190 ms).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

- Haupteffekt Elektrode ($F(2,58) = 6.47, p = .007$)

Die längste Latenz zeigte sich an Fz, die kürzeste an Cz (s. Bild 6).

- Haupteffekt Sehwinkel ($F(1,29) = 9.5, p = .004$)

Bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad war die Latenz der N2 kürzer als bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad (182 ms vs. 191 ms).

- Interaktion Sehwinkel x Aufgabe ($F(1,29) = 8.81, p = .006$)

Dieser Effekt wurde nur für die Einzel-Aufgabe signifikant ($F(1,29) = 12.91, p = .001$). Bei 20 Grad war die Latenz der N2 signifikant kürzer (182 ms) als bei 60 Grad (195 ms).

Bezogen auf den Faktor Aufgabe $F(1,29) = 6.35, p = .018$ zeigte sich nur unter der Bedingung 60 Grad ein signifikanter Unterschied zwischen Einzel- (195 ms) und Doppel-Aufgabe (187 ms).

In Bild 18 ist gut zu erkennen, dass die Jüngeren die höchste Latenz bei 60-Grad-Reizen in der Einzel-Aufgabe zeigten.

Ältere:

Für die Gruppe der Älteren zeigte sich lediglich ein Haupteffekt des Sehwinkels ($F(1,32) = 30.3, p = .001$).

- Haupteffekt Sehwinkel ($F(1,32) = 30.3, p = .001$)

Die Gruppe der Älteren zeigte eine kürzere Latenz der N2 für die Bedingung 20 Grad als für die Bedingung 60 Grad.

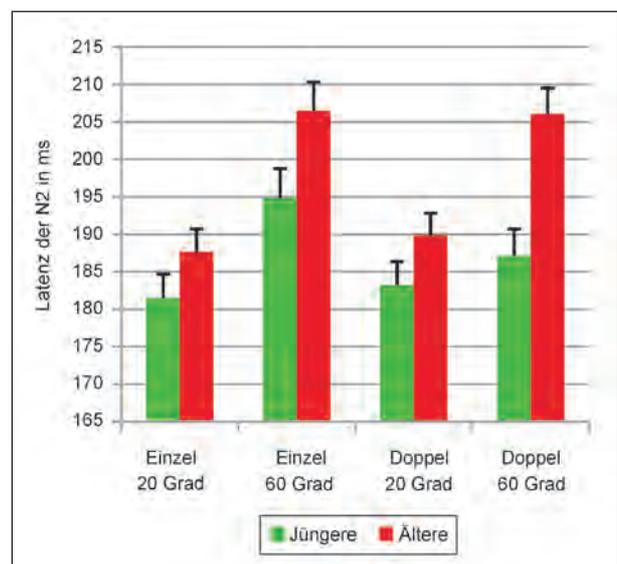


Bild 18: Latenz der N2 in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe für 20- und 60-Grad-Sehwinkel und die Gruppen Jüngere und Ältere

7.2.3 N2-Amplitude

Hier wurde die Amplitude (in μV) des lokalen negativen Maximums im Bereich 150-280 ms nach Reizpräsentation an den Elektroden Fz, FCz und Cz betrachtet (separate Suche für jeden Kanal, Baseline 100-0 Sekunden vor dem Reiz).

- Haupteffekt Elektrode $F(2,122) = 28.97, p < .001$

Die Amplitude war im Durchschnitt bei allen Versuchspersonen an der Elektrode FCz mit $-3,97 \mu\text{V}$ am größten, an der Fz betrug sie im Mittel $-2,93 \mu\text{V}$ und an der Cz im Mittel $-3,76 \mu\text{V}$. Von einer separaten Analyse der einzelnen Elektroden wurde abgesehen.

- Haupteffekt Sehwinkel $F(1,61) = 21.26, p < .001$

Bei allen Versuchspersonen zeigte sich eine signifikant kleinere Amplitude bei Lichtreizen im Sehwinkel von 20 Grad ($-2,94 \mu\text{V}$), nicht aber im Sehwinkel von 60 Grad ($-4,16 \mu\text{V}$).

- Interaktion Sehwinkel x Gruppe $F(1,61) = 4.38, p = .041$

Bei Lichtreizen im Sehwinkel von 60 Grad zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der N2-Amplitude bei Jüngeren ($-5,13 \mu\text{V}$) und Älteren ($-3,19 \mu\text{V}$); $F(1,61) = 8.19, p = .006$ (Bild 19).

In der Gruppe der Jüngeren ließ sich ein (hoch-)signifikanter Effekt zwischen Lichtreizen im Sehwinkel von 20 Grad ($-3,36 \mu\text{V}$) und 60 Grad ($-5,13 \mu\text{V}$), $F(1,29) = 19.24, p < .001$, nachweisen. Dieser Unterschied ist bei den Älteren auch erkennbar, aber nicht signifikant ausgeprägt (s. auch Bild 20).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

Für die Gruppe der Jüngeren ergab sich ein signifikanter Effekt des Sehwinkels ($F(1,29) = 19.24, p < .001$). Die Amplitude war für 60-Grad-Reize grö-

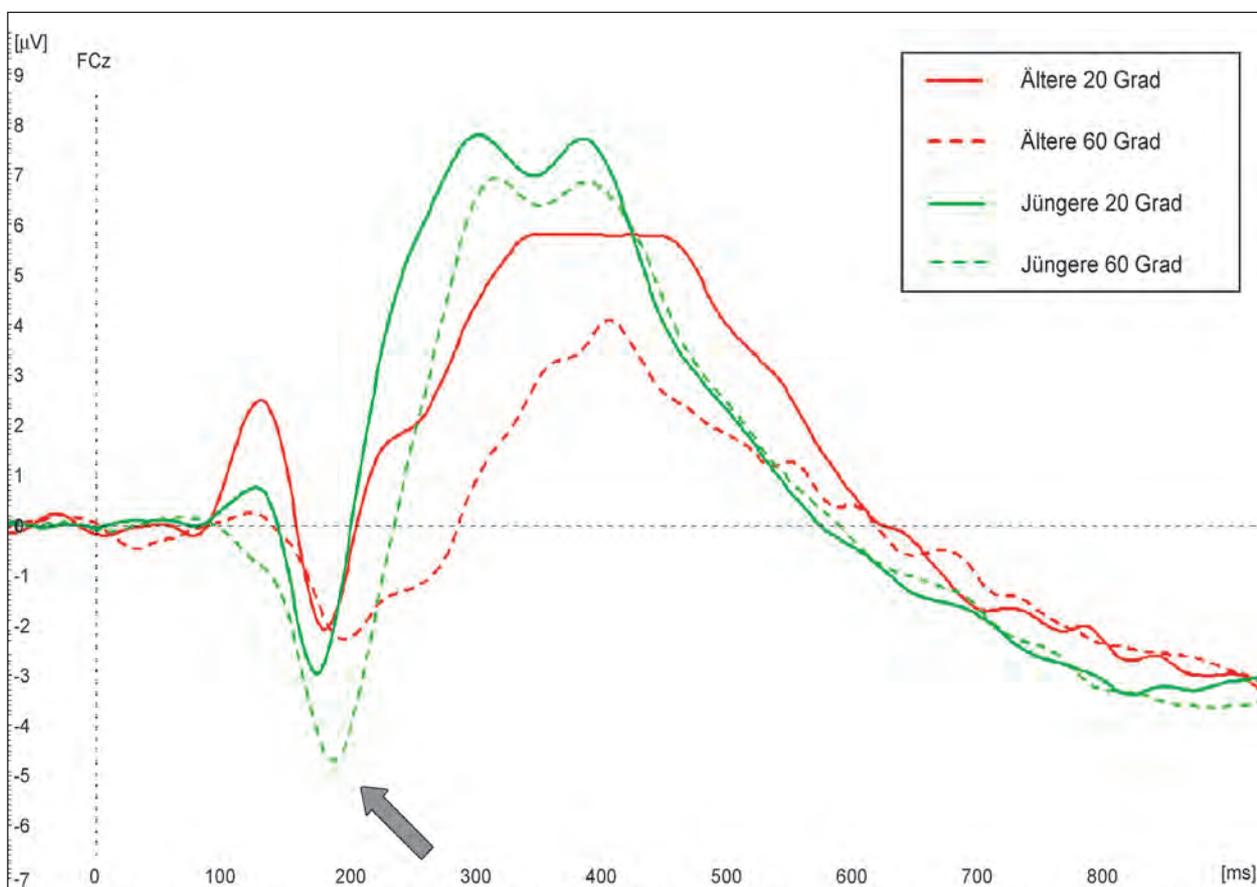


Bild 19: N2 an der Elektrode FCz für die Gruppen Jüngere und Ältere für 20 und 60 Grad

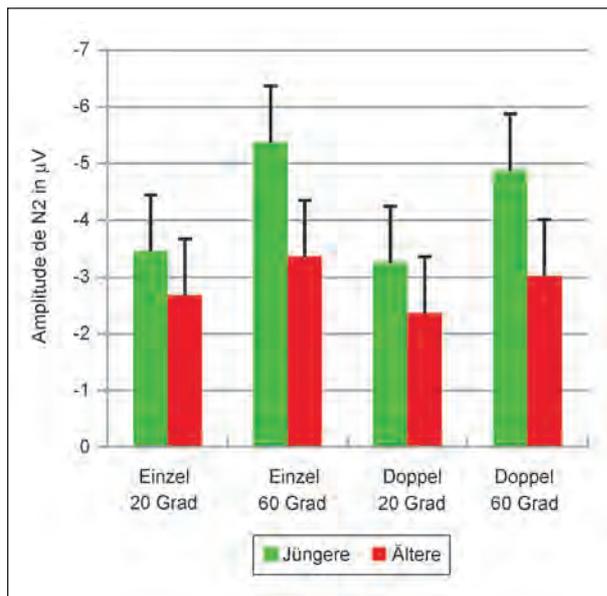


Bild 20: Amplitude der N2 in µV in Einzel- und Doppel-Aufgabe für Reize im 20- und 60-Grad-Sehwinkel für Jüngere und Ältere

ber als für 20-Grad-Reize (5,13 µV vs. 3,36 µV, Bild 20).

Ältere:

Der Unterschied zwischen 20- und 60-Grad-Sehwinkel war – im Gegensatz zur Gruppe der Jüngeren – nur tendenziell signifikant, $F(1,32) = 3.72$, $p = .063$ (-2,53 µV vs. -3,19 µV).

Zusammenfassung der Ergebnisse der N2

Ältere wiesen insgesamt im Vergleich zu den Jüngeren eine längere Latenz auf, die sich insbesondere bei der Darbietung der Lichtreize im Sehwinkel von 60 Grad darstellte. Jüngere hingegen zeigten nur in der Einzel-Aufgabe (60 Grad) eine höhere Latenz. Dies deutet auf eine verzögerte Kontrolle bei den Älteren, v. a. bei den mehr peripheren Reizen.

Die N2-Amplitude war bei den Jüngeren in der Bedingung 60 Grad größer als in der Bedingung 20 Grad. Es zeigte sich kein Effekt der Aufgabe auf die N2. Dies deutet auf eine erhöhte frontale Kontrolle bei der Verarbeitung mehr peripherer Reize bei den Jüngeren, kaum aber bei den Älteren. Bei den Älteren war der Effekt des Sehwinkels kaum ausgeprägt.

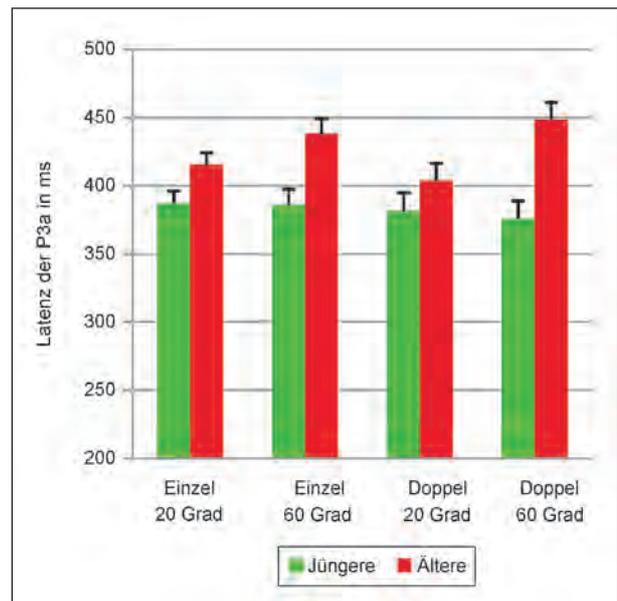


Bild 21: Latenz der P3a in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe für Reize im 20- und 60-Grad-Sehwinkel für beide Gruppen

7.2.4 P3a-Latenz

Die P3a-Komponente ist assoziiert mit der Orientierung der Aufmerksamkeit auf die peripheren Reize.

Es wurde die Latenz in ms bis zum lokalen positiven Maximum im Bereich 300-600 ms nach Reizpräsentation an der Elektrode Fz betrachtet.

- Haupteffekt Sehwinkel $F(1,61) = 5.16$, $p = .027$
Insgesamt zeigte sich eine kürzere Latenz der P3a bei Lichtreizen von 20 Grad (397 ms) als bei 60 Grad (412 ms).
- Haupteffekt Gruppe $F(1,61) = 12.65$, $p = .001$
Die Älteren wiesen eine um 44 ms längere Latenz auf als die Jüngeren (427 ms vs. 383 ms).
- Interaktion Sehwinkel x Gruppe $F(1,61) = 7.73$, $p = .007$

In der Bedingung 20 Grad war der Gruppenunterschied nur tendenziell signifikant, $F(1,61) = 3.68$, $p = .060$. Bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad zeigte sich hingegen ein hochsignifikanter Gruppenunterschied: $F(1,61) = 17.72$, $p < .001$. Hier war die Latenz der P3a bei den Älteren ca. 63 ms länger (444 ms) als bei den Jüngeren (381 ms, Bild 21).

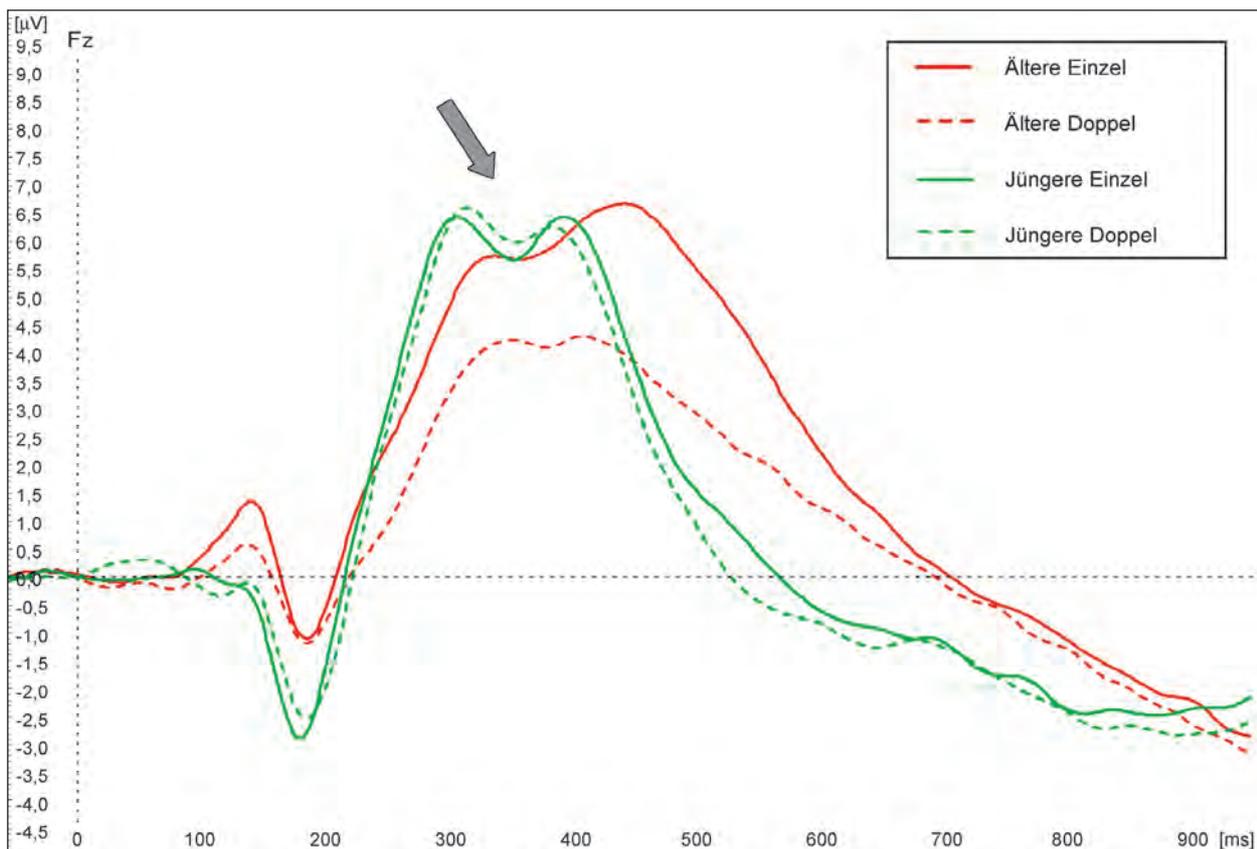


Bild 22: P3a an der Elektrode Fz für die Gruppen Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

Für die Gruppe der Jüngeren zeigte sich kein signifikanter Effekt von Sehwinkel oder Aufgabe.

Ältere:

Für die Gruppe der Älteren zeigte sich ein signifikanter Effekt des Sehwinkels: $F(1,32) = 10.65$, $p = .003$. Bei 60 Grad war ihre P3a-Latenz deutlich länger (444 ms) als bei 20 Grad (410 ms).

Bei separater Auswertung der Einzel- und Doppel-Aufgabe zeigte sich, dass der Effekt des Sehwinkels nur in der Doppel-Aufgabe signifikant wurde, $F(1,32) = 10.72$, $p = .003$.

7.2.5 P3a-Amplitude

Hier wurde die Amplitude (in μV) des lokalen positiven Maximums im Bereich 300-600 ms nach Reizpräsentation an der Elektrode Fz betrachtet.

- Haupteffekt Aufgabe $F(1,61) = 13.46$, $p = .001$

Insgesamt war die Amplitude der P3a in der Einzel-Aufgabe höher als in der Doppel-Aufgabe (8,34 μV vs. 7,13 μV).

- Interaktion Gruppe x Aufgabe $F(1,61) = 9.18$, $p = .004$

Für die Älteren zeigte sich ein Effekt der Aufgabe: $F(1,32) = 38.73$, $p < .001$. In der Doppel-Aufgabe war ihre Amplitude signifikant kleiner als in der Einzel-Aufgabe (6,35 μV vs. 8,56 μV). Für die Jüngeren zeigte sich keinerlei Effekt der Aufgabe (Bild 23).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

Es zeigten sich keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionen.

Ältere:

In der Doppel-Aufgabe war die Amplitude kleiner als in der Einzel-Aufgabe (6,35 μV vs. 8,56 μV). Dieses Ergebnis ist in Bild 22 dargestellt.

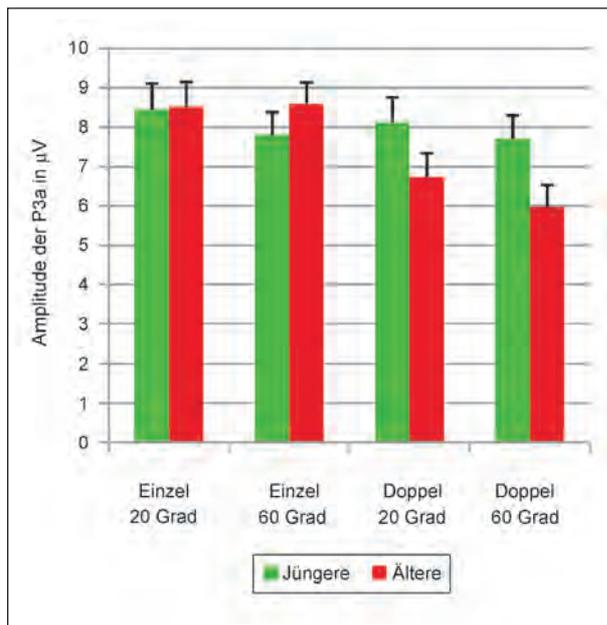


Bild 23: Amplitude der P3a in µV in Einzel- und Doppel-Aufgabe für Reize im 20- und 60-Grad-Sehwinkel für Jüngere und Ältere

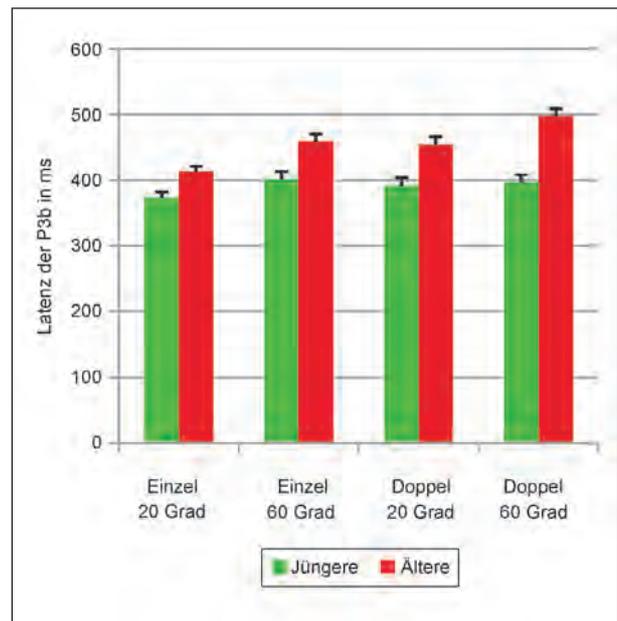


Bild 24: Latenz der P3b in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe, für Reize im 20- und 60-Grad-Sehwinkel bei Jüngeren und Älteren

Zusammenfassung der Ergebnisse der P3a

Die P3a-Latenz war bei den Älteren länger als bei den Jüngeren, vor allem in der Doppel-Aufgabe bei 60 Grad. Die P3a-Amplitude war bei den Älteren kleiner als bei den Jüngeren, aber nur in der Doppel-Aufgabe. Bei den Jüngeren zeigte sich keinerlei Effekt von Sehwinkel und Aufgabe auf die P3a. Dies deutet insgesamt auf eine Verzögerung und – nur in der Doppel-Aufgabe – auf eine Abschwächung der Orientierung auf neue Reize bei den Älteren.

7.2.6 P3b-Latenz

Es wurde die Latenz (in ms) bis zum lokalen positiven Maximum im Bereich 300-700 ms nach Reizpräsentation an der Elektrode Pz betrachtet (Baseline 100-0 Sekunden vor dem Reiz).

- **Haupteffekt Sehwinkel** $F(1,61) = 42.27, p < .001$
In der 60-Grad-Bedingung war die Latenz der P3b insgesamt länger (439 ms) als in der Bedingung 20 Grad (408 ms).
- **Haupteffekt Aufgabe** $F(1,61) = 13.73, p < .001$
In der Einzel-Aufgabe war die Latenz der P3b insgesamt kürzer (412 ms) als in der Doppel-Aufgabe (435 ms).

- **Haupteffekt Gruppe** $F(1,61) = 23.60, p < .001$

Die Latenz der P3b war bei den Jüngeren (391 ms) kürzer als bei den Älteren (449 ms).

- **Interaktion Sehwinkel x Gruppe** $F(1,61) = 8.96, p = .004$

Es zeigte sich, dass bei den Älteren die Latenz der P3b in der Bedingung 20 Grad um ca. 52 ms länger war (434 ms) als bei den Jüngeren (382 ms), $F(1,61) = 14.91, p < .001$. Bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad war dieser Unterschied noch größer (478 vs. 399 ms), $F(1,61) = 27.55, p < .001$ (Bild 23).

Bei der Gruppe der Jüngeren zeigte sich ein leichter Unterschied in der Latenz von ca. 17 ms in Abhängigkeit vom Sehwinkel: $F(1,29) = 10.32, p = .003$. Bei 20-Grad-Sehwinkel betrug die Latenz 382 ms, bei 60 Grad 399 ms.

Bei der Gruppe der Älteren ergab sich dagegen ein starker Unterschied der Latenz von ca. 44 ms: $F(1,32) = 34.04, p < .001$. Bei 20-Grad-Sehwinkel betrug die Latenz 434 ms, bei 60-Grad-Sehwinkel 478 ms.

Die Latenzverzögerung der P3b durch den größeren Sehwinkel war also bei den Älteren größer als bei den Jüngeren (Bild 24).

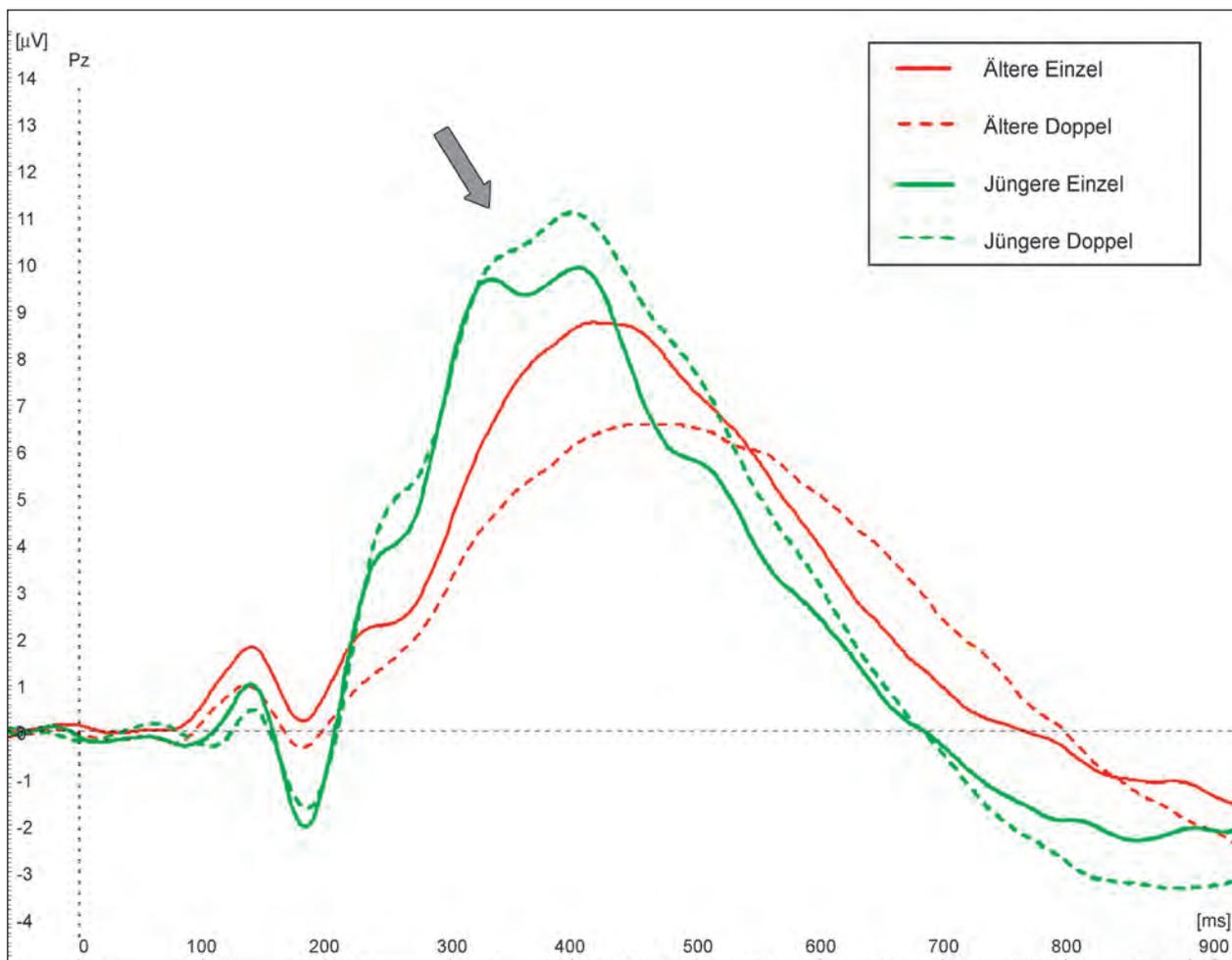


Bild 25: P3b an der Elektrode Pz für die Gruppen Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

- Interaktion Aufgabe x Gruppe $F(1,61) = 7.39$, $p = .009$

Der Gruppenunterschied wurde sowohl in der Einzel- ($F(1,61) = 10.64$, $p = .002$) als auch in der Doppel-Aufgabe ($F(1,61) = 25.42$, $p < .001$) signifikant.

Bei der Gruppe der Älteren wurde im Gegensatz zu den Jüngeren ein hochsignifikanter Effekt der Aufgabe ersichtlich ($F(1,32) = 16.34$, $p < .000$). In der Doppel-Aufgabe war die P3b-Latenz bei den Älteren signifikant länger als in der Einzel-Aufgabe (Bild 25).

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

Für die Gruppe der Jüngeren war die Latenz der P3b für Reize bei 60 Grad länger als für Reize bei 20 Grad (399 vs. 382 ms).

Des Weiteren wurde der Effekt des Seh winkels nur in der Einzel-Aufgabe signifikant ($F(1,29) = 12.15$, $p = .002$). Nur für 20-Grad-Sehwinkel zeigte sich ein Effekt der Aufgabe ($F(1,29) = 5.01$, $p = .033$, Bild 24).

Ältere:

Für die Gruppe der Älteren war die Latenz der P3b für Reize bei 60 Grad länger als für Reize bei 20 Grad (478 vs. 434 ms).

Zudem zeigte sich eine Latenzverlängerung um 40 ms in der Doppel-Aufgabe (476 ms) im Vergleich zur Einzel-Aufgabe (436 ms).

7.2.7 P3b-Amplitude

Die P3b-Komponente wird assoziiert mit der Zuordnung von Verarbeitungsressourcen für eine Aufgabe.

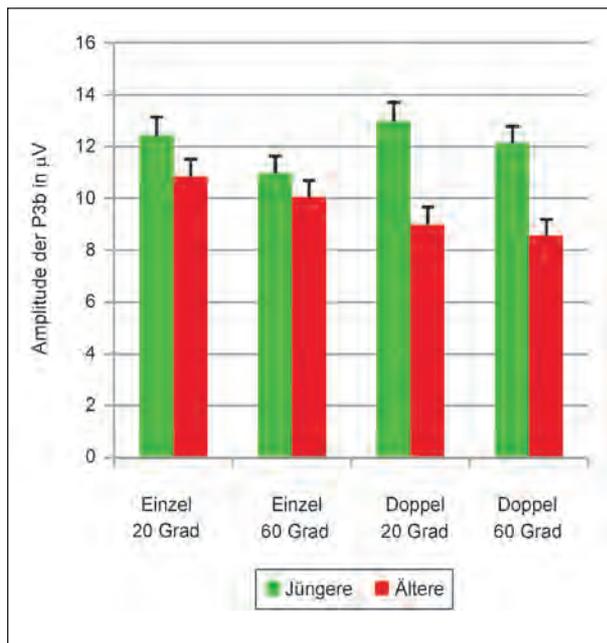


Bild 26: Amplitude der P3b in µV in Einzel- und Doppel-Aufgabe für Reize im 20- und 60-Grad-Sehwinkel, dargestellt für Jüngere und Ältere

Es wurde die Amplitude (in µV) des lokalen positiven Maximums im Bereich 300-700 ms nach Reizpräsentation an der Elektrode Pz betrachtet (Baseline 100-0 Sekunden vor dem Reiz).

- Haupteffekt Sehwinkel $F(1,61) = 19.51, p < .001$
Die mittlere Amplitude war bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad signifikant größer (11,31 µV) als bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad (10,43 µV).
- Haupteffekt Gruppe $F(1,61) = 7.56, p = .008$
Die mittlere Amplitude der P3b (9,61 µV) war bei den Älteren signifikant kleiner als bei den Jüngeren (12,12 µV, Bild 26).
- Interaktion Aufgabe x Gruppe $F(1,61) = 12.41, p = 001$
Für beide Gruppen ergab sich ein signifikanter Effekt der Aufgabe (Bild 25): Jüngere $F(1,29) = 14.56, p = .001$; Ältere $F(1,32) = 5.31, p = .028$.
Der Gruppenunterschied in der mittleren Amplitude zwischen Jüngeren (10,15 µV) und Älteren (6,98 µV) war nur in der Doppel-Aufgabe (hoch)signifikant (Bild 26): $F(1,61) = 17.17, p < .001$.

Ergebnisse der beiden Gruppen

Jüngere:

Für die Gruppe der Jüngeren ergab sich lediglich ein Effekt der Aufgabe ($F(1,29) = 14.56, p = .001$). Die Amplitude war in der Doppel-Aufgabe signifikant größer (12,55 µV) als in der Einzel-Aufgabe (11,7 µV).

Ältere:

Im Gegensatz zu den Jüngeren war die P3b bei den Älteren in der Doppel-Aufgabe (8,77 µV) signifikant kleiner als in der Einzel-Aufgabe (10,45 µV).

Bei Reizen im Sehwinkel von 20 Grad war die P3b-Amplitude signifikant größer (10,45 µV) als bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad (8,77 µV).

Zusammenfassung der Ergebnisse der P3b

Die Latenz der P3b war bei den Älteren gegenüber den Jüngeren stark verlängert. Sie war länger in der Bedingung 60 Grad und in der Doppel-Aufgabe. Diese Effekte waren weitaus größer bei den Älteren als bei den Jüngeren. Dies deutet auf eine starke Verzögerung der Ressourcen-Allokation bei den Älteren im Vergleich zu den Jüngeren.

Die Amplitude der P3b war bei den Älteren aber nur in der Doppel-Aufgabe verringert. Während bei den Jüngeren die P3b in der Doppel- im Vergleich zur Einzel-Aufgabe etwas anstieg, sank sie bei den Älteren. Dies zeigt eine kompensatorische Erhöhung der Ressourcenzuteilung bei den Jüngeren in der Doppel-Aufgabe, während die Älteren hier im Gegenteil eine Abschwächung zeigten (Bild 26).

Die Amplituden und Topografien der P3b sind in Abhängigkeit von der Aufgabe und den Sehwinkeln für beide Gruppen in Bild 27 dargestellt.

Positive Amplituden sind im Farbspektrum Gelb bis Rot dargestellt, wobei die rote Farbe die maximale Amplitude von 10 µV symbolisiert. Die grüne Farbe symbolisiert keine/ neutrale Polarisierung, negative Amplituden sind dem Farbspektrum Hellblau bis Dunkelblau zugeordnet.

Deutlich zu sehen ist die geringere Amplitude in der Gruppe der Älteren, v. a. in der Doppel-Aufgabe. Bei den Älteren ist die Amplitude in der Bedingung 60 Grad etwas kleiner als bei 20 Grad.

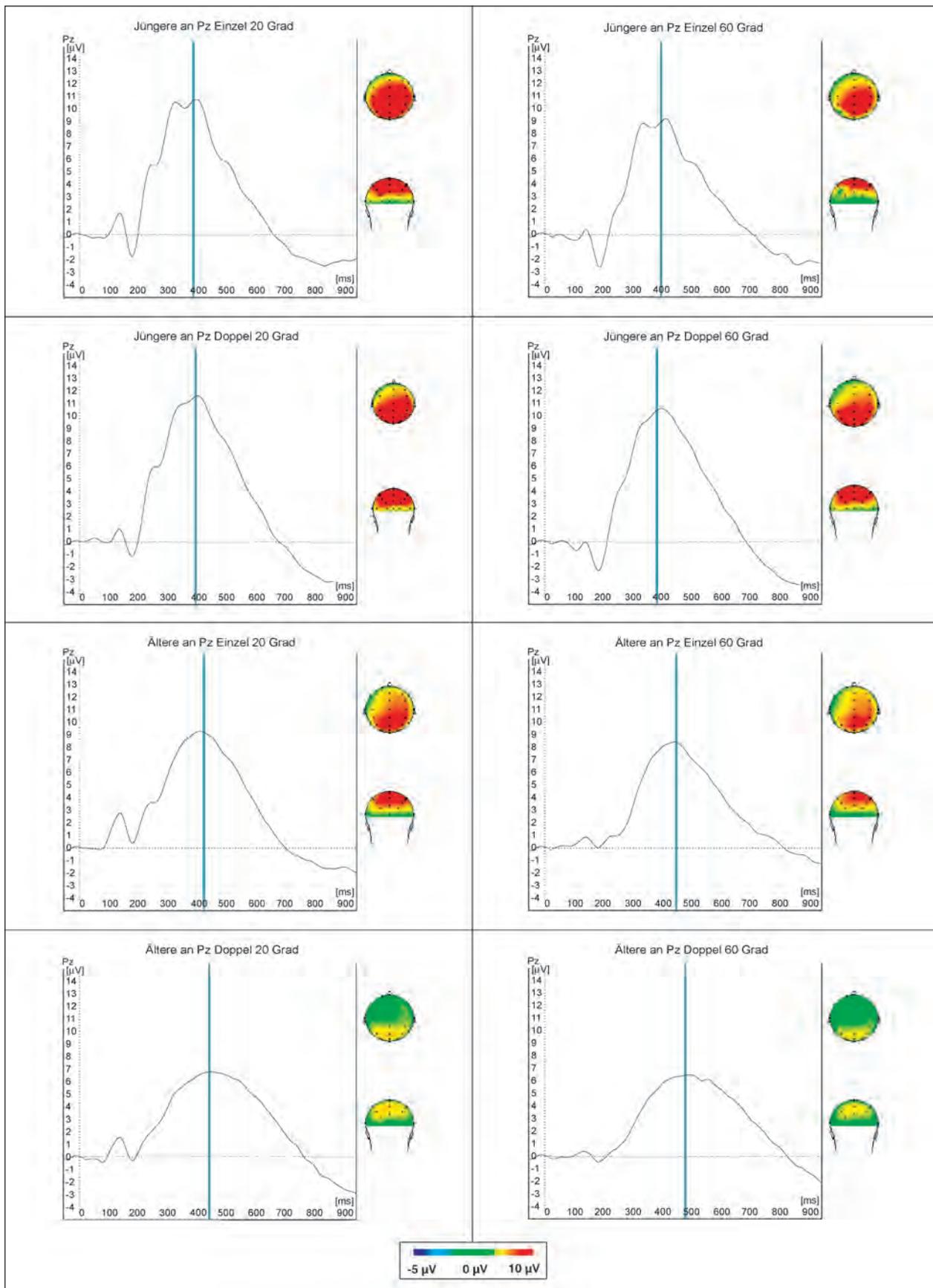


Bild 27: P3b an Pz, Amplitude und Topografie für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe sowie in der Bedingung 20 Grad und 60 Grad. Links ist jeweils der zeitliche Verlauf dargestellt, rechts daneben die Topografie zum Zeitpunkt des jeweiligen Maximums (vertikale Linie), Ansicht von oben (oben), Ansicht von hinten (unten)

7.3 Korrelationen der EKP-Parameter

Es wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet.

7.3.1 Amplitude P3 und Auslassungen

Eine Korrelation der P3-Amplitude mit den Auslassungen lieferte folgende Ergebnisse:

In der Doppel-Aufgabe zeigte sich in der Bedingung 60 Grad signifikante negative Korrelation an den Elektroden FCz (-.250, $p = .048$), Cz (-.299, $p = .017$), CPz (-.275, $p = .029$) und Pz (-.256, $p = .043$), nicht jedoch an Fz (-.216, $p = .090$) d. h., je kleiner die P3a oder P3b, desto höher war die Anzahl übersehener Reize.

7.3.2 Latenz der P3 und Reaktionszeiten

An der Elektrode Cz war die Latenz der P3 in jeder Bedingung signifikant mit der Reaktionszeit korreliert. Dabei waren die Korrelationen höher in der Doppel-Aufgabe und bei 60-Grad-Sehwinkel.

An den (centro)parietalen Elektroden CPz und Pz war die Korrelation insgesamt geringer. Bei den Einzel-Aufgaben und bei 20-Grad-Sehwinkel war sie nicht mehr signifikant.

An den fronto-zentralen Elektroden FCz und Fz korrelierte die Latenz der P3 nur in der Doppel-Aufgabe mit den Reaktionszeiten.

7.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden noch einmal die Gesamtergebnisse der Verhaltensdaten und der EKP bezogen auf beide Gruppen zusammenfassend dargestellt. Hierbei wird auf die EKP einzeln eingegangen.

Verhaltensdaten

In der Spurhalteaufgabe waren die Älteren insgesamt etwas ungenauer als die Jüngeren, wobei sich dieser Unterschied in der Doppel-Aufgabe besonders bemerkbar machte. In der Lichtreizaufgabe reagierten die Älteren insgesamt langsamer als die Jüngeren und zeigten auch mehr Auslassungen, insbesondere in der Doppel-Aufgabe bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad. Untypischerweise zeigten

beide Gruppen weniger Auslassungen in der Doppel-Aufgabe als in der Einzel-Aufgabe.

EKP

• P1

Die stärkste Ausprägung der P1-Amplitude zeigte sich bei den Älteren in der Bedingung Einzel-Aufgabe im Sehwinkel von 20 Grad. Zudem war die Latenz der P1 im Vergleich zu den Jüngeren nicht verzögert.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die P1 mit sensorischen Prozessen assoziiert ist und Ältere kompensatorisch mehr Ressourcen für die frühe Reizverarbeitung bereithalten.

• N2

Generell war die N2-Latenz bei den Älteren länger als bei den Jüngeren, insbesondere wenn die Lichtreize im Sehwinkel von 60 Grad präsentiert wurden. Jüngere hingegen wiesen nur in der Einzel-Aufgabe in der Bedingung 60 Grad eine höhere N2-Latenz auf.

Eine erhöhte N2-Amplitude zeigte sich bei Jüngeren insbesondere bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad. Bei Älteren hingegen war ein Effekt des Sehwinkels bzw. der Aufgabe nicht erkennbar.

Dies bedeutet, dass Jüngere zur Detektion schwer erkennbarer Reize den frontalen Kontrollprozess stärker aktivieren als Ältere.

• P3a

Die P3a-Latenz war bei den Älteren insgesamt länger als bei den Jüngeren, vor allem in der Bedingung 60 Grad in der Doppel-Aufgabe. Zudem zeigten Ältere im Vergleich zu den Jüngeren in der Doppel-Aufgabe eine kleinere P3a-Amplitude. Bei den Jüngeren dagegen ließ sich ein Effekt des Sehwinkels und der Aufgabe nicht nachweisen. Dies deutet darauf hin, dass Ältere bei Doppel-Aufgaben neben einer deutlichen Verzögerung auch eine Abschwächung in der Orientierung auf neue Reize zeigen.

• P3b

Die P3b war bei den Älteren gegenüber den Jüngeren verzögert und verkleinert. Dies zeigte sich insbesondere in der Doppel-Aufgabe und bei Reizen im Sehwinkel von 60 Grad.

Dieses Ergebnis verdeutlicht die Schwierigkeiten Älterer bei der Zuordnung von Ressourcen auf die Detektion schwer erkennbarer Reize.

Die Ergebnisse der Überprüfung der eingangs formulierten Hypothesen werden in Kapitel 8 beschrieben.

7.5 Daten

7.5.1 Mittelwerte (geschätzte Randmittel)

Verhaltensdaten

Reaktionszeiten

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	359,309	5,042	349,228	369,391
Doppel	448,045	7,808	432,431	463,658

Tab. 4: Mittelwerte Reaktionszeiten in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	392,276	5,619	381,041	403,511
60 Grad	415,078	6,350	402,380	427,776

Tab. 5: Mittelwerte Reaktionszeiten in ms für 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	382,723	8,461	365,804	399,641
Ältere	424,632	8,067	408,500	440,763

Tab. 6: Mittelwerte Reaktionszeiten in ms für Jüngere und Ältere

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	349,270	7,298	334,677	363,863
	Doppel	416,175	11,302	393,575	438,776
Ältere	Einzel	369,349	6,958	355,435	383,263
	Doppel	479,914	10,776	458,366	501,463

Tab. 7: Mittelwerte Reaktionszeiten in ms für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	376,227	8,133	359,965	392,489
	60 Grad	389,218	9,192	370,838	407,598
Ältere	20 Grad	408,325	7,754	392,819	423,831
	60 Grad	440,938	8,764	423,414	458,463

Tab. 8: Mittelwerte Reaktionszeiten in ms für Jüngere und Ältere und 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	20 Grad	342,208	6,689	328,832	355,583
		60 Grad	356,332	8,270	339,796	372,869
	Doppel	20 Grad	410,246	11,117	388,016	432,477
		60 Grad	422,104	12,135	397,838	446,370
Ältere	Einzel	20 Grad	354,632	6,378	341,878	367,385
		60 Grad	384,066	7,885	368,299	399,833
	Doppel	20 Grad	462,018	10,600	440,822	483,214
		60 Grad	497,810	11,571	474,673	520,947

Tab. 9: Mittelwerte Reaktionszeiten in ms für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe und für 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Spurabweichungen

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	889,771	25,285	839,210	940,332
Doppel	914,963	32,367	850,242	979,684

Tab. 10: Mittelwerte Spurabweichungen in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	820,473	40,809	738,870	902,076
Ältere	984,261	38,910	906,456	1.062,067

Tab. 11: Mittelwerte Spurabweichungen für Jüngere und Ältere

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	817,610	36,600	744,424	890,797
	Doppel	823,335	46,851	729,652	917,019
Ältere	Einzel	961,931	34,897	892,151	1.031,712
	Doppel	1.006,591	44,670	917,267	1.095,915

Tab. 12: Mittelwerte Spurabweichungen für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Auslassungen

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	3,566	,463	2,641	4,491
Doppel	2,430	,348	1,735	3,125

Tab. 13: Auslassungen in % in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	1,777	,248	1,281	2,274
60 Grad	4,219	,504	3,212	5,226

Tab. 14: Auslassungen in % bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	1,742	,503	,737	2,747
Ältere	4,255	,479	3,296	5,213

Tab. 15: Auslassungen in % bei Jüngeren und Älteren

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	2,315	,670	,976	3,655
	Doppel	1,168	,503	,162	2,174
Ältere	Einzel	4,817	,639	3,539	6,094
	Doppel	3,693	,480	2,733	4,652

Tab. 16: Auslassungen in % bei Jüngeren und Älteren in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	1,019	,359	,301	1,737
	60 Grad	2,464	,729	1,006	3,922
Ältere	20 Grad	2,536	,342	1,851	3,220
	60 Grad	5,974	,695	4,584	7,363

Tab. 17: Auslassungen in % bei Jüngeren und Älteren bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	20 Grad	1,482	,579	,323	2,640
		60 Grad	3,149	,894	1,362	4,936
	Doppel	20 Grad	,557	,330	-,103	1,217
		60 Grad	1,779	,796	,187	3,372
Ältere	Einzel	20 Grad	3,367	,552	2,262	4,472
		60 Grad	6,266	,852	4,562	7,970
	Doppel	20 Grad	1,704	,315	1,075	2,334
		60 Grad	5,681	,759	4,162	7,199

Tab. 18: Auslassungen in % bei Jüngeren und Älteren bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel und Aufgabe sowie Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests

Gruppe	Aufgabe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	Standardfehler	
					Untergrenze	Obergrenze
Bedingung						
Mann-Whitney-U-Test	Einzel-20 2 Sek.	Einzel-60 2 Sek.	Einzel-20 5 Sek.	Einzel-60 5 Sek.	Einzel 20 7 Sek.	Einzel 60 7 Sek.
U	323,5	345	446,5	308	400,5	383
Z	-2,58	-2,13	-0,76	-2,8	-1,52	-1,66
P	0,01	0,034	0,45	0,005	0,13	0,1
	Doppel-20 2 Sek.	Doppel-60 2 Sek.	Doppel-20 5 Sek.	Doppel-60 5 Sek.	Doppel-20 7 Sek.	Doppel-60 7 Sek.
U	344,5	328,5	432	337,5	465	239,5
Z	-2,85	-2,39	-1,14	-2,49	-0,57	-3,8
P	0,004	0,01	0,26	0,01	0,57	0,000

2, 5, 7 Sek = Zeitabstände der Lichtreizpräsentation

Tab. 18: Fortsetzung

7.5.2 Ereigniskorrelierte Potenziale

P1

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	,929	,174	,580	1,278
Doppel	,388	,141	,107	,669

Tab. 19: Mittlere Amplitude in μV in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	1,227	,218	,790	1,663
60 Grad	,090	,119	-,148	,328

Tab. 20: Mittlere Amplitude in μV bei 20 und 60 Grad

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	,271	,217	-,162	,704
Ältere	1,046	,207	,633	1,459

Tab. 21: Mittlere Amplitude bei Jüngeren und Älteren

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	,793	,316	,162	1,425
	60 Grad	-,251	,172	-,596	,093
Ältere	20 Grad	1,660	,301	1,058	2,262
	60 Grad	,432	,164	,104	,760

Tab. 22: Mittlere Amplitude bei Jüngeren und Älteren und 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	,489	,252	-,016	,993
	Doppel	,053	,203	-,354	,460
Ältere	Einzel	1,369	,241	,888	1,850
	Doppel	,723	,194	,335	1,111

Tab. 23: Mittlere Amplitude bei Jüngeren und Älteren in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	1,071	,351	,369	1,772
		Doppel	,516	,318	-,120	1,151
	60 Grad	Einzel	-,094	,238	-,569	,382
		Doppel	-,409	,170	-,750	-,069
Ältere	20 Grad	Einzel	2,175	,334	1,506	2,844
		Doppel	1,145	,303	,539	1,751
	60 Grad	Einzel	,564	,227	,110	1,017
		Doppel	,300	,162	-,024	,625

Tab. 24: Mittlere Amplitude bei Jüngeren und Älteren und 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

N2-Latenz

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	192,629	2,135	188,360	196,898
Doppel	191,586	1,916	187,754	195,418

Tab. 25: Latenz in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	185,580	1,991	181,598	189,561
60 Grad	198,636	2,282	194,072	203,199

Tab. 26: Latenz in ms bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	186,686	2,688	181,311	192,061
Ältere	197,529	2,563	192,404	202,654

Tab. 27: Latenz in ms für Jüngere und Ältere

Elektrode	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
FCz	192,516	2,019	188,477	196,554
Fz	193,841	1,986	189,870	197,813
Cz	189,966	1,794	186,377	193,554

Tab. 28: Latenz in ms für die Elektroden FCz, Fz und Cz

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	188,169	3,090	181,990	194,349
	Doppel	185,203	2,774	179,656	190,749
Ältere	Einzel	197,088	2,947	191,196	202,980
	Doppel	197,970	2,645	192,681	203,258

Tab. 29: Latenz in ms für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	182,389	2,882	176,625	188,153
	60 Grad	190,983	3,304	184,377	197,589
Ältere	20 Grad	188,770	2,748	183,275	194,266
	60 Grad	206,288	3,150	199,989	212,586

Tab. 30: Latenz in ms für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	181,511	3,238	175,036	187,986
		Doppel	183,267	3,103	177,062	189,472
	60 Grad	Einzel	194,828	3,955	186,918	202,737
		Doppel	187,139	3,622	179,896	194,382
Ältere	20 Grad	Einzel	187,657	3,087	181,483	193,830
		Doppel	189,884	2,959	183,968	195,800
	60 Grad	Einzel	206,520	3,771	198,979	214,062
		Doppel	206,056	3,454	199,150	212,961

Tab. 31: Latenz in ms für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

N2-Amplitude

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	-3,720	,425	-4,570	-2,870
Doppel	-3,384	,346	-4,075	-2,693

Tab. 32: Amplitude in μV in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	-2,941	,432	-3,805	-2,078
60 Grad	-4,163	,339	-4,841	-3,485

Tab. 33: Amplitude in μV bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	-4,245	,528	-5,301	-3,189
Ältere	-2,859	,503	-3,866	-1,852

Tab. 34: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere

Elektrode	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
FCz	-3,971	,389	-4,749	-3,193
Fz	-2,928	,365	-3,658	-2,198
Cz	-3,757	,368	-4,494	-3,021

Tab. 35: Amplitude in μV für die Elektroden FCz, Fz und Cz

Elektrode	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
FCz	-4,673	,614	-5,929	-3,417
Fz	-3,726	,561	-4,874	-2,578
Cz	-4,337	,547	-5,455	-3,219

Tab. 36: Amplitude in μV für Jüngere an den Elektroden FCz, Fz und Cz

Elektrode	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
FCz	-3,269	,489	-4,265	-2,273
Fz	-2,130	,473	-3,094	-1,167
Cz	-3,177	,497	-4,189	-2,166

Tab. 37: Amplitude in μV für Ältere an den Elektroden FCz, Fz und Cz

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	-4,418	,615	-5,649	-3,188
	Doppel	-4,072	,500	-5,073	-3,072
Ältere	Einzel	-3,022	,587	-4,195	-1,849
	Doppel	-2,696	,477	-3,650	-1,742

Tab. 38: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20	-3,358	,625	-4,607	-2,108
	60	-5,133	,491	-6,115	-4,152
Ältere	20	-2,525	,596	-3,716	-1,334
	60	-3,192	,468	-4,128	-2,257

Tab. 39: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Sehwinkel	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	-3,458	,731	-4,920	-1,997
		Doppel	-3,257	,581	-4,418	-2,095
	60 Grad	Einzel	-5,378	,582	-6,542	-4,215
		Doppel	-4,888	,495	-5,878	-3,898
Ältere	20 Grad	Einzel	-2,682	,697	-4,076	-1,288
		Doppel	-2,368	,554	-3,476	-1,261
	60 Grad	Einzel	-3,362	,555	-4,471	-2,252
		Doppel	-3,023	,472	-3,967	-2,079

Tab. 40: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

P3a-Latenz

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	406,708	6,167	394,377	419,040
Doppel	402,548	7,820	386,912	418,185

Tab. 41: Latenz in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	397,011	6,611	383,792	410,230
60 Grad	412,246	7,445	397,358	427,134

Tab. 42: Latenz in ms bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	382,617	8,959	364,701	400,532
60 Grad	426,640	8,542	409,559	443,722

Tab. 43: Latenz in ms für Jüngere und Ältere

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	384,325	9,569	365,191	403,459
	60 Grad	380,908	10,777	359,358	402,459
Ältere	20 Grad	409,697	9,123	391,454	427,940
	60 Grad	443,583	10,276	423,036	464,131

Tab. 44: Latenz in ms für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	386,500	8,927	368,650	404,350
	Doppel	378,733	11,319	356,100	401,367
Ältere	Einzel	426,917	8,511	409,897	443,936
	Doppel	426,364	10,792	404,784	447,944

Tab. 45: Latenz in ms für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	387,167	9,257	368,656	405,677
		Doppel	381,483	13,436	354,617	408,350
	60 Grad	Einzel	385,833	11,801	362,236	409,431
		Doppel	375,983	13,056	349,875	402,091
Ältere	20 Grad	Einzel	415,591	8,826	397,942	433,240
		Doppel	403,803	12,810	378,187	429,419
	60 Grad	Einzel	438,242	11,252	415,743	460,742
		Doppel	448,924	12,449	424,031	473,817

Tab. 46: Latenz in ms für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

P3a-Amplitude

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	8,341	,398	7,546	9,136
Doppel	7,134	,398	6,338	7,929

Tab. 47: Amplitude in μV in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	7,952	,390	7,172	8,731
60 Grad	7,523	,372	6,780	8,267

Tab. 48: Amplitude in μV bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	8,020	,524	6,972	9,069
Ältere	7,455	,500	6,455	8,454

Tab. 49: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	8,280	,564	7,151	9,409
	60 Grad	7,761	,538	6,684	8,837
Ältere	20 Grad	7,623	,538	6,547	8,700
	60 Grad	7,286	,513	6,260	8,312

Tab. 50: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	8,125	,575	6,975	9,276
	Doppel	7,915	,576	6,763	9,067
Ältere	Einzel	8,557	,549	7,460	9,655
	Doppel	6,352	,549	5,254	7,450

Tab. 51: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	8,441	,669	7,104	9,779
		Doppel	8,119	,643	6,834	9,404
	60 Grad	Einzel	7,810	,566	6,677	8,942
		Doppel	7,712	,588	6,536	8,888
Ältere	20 Grad	Einzel	8,516	,638	7,241	9,791
		Doppel	6,730	,613	5,505	7,956
	60 Grad	Einzel	8,598	,540	7,518	9,678
		Doppel	5,973	,561	4,852	7,095

Tab. 52: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

P3b-Latenz

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	411,779	6,584	398,614	424,944
Doppel	434,877	8,164	418,551	451,202

Tab. 53: Latenz in ms in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	408,145	6,658	394,832	421,458
60 Grad	438,511	7,561	423,392	453,630

Tab. 54: Latenz in ms bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	390,633	9,741	371,154	410,112
Ältere	456,023	9,288	437,450	474,595

Tab. 55: Latenz in ms für Jüngere und Ältere

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	389,162	8,942	371,280	407,043
	60 Grad	393,747	10,083	373,584	413,909
Ältere	20 Grad	430,697	8,526	413,648	447,746
	60 Grad	466,609	9,614	447,385	485,833

Tab. 56: Latenz in ms für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	387,558	9,530	368,502	406,615
	Doppel	393,708	11,818	370,077	417,340
Ältere	Einzel	436,000	9,086	417,831	454,169
	Doppel	476,045	11,268	453,514	498,577

Tab. 57: Latenz in ms für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	373,517	8,806	355,908	391,126
		Doppel	391,367	12,908	365,555	417,178
	60 Grad	Einzel	401,600	12,328	376,949	426,251
		Doppel	396,050	12,461	371,133	420,967
Ältere	20 Grad	Einzel	413,045	8,396	396,256	429,835
		Doppel	454,652	12,308	430,041	479,262
	60 Grad	Einzel	458,955	11,754	435,451	482,458
		Doppel	497,439	11,881	473,682	521,197

Tab. 58: Latenz in ms für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

P3b-Amplitude

Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Einzel	11,073	,461	10,151	11,994
Doppel	10,660	,456	9,747	11,572

Tab. 59: Amplitude in μV in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
20 Grad	11,307	,453	10,401	12,213
60 Grad	10,426	,413	9,600	11,252

Tab. 60: Amplitude in μV bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	12,124	,611	10,903	13,345
Ältere	9,609	,582	8,444	10,773

Tab. 61: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere

Gruppe	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	Einzel	11,696	,667	10,362	13,031
	Doppel	12,551	,661	11,230	13,872
Ältere	Einzel	10,449	,636	9,177	11,721
	Doppel	8,768	,630	7,509	10,028

Tab. 62: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Gruppe	Sehwinkel	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	12,703	,656	11,392	14,015
	60 Grad	11,544	,598	10,349	12,740
Ältere	20 Grad	9,910	,625	8,660	11,161
	60 Grad	9,307	,570	8,167	10,447

Tab. 63: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel

Gruppe	Sehwinkel	Aufgabe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Jüngere	20 Grad	Einzel	12,425	,705	11,015	13,834
		Doppel	12,982	,723	11,536	14,428
	60 Grad	Einzel	10,968	,665	9,638	12,299
		Doppel	12,120	,657	10,807	13,434
Ältere	20 Grad	Einzel	10,844	,672	9,500	12,187
		Doppel	8,977	,689	7,599	10,356
	60 Grad	Einzel	10,054	,634	8,786	11,323
		Doppel	8,560	,626	7,308	9,812

Tab. 64: Amplitude in μV für Jüngere und Ältere bei 20- und 60-Grad-Sehwinkel in Einzel- und Doppel-Aufgabe

Elektrode	Aufgabe und Sehwinkel	Korrelationswert	Signifikanz
Cz	Einzel 20 Grad	.258	$p = .041$
	Einzel 60 Grad	.305	$p = .015$
	Doppel 20 Grad	.366	$p = .003$
	Doppel 60 Grad	.539	$p < .001$
CPz	Einzel 20 Grad	.102	$p = .426$
	Einzel 60 Grad	.386	$p = .002$
	Doppel 20 Grad	.403	$p = .001$
	Doppel 60 Grad	.520	$p < .001$
Pz	Einzel 20 Grad	.121	$p = .344$
	Einzel 60 Grad	.305	$p = .015$
	Doppel 20 Grad	.400	$p = .001$
	Doppel 60 Grad	.577	$p < .001$
FCz	Einzel 20 Grad	.179	$p = .161$
	Einzel 60 Grad	.192	$p = .131$
	Doppel 20 Grad	.369	$p = .003$
	Doppel 60 Grad	.497	$p < .001$
Fz	Einzel 20 Grad	.056	$p = .665$
	Einzel 60 Grad	.224	$p = .078$
	Doppel 20 Grad	.453	$p < .001$
	Doppel 60 Grad	.507	$p < .001$

Tab. 65: Korrelation der P3b-Latenz mit der Reaktionszeit in Abhängigkeit von Elektrode, Aufgabe und Sehwinkel

8 Diskussion

Mit der vorliegenden Untersuchung sollten profunde Erkenntnisse über die Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer gewonnen werden, mit dem Ziel, daraus Anforderungen an die technische Weiterentwicklung von Fahrerassistenz- und Informationssystemen für ältere Kraftfahrer formulieren zu können.

Die vorliegenden Ergebnisse sollen zunächst im Hinblick auf die eingangs erwähnten Aufmerksamkeitsmodelle von POSNER & PETERSEN sowie WICKENS diskutiert werden (vgl. Kapitel 3.3.1). Insbesondere die funktionelle Bedeutung der EKP-Komponenten soll anhand der Modelle interpretiert werden, um dann die Forschungsfragen spezifischer beantworten zu können.

Die im vorliegenden Experiment messbaren Komponenten hatten bis auf die P3b ihr Maximum über fronto-zentralen Arealen, was mit der Annahme von eher frontal lokalisierten Kontrollprozessen der Aufmerksamkeitssteuerung übereinstimmt, wie die Verschiebung und Orientierung der Aufmerksamkeit. Kaum erkennbar waren klar parietale oder gar okzipitale Komponenten, die die Annahme einer Teilkomponente „Ablösung der Aufmerksamkeit“ stützen würden. Eine solche Komponente sollte vor allem in der Doppel-Aufgabe auftreten, in der die Aufmerksamkeit stärker an die zentrale Spuralteaufgabe gebunden und daher stärker von ihr abgelöst werden muss als in der Lichtreizaufgabe per se, wo nur ein zentraler Reiz fixiert werden muss. Im Gegensatz dazu war die P1 in der Doppel-Aufgabe verringert, was zeigt, dass sie mit sensorischen Prozessen und nicht mit der Ab-

lösung von Aufmerksamkeit assoziiert ist. Die P1 zeigte aber eine klare Vergrößerung bei den Älteren, was in Übereinstimmung mit der Literatur erneut belegt, dass Ältere sensorische Prozesse kompensatorisch heraufregulieren. Die N2 hatte einen klaren fronto-zentralen Fokus, was ebenfalls nicht zu dem von POSNER & PETERSEN postulierten parietalen Fokus des Ablösungsprozesses passt. Am ehesten ist die N2 durch den Kontrollprozess der Aufmerksamkeitsverschiebung („shifting“) zu erklären, zumal die N2 der P3a, welche die Orientierung der Aufmerksamkeit widerspiegelt, direkt vorangeht. Dies stimmt sowohl mit der Topografie (FCz) als auch mit neuerer Literatur zur N2 in Wechselaufgaben überein: Hier zeigt sich stets eine größere N2 mit Maximum an FCz, wenn bei gleichen Reizen die Aufgabe gewechselt werden muss (z. B. GAJEWSKI, KLEINSORGE & FALKENSTEIN, 2010), also der Fokus der Aufmerksamkeit auf einen anderen Aspekt der Aufgabe gerichtet werden muss. Möglicherweise spielt aber auch der Ablösungsprozess im vorliegenden Versuch kaum eine Rolle. Es wäre denkbar, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit breit im Raum verteilen und dann bei den ersten Anzeichen eines peripheren Reizes von einer breit verteilten auf eine fokussierte Aufmerksamkeit umschalten (N2) und den peripheren Reiz attendieren (P3a). Die P3b-Amplitude wird mit der Allokation von Verarbeitungsressourcen für eine Aufgabe assoziiert. Hier zeigt sich bei den älteren Probanden in Übereinstimmung mit dem Modell von WICKENS, dass bei der Beanspruchung der gleichen Ressource durch die beiden Teilaufgaben die Ressourcen für die Detektion abnehmen. Das gleiche Ergebnis würde man allerdings auch bei einem Ein-Ressourcen-Modell erwarten. Um das WICKENS-Modell anhand der P3b zu überprüfen, müsste man die Teilaufgaben aus getrennten Ressourcen verwenden, also z. B. statt Reize allein aus der visuellen Modalität Reize bei der Nebenaufgabe aus der auditorischen Modalität darbieten und vokale statt manuelle Reaktionen auf die Reize verlangen. Hier sollte dann keine Abnahme der P3b in der Doppel-Aufgabe auftreten und die Leistung sich entsprechend weniger reduzieren.

Bei den jüngeren Probanden zeigte sich hingegen eine Zunahme von Ressourcen für die Detektion in der Doppel-Aufgabe. Es hat sich gezeigt, dass die Jüngeren in der Doppel-Aufgabe noch zusätzliche Ressourcen aufbieten konnten, was nicht zwangsläufig gegen das Modell von WICKENS spräche.

Die aktuell ermittelten EKP-Komponenten und ihre Effekte beschreiben also wesentliche Teilaspekte des Modells von POSNER & PETERSEN, nämlich Aufmerksamkeitsverschiebung (N2) und Orientierung (P3a). In der P3b zeigt sich das Maß der Allokation von Verarbeitungsressourcen für eine Teilaufgabe, nämlich der Detektion. Diese kann mithin direkt durch die P3b gemessen werden. Die Daten geben zusätzlich neue Hinweise auf das Zusammenspiel von sensorischen und Kontrollprozessen bei einer Komponente: Die Variation der P1 mit der Exzentrizität und der Aufgabe zeigt klar die sensorischen Aspekte (schwächere Verarbeitung bei mehr peripheren Reizen und bei Teilung der Aufmerksamkeit), während die Erhöhung der P1 bei den Älteren und die Erhöhung der N2 bei den Jüngeren jeweils den Kontrollaspekt aufzeigen.

Für das Autofahren haben diese Prozesse eine entscheidende Bedeutung, insbesondere die Aufmerksamkeitsprozesse. Verschiebung von Aufmerksamkeit ist entscheidend für die Durchführung von Mehrfachaufgaben und namentlich für das Fahren. Wenn die Ablösung oder Verschiebung von Aufmerksamkeit beeinträchtigt ist, wie hier bei den Älteren, ist z. B. der Wechsel von einer Primäraufgabe (wie dem Führen eines Kraftfahrzeuges) zu einer Zweitaufgabe (wie der schnellen Erkennung relevanter Außenreize, der Reizdetektion) auch beeinträchtigt. Gleiches gilt für die Orientierung. Wenn diese defizitär ist, kann die Aufmerksamkeit nicht so schnell auf potenziell relevante Reize (wie Instrumentenanzeigen oder Außenreize) gerichtet werden, was deren weitere Verarbeitung beeinträchtigt. Wenn die Zuordnung von Verarbeitungsressourcen auf relevante Reize beeinträchtigt ist, ist deren Verarbeitung entsprechend verlangsamt oder fehlerbehaftet.

Mit dieser Interpretation der EKP-Komponenten vor dem Hintergrund wichtiger Aufmerksamkeitsmodelle sollen jetzt die eingangs formulierten Hypothesen überprüft und die Forschungsfragen beantwortet werden.

Überprüfung der formulierten Hypothesen

Die erste Hypothese konnte bestätigt werden: Ältere zeigen in der Spurhalteaufgabe schlechtere Leistungen als Jüngere.

Die zweite und dritte Hypothese konnten ebenfalls bestätigt werden: Ältere zeigen in der alleinigen

Lichtreizaufgabe keine schlechteren Leistungen als Jüngere, wenn die Reize nahe der Fovea (20 Grad) dargeboten werden, jedoch bei weiter entfernten Reizen (60 Grad).

Die vierte Hypothese konnte nur teilweise bestätigt werden: Alle Probanden zeigten in der Doppel-Aufgabe längere Reaktionszeiten als in der Einzel-Aufgabe. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Forschungsergebnissen (FALKENSTEIN, YORDANOVA & KOLEV, 2006; WILD-WALL, HAHN & FALKENSTEIN, 2009; VERHAEGEN, STEITZ, SLIWINSKI & CERELLA, 2003) und allgemeinen Ergebnissen zu Doppeltätigkeitsparadigmen. Hingegen zeigten alle Versuchspersonen in der Einzel-Aufgabe (Lichtreizaufgabe) zunächst überraschenderweise mehr Auslassungen als in der Doppel-Aufgabe. Für dieses Phänomen könnte folgende Erklärung herangezogen werden: Damit verschiedene Objekte oder Objektteile auf der Fovea centralis des Auges scharf abgebildet werden können, sind nach MURCH & WOODWORTH (1978) gesteuerte und ungesteuerte Augenbewegungen erforderlich. Mit den gesteuerten Augenbewegungen wird das jeweilige Objekt abgetastet, damit eine konstante Erhöhung der Sehschärfe erreicht wird. Mit den ungesteuerten Bewegungen wird eine ständige Reizung eines bestimmten Netzhautgebietes vermieden. Untersuchungen zeigen, dass ein Objekt, welches ohne den Einfluss der Augenbewegungen auf die gleiche Netzhautstelle projiziert wird, die Diskriminationsfähigkeit des visuellen Systems, also die visuelle Wahrnehmung, herabsetzt. Dies ist nach AREND (1973) damit zu erklären, „dass das visuelle System auf zeitlich getrennte Reize eingestellt ist. Die Signale werden durch das An- und Abschalten verschiedener Rezeptoren oder Detektoren im System weitergeleitet“.

In dem vorliegenden Versuch hatten die Probanden die Aufgabe, sieben Minuten ein Kreuz auf dem Bildschirm visuell zu fixieren und gleichzeitig auf periphere Lichtreize per Tastendruck zu reagieren. Während der Fixation war für die Versuchspersonen das Kreuz alleiniger Orientierungspunkt und zudem wurde der Kopf durch die Kinnstütze stabilisiert, um Kopfbewegungen ausschließen und Augenbewegungen kontrollieren zu können. Vermutlich dadurch, dass das Kreuz permanent auf nur einer Netzhautstelle abgebildet wurde und damit immer die gleichen Rezeptoren gereizt wurden, war eine angemessene Diskriminationsfähigkeit (visuel-

le Wahrnehmung) der Augen deutlich erschwert. Während der Durchführung der Doppel-Aufgabe hingegen waren für die Versuchspersonen durch die sich bewegende Spur (Spurhalteaufgabe) unterschiedliche zu beachtende Blickpunkte vorhanden, die Augenbewegungen erforderten. Dadurch wurden verschiedene Rezeptoren angesprochen (gereizt), sodass eine realistischere Wahrnehmungsfähigkeit wieder gegeben war.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen gaben 57 % der Probanden an, die alleinige Durchführung der Lichtreizaufgabe als besonders anstrengend empfunden zu haben.

Die fünfte Hypothese konnte wiederum vollständig bestätigt werden. Ältere schneiden in der Doppel-Aufgabe stets schlechter ab als Jüngere. Dies bestätigte sich sowohl für die Spurabweichung als auch für Reaktionszeiten und Auslassungen bei der Lichtreizaufgabe.

Bezüglich der sechsten Hypothese lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse der EEG-Messung und der daraus resultierenden Auswertung der EKP-Komponenten weiteren Aufschluss hinsichtlich der Lokalisation der Defizite der Älteren liefern konnten.

Das früheste detektierbare Korrelat der Verarbeitung der peripher dargebotenen Reize ist die P1. Sie war kleiner bei den 60-Grad-Reizen sowie für Ältere auch in der Doppel-Aufgabe. Dies ist plausibel, da die Verarbeitung peripherer Reize mit zunehmender Distanz abnehmen sollte (LOWITZSCH, 1993), ebenso bei Konzentration der Aufmerksamkeit auf die Mitte während der Spurhalteaufgabe. Interessanterweise zeigte sich eine generell höhere P1-Amplitude bei den Älteren. Dies lässt sich als kompensatorisch erhöhte frühe Reizverarbeitung bei den Älteren interpretieren. Hier zeigt sich also übereinstimmend mit der Literatur (z. B. YORDANOVA et al., 2004), dass die Gruppe der Älteren mehr Ressourcen für die Reizverarbeitung zur Verfügung stellt. In der Doppel-Aufgabe scheinen die Älteren diese zusätzlichen Ressourcen nicht mehr im selben Ausmaß zur Verfügung stellen zu können, was in höheren Reaktionszeiten und einer größeren Spurabweichung, nicht aber in einer höheren Anzahl von Auslassungen resultiert.

Insgesamt zeigt sich hier also ein Versuch der Älteren, durch Top-down-Prozesse die frühe Reizverar-

beitung zu optimieren. Die Latenz der P1 war bei den Älteren gegenüber den Jüngeren nicht verzögert, sodass insgesamt festgestellt werden kann, dass die früheste detektierbare Reizverarbeitung bei Älteren gegenüber den Jüngeren nicht verzögert ist, sondern sogar etwas verstärkt. Die schlechtere Leistung der Älteren wird also nicht durch eine Beeinträchtigung der frühen Reizverarbeitung verursacht. Die schlechtere Leistung der Älteren muss also in einem der späteren Verarbeitungsprozesse lokalisiert sein. Damit ist die erste Variante der sechsten Hypothese widerlegt.

Die Latenz der N2 war bei den Älteren im Vergleich zu Jüngeren länger (vgl. z. B. POLICH, 1997; FALKENSTEIN, HOHNSBEIN & HOORMANN, 2002). Der Unterschied war allerdings nur minimal. Nicht überraschend ist die längere Latenz der N2 bei stärker peripher dargebotenen Reizen. Wichtiger ist jedoch der Befund einer größeren N2-Amplitude bei den mehr peripheren Reizen bei Jüngeren, welche sich bei Älteren hingegen nicht feststellen lässt. Dies kann kein reizinduzierter Effekt sein (welcher eine kleinere Amplitude voraussagen würde), sondern zeigt in Übereinstimmung mit der Literatur (FOLSTEIN & van PETTEN, 2008), dass die N2 einen fronto-zentral fokussierten Kontrollprozess widerspiegelt, der bei schwer detektierbaren Reizen von den Jüngeren stärker aktiviert wird, kaum jedoch von den Älteren. Jüngere reagieren also auf stark peripher dargebotene Reize mit einer erhöhten Kontrollaktivität. Dennoch zeigen auch Jüngere bei peripheren Reizen höhere Reaktionszeiten und mehr Auslassungen – allerdings ist der Unterschied kleiner als bei den Älteren. Die Daten deuten also darauf hin, dass Jüngere einen – zumindest teilweisen – Ausgleich über eine kompensatorische Erhöhung der Kontrolle (N2) zur besseren Detektion peripherer Reize erreichen. Ältere scheinen dafür keine zusätzlichen Ressourcen zur Verfügung stellen zu können. Die Effekte auf die N2 zeigen, dass diese Art der Kontrolle im Wesentlichen der optimalen Detektion verschieden schwer erkennbarer Reize dient. Dieser Kontrollprozess ist bei Älteren eingeschränkt und könnte ihre schlechtere Leistung bei mehr peripher dargebotenen Reizen erklären. Im Modell von POSNER und PETERSEN spiegelt die N2 wahrscheinlich den Prozess der Aufmerksamkeitsablösung oder -verschiebung wider. Die Daten deuten mithin darauf hin, dass Jüngere diesen Prozess der Aufmerksamkeitsverschiebung bei den weiter peripher liegenden Zielen funktional stärker aktivie-

ren, was den Älteren kaum gelingt. Ältere weisen demnach ein Defizit bei der Aufmerksamkeitsverschiebung auf.

Die P3a war bei den Jüngeren vollkommen unabhängig von der Aufgabe. Bei den Älteren war die P3a gegenüber den Jüngeren verzögert und verkleinert. Insbesondere war die P3a bei den 60-Grad-Reizen in der Doppel-Aufgabe verringert. Für die Amplitude der P3a zeigte sich auch nur für Ältere eine niedrigere Amplitude in der Doppel-Aufgabe. Dies zeigt eine Verzögerung und Abschwächung der Orientierung auf die Reize bei den Älteren, vor allem in der schwierigsten Kombination. Dies entspricht sehr genau dem Leistungsmuster der Älteren, das ebenfalls in der Doppel-Aufgabe und hier besonders bei 60-Grad-Reizen ein starkes Defizit zeigte. Daraus lässt sich ableiten, dass ein erheblicher Teil der Leistungsbeeinträchtigungen der Älteren durch eine defizitäre Orientierung der Aufmerksamkeit auf die Reize bedingt ist. Dies zeigt sich vor allem in einer starken Abschwächung des Orientierungsprozesses bei den Älteren in der Doppel-Aufgabe.

Die P3b zeigte – wie erwartet (s. z. B. POLICH, 1997; FALKENSTEIN et al., 2002) – bei den Älteren eine längere Latenz und eine verringerte Amplitude. Die Latenz der P3b war länger und die Amplitude kleiner bei 60-Grad-Reizen als bei 20-Grad-Reizen. Diese Effekte waren bei den Älteren stärker ausgeprägt. Zudem zeigte sich nur bei den Älteren eine deutliche Latenzverlängerung der P3b durch die Doppel-Aufgabe. Die Latenzeffekte spiegeln die Effekte auf die Reaktionszeiten wider. Die Latenz der P3b und die Reaktionszeit sind daher auch signifikant miteinander korreliert.

Allerdings können die Latenzeffekte auf die P3b die massiven Reaktionsverzögerungen der Älteren nicht vollständig erklären. Beispielsweise beträgt bei den Älteren die Verzögerung der Reaktionszeiten in der Doppel- vs. Einzel-Aufgabe 110 ms, während die Verzögerung der P3b-Latenz nur 40 ms beträgt. Allerdings lässt sich mit den hier durchgeführten Analysen nur zum Teil ein Rückschluss auf die zugrunde liegenden Prozesse ziehen. Die Daten deuten darauf hin, dass ein großer Teil der Reaktionszeit-Verzögerung bei den Älteren zusätzlich durch eine Verzögerung der Reaktionsaktivierung bedingt ist (YORDANOVA et al., 2004), d. h., die Älteren benötigen längere Zeit als die Jüngeren, um ihre motorische Aktivierung über die Reaktions-

schwelle zu führen. Die zusätzliche Verlängerung der Reaktionszeit bei Älteren über die P3b-Verzögerung hinaus könnte somit durch eine Verzögerung auf der Stufe der motorischen Aktivierung erklärt werden (KOLEV, FALKENSTEIN & YORDANOVA, 2006).

Die P3b-Amplitude zeigte entgegengesetzte Aufgabeneffekte für die beiden Gruppen: Bei den Älteren war die Amplitude in der Doppel-Aufgabe gegenüber der Einzel-Aufgabe verringert, bei den Jüngeren hingegen erhöht. Dies zeigt, dass in der Doppel-Aufgabe im Vergleich zur Einzel-Aufgabe bei Jüngeren die Zuweisung von Ressourcen auf die Detektionsaufgabe erhöht ist, während sie bei Älteren erniedrigt ist. Da dies bei den Älteren nicht mit einer Verbesserung der Spurhaltung einhergeht, sondern – im Gegenteil – mit einer Verschlechterung, zeigt das Ergebnis nicht eine Verschiebung, sondern ein Defizit von Verarbeitungsressourcen bei den Älteren, welches dann besonders bei Doppel-Aufgaben zum Tragen kommt und die Ergebnisse beider Teilaufgaben verschlechtert. Jüngere hingegen setzen bei Doppel-Aufgaben Verarbeitungsreserven ein, was für die Detektionsaufgabe durch die EKP direkt sichtbar gemacht werden kann.

Der Sehwinkel hatte bei Jüngeren keine Auswirkung auf die Amplitude. Hingegen war bei Älteren auch der Sehwinkel ausschlaggebend: Sie zeigten bei Reizen in der Peripherie eine signifikant kleinere Amplitude. Das bedeutet, dass Ältere für die Entdeckung peripherer Reize weniger Ressourcen zur Verfügung stellen können.

In diesem Zusammenhang ist auch die negative Korrelation der P3b-Amplitude mit den Auslassungen in der Bedingung Doppel-Aufgabe und 60-Grad-Sehwinkel zu erklären. Je kleiner die Amplitude der P3b, desto weniger Verarbeitungsressourcen stehen zur Verfügung. Dies resultiert in einer steigenden Anzahl von Auslassungen in der Doppel-Aufgabe.

Beantwortung der Forschungsfragen

Die eingangs gestellten Forschungsfragen lassen sich folgendermaßen beantworten:

Die mittels EEG erhobenen Daten erlauben spezifischere Aussagen über mögliche Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer als die alleinige Erfassung der Verhaltensdaten.

Die Verhaltensdaten zeigen wie erwartet größere Leistungseinbußen hinsichtlich der Reaktion auf periphere Reize bei den Älteren, insbesondere bei stärker peripheren Reizen und bei gleichzeitigem Ausüben einer Zweitaufgabe. Mit Hilfe der EKP-Daten konnte gezeigt werden, dass die Leistungsdefizite Älterer nicht in einer Einschränkung der frühen Verarbeitung peripherer Reize (P1) liegen, sondern in späteren kognitiven und zentral-motorischen Prozessen wie der Verschiebung der Aufmerksamkeit (N2), Orientierung auf den peripheren Reiz (P3a) und der Zuordnung von Verarbeitungsressourcen (P3b). Für das Fahren bedeutet dies, dass ältere Fahrer insbesondere in Situationen beeinträchtigt sein könnten, die Ablösung, Wechsel und Neuorientierung von Aufmerksamkeit erfordern. Diese Beeinträchtigung besteht zum einen in der aktuell untersuchten Doppel-Aufgabe mit räumlich stark vorhersehbaren Reizen; sie könnte aber noch viel stärker in realen Fahrsituationen gegeben sein, in welchen periphere Reize in aller Regel zeitlich und vor allem räumlich unvorhersehbar auftreten.

Die Doppel-Aufgabe stellt hier ein bestens geeignetes Instrument dar, da sie hohe ökologische Validität besitzt, d. h. die tatsächlichen Anforderungen in einer realen Fahrsituation gut abbildet. Mit Hilfe der hier gewählten Doppel-Aufgabe konnten sowohl sensorische Prozesse als auch Aufmerksamkeitsprozesse durch die EKP untersucht werden und so Rückschlüsse auf mögliche Ursachen spezifischer Fahrfehler älterer Kraftfahrer gezogen werden. Konkret konnte gezeigt werden, dass die frühe visuelle Verarbeitung nicht beeinträchtigt ist, hingegen jedoch spätere kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeitsverschiebung und -orientierung sowie Ressourcenzuordnung und Reaktionsaktivierung. Bei Doppel-Aufgaben zeigen die Älteren v. a. ein deutliches Defizit in der Orientierung der Aufmerksamkeit auf die peripheren Reize sowie vermutlich eine Verzögerung der Reaktionsaktivierung.

Die EKP-Daten nach Darbietung der peripheren Reize können naturgemäß nur die Ursachen für die schlechteren Leistungen Älterer bei der Reaktion auf diese Reize erhellen. Eine zu späte Reaktion auf relevante Reize oder gar ihr Übersehen stellt eine wesentliche Ursache von Fahrfehlern oder Unfällen Älterer dar. Die EKP-Daten können aber nicht klären, wieso die Älteren generell in der Spurhalteaufgabe schlechter waren als die Jüngeren. Es

wäre von hoher Bedeutung zu analysieren, inwieweit die Verarbeitung der peripheren Reize und die Reaktion darauf das Spurhalten bei Älteren beeinträchtigen. Hierzu liegen klare Hinweise vor (HAHN et al., 2010). Im Ausblick wird erläutert, wie im Rahmen einer ergänzenden Studie die Leistungen in der Spurhalteaufgabe mittels erweiterter EKP-Analyse genauer erforscht werden können, um dieser Frage nachzugehen.

Fahrerassistenzsysteme für ältere Kraftfahrer

Ausgehend von der zugrunde liegenden Fragestellung sowie den Ergebnissen des Projektes sollen in diesem Kapitel Überlegungen in Bezug auf die altersgerechte Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen dargelegt werden.

In der Literatur lassen sich wiederholt Hinweise darauf finden, dass bei der Entwicklung von FAS für ältere Kraftfahrer, vor dem Hintergrund altersspezifischer Leistungseinbußen, das Augenmerk auf eine relativ einfache Handhabbarkeit/Bedienbarkeit von Assistenzsystemen gerichtet werden sollte. Viele Ältere stehen derzeit modernen Techniken etwas skeptisch oder sogar unbeholfen gegenüber. Hier wäre es für Senioren hilfreich, wenn ihnen eine Einführung bzw. praktische Einübung in die neue Technologie der FAS/FIS angeboten würde. Die Erprobung könnte zum einen im Realverkehr oder aber an Fahrsimulatoren erfolgen. Denkbar wäre auch ein Training in verschiedenen Verkehrsszenarien, um die Orientierung auf bestimmte Reize sowie die Reaktionsaktivierung zu verbessern. Ein solches Verfahren müsste allerdings in Bezug auf die ökologische Validität überprüft werden.

Die aktuellen Ergebnisse lassen allerdings aufgrunddessen, dass sie einen genaueren Einblick in die Ursachen für die Verhaltenseinbußen Älterer bieten, spezifischere Ansatzpunkte für die Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen für ältere Kraftfahrer erkennen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen auf, dass für die Ursachen der Fahrfehler älterer Kraftfahrer weniger Beeinträchtigungen der visuellen Wahrnehmung verantwortlich sind, sondern vielmehr Beeinträchtigungen der visuellen Aufmerksamkeit (Aufmerksamkeitsverschiebung, Orientierung auf neue Reize und Allokation von Verarbeitungsressourcen) als ursächlich in Betracht kommen.

Da der kognitive Alterungsprozess einer hohen interindividuellen Variabilität unterliegt, kann die allgemeine Frage, welche FAS/FIS für Senioren eine maßgebliche Unterstützung bei der Bewältigung der Fahraufgabe bieten, nur schwer beantwortet werden. Einerseits sollen technische Systeme die altersspezifischen Leistungseinschränkungen kompensieren, andererseits werden aber neue Anforderungen hinsichtlich der Bedienbarkeit und Integration in das bestehende stabile Fahrverhaltensmuster an die Senioren gestellt. Ein Beispiel hierfür sind Systeme mit modalspezifischen Warnfunktionen (visuelle/akustische Warnung), auf die unabhängig von der jeweiligen Verkehrssituation reagiert werden muss. Unterstützende Systeme mit Warnfunktionen sind bereits in verschiedenen Fahrzeugklassen verbaut, wie Einparkhilfen, Parkassistent, Spurverlassenswarner, Blind Spot Detection, um nur einige zu nennen, oder befinden sich noch in der Forschung (z. B. Kreuzungsassistent). Fahrerassistenzsysteme mit Warnfunktion könnten z. B. auch so konzipiert werden, dass seitlich am Fahrzeug angebrachte Außenkameras in Kombination mit intelligenter Software relevante periphere Reize im Straßenverkehr detektieren und als Tonsignal an den Fahrer melden, wobei die Eigenschaften des Tons (Lateralität, Frequenz und deren Veränderung) Informationen über Art, Position und Bewegung beinhalten könnten. Ein solcher Reiz sollte die Verschiebung und Orientierung der Aufmerksamkeit fördern und schneller adäquate Maßnahmen des Fahrers induzieren.

Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stellt sich jedoch die Frage, ob technische Systeme mit Warnfunktionen für ältere Kraftfahrer überhaupt geeignet sind oder ob sie nicht selbst auch (mehr oder weniger) zu einer kognitiven Überforderung führen, die letztlich wiederum zu einer Verkehrsgefährdung beiträgt. Die hier dargestellte Studie hat gezeigt, dass Ältere insbesondere bei der Aufmerksamkeitsverschiebung und Orientierung auf neue Reize Probleme aufweisen (s. Ergebnisse zur P3a, Bild 22, und Ergebnisse zur P3b, Bild 25). Da es Älteren offensichtlich schwerfällt, sich auf neue Reize zeitgerecht einzustellen, und Warnhinweise eine kurzfristige Aufmerksamkeitsumlenkung vom Fahrer verlangen, sollte die Entwicklung von FAS/FIS mit Warnfunktion für diese Personengruppe eher weniger in Betracht gezogen werden. Warnhinweise, die keine kurzfristige Aufmerksamkeitsumlenkung (beispielsweise kooperative Gefahrenwarnung) erfordern,

könnten gleichwohl den Bedürfnissen Älterer entsprechen (Forschungsbedarf).

Hinsichtlich der in der Literatur beschriebenen Fahrurfälle Älterer bestünde die Überlegung, das Fahrzeug mit Teilautomatisierung auszustatten, um in komplexen Verkehrssituationen (z. B. Abbiegemanöver an Knotenpunkten) Ältere zu entlasten und Eingriffe vom Fahrzeug vornehmen zu lassen. Hiervon verspricht sich die Fachöffentlichkeit eine Reduzierung sowohl der Anzahl der Unfälle als auch der Unfallschwere. Die Ergebnisse der hier dargestellten Untersuchung zeigen hingegen, dass von dieser Möglichkeit bei der älteren Kraftfahrerpopulation nicht uneingeschränkt Gebrauch gemacht werden kann: Die Teilautomatisierung zum Beispiel erfordert, dass der Fahrzeugführer das System laufend überwacht, im Fehlerfall übersteuert und nach Eingriff des Systems im Anwendungsbereich die Fahrzeugführung übernimmt. GASSER (2012) führt hierzu weiter aus: „Das teilautomatische System befreit den Fahrzeugführer daher – bis zur erforderlichen Rückübernahme der Fahrzeugsteuerung – nur von der aktiven Handlungsausführung.“ Ältere wären bei der Durchführung ihrer aktiven Fahraufgabe zumindest zeitweise entlastet, könnten aber vor dem Hintergrund ihrer visuellen Aufmerksamkeitsdefizite und verlangsamter Reaktionsaktivierung Probleme bei der Fahrzeugübernahme und bei der ggf. erforderlichen Übersteuerung aufweisen. Hier wäre es eher sinnvoll, FAS einzusetzen, die den älteren Fahrer bei der Bewältigung seiner Fahraufgabe belassen und kleinere Funktionen zur Unterstützung der Fahraufgabe übernehmen.

In Bezug auf die Überlegung, ältere Kraftfahrer Fahrzeuge mit Vollautomatisierung „führen“ zu lassen, ist anzugeben, dass diesbezüglich die Entwicklung noch nicht so weit fortgeschritten ist, um hierzu genauere Angaben in Zusammenhang mit der Thematik machen zu können. Zurzeit sind auch die juristischen Voraussetzungen für eine Einführung einer Vollautomatisierung noch nicht gegeben.

Da das Führen von Kraftfahrzeugen tatsächlich die Bewältigung mehrerer (komplexer) Aufgaben möglichst zeitgleich erfordert, bestünde eine Möglichkeit darin, auf die Gestaltung des Sehfeldes Einfluss zu nehmen. Die defizitäre Verschiebung und Orientierung von Aufmerksamkeit Älterer könnten dadurch erleichtert werden, dass relevante periphere Reize im Verkehrsgeschehen durch tech-

nische Systeme detektiert und den Fahrern deutlich wahrnehmbar und so früh wie möglich angezeigt werden. Dies könnte beispielsweise durch geeignete Optiken (z. B. spezielle Spiegel) geschehen, die die Exzentrizität peripherer Reize verringern, damit diese generell besser wahrgenommen werden können. Die Entwicklung eines „Sehfeldassistenten“ könnte für ältere Kraftfahrer der besseren Detektion von peripheren Verkehrsinformationen dienlich sein, wobei die Sehwinkelgrade z. B. durch entsprechende Ausrichtung der Kameras an den Außenspiegeln, die Entfernung sowie die Verarbeitungs- und Reaktionszeitverzögerungen Älterer mit berücksichtigt werden sollten. Vorstellbar wäre ein Monitor, der sich noch im Sehfeld des Fahrers (z. B. 20 Grad rechts neben dem Lenkrad) befindet, auf dem z. B. bevorzugt heranahende Fußgänger, Radfahrer, Pkw gut sichtbar abgebildet würden. Unter Einbeziehung der Leistungsdefizite Älterer, insbesondere im Hinblick auf die Verarbeitungs- und Reaktionszeitverzögerungen, sollte Älteren eine gewisse Zeitreserve für eine angemessene Reaktion zur Verfügung stehen.

Ausblick

Die durchgeführte Studie konnte weiteren Aufschluss über mögliche Ursachen von Fahrfehlern älterer Kraftfahrzeugführer mittels der Bearbeitung von Reizen während einer Spurhalteaufgabe liefern.

Erstmals wurde in dieser Studie der Einfluss des Sehwinkels auf die Leistungsdaten und EKP untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Ältere bei peripher dargebotenen Reizen größere Leistungseinbußen zeigen als Jüngere, was sich auch in den EKP widerspiegelt, bei denen sich insbesondere Defizite bei der Verschiebung der (N2) und der Orientierung (P3a) der räumlichen Aufmerksamkeit zeigen.

Ein großer Teil der Reaktionszeitverzögerung der Älteren in der schwierigsten Bedingung geht vermutlich auf das Konto von Unterschieden im Timing der zentral-motorischen Aktivierung der Reaktion. Um dies zu prüfen, müsste das sog. lateralisierte Bereitschaftspotenzial (LRP) gemessen werden, welches eine langsam steigende Negativierung über den prämotorischen Arealen ist, die zu dem Zeitpunkt ihr Maximum erreicht, zu welchem die Bewegung einsetzt. Das LRP tritt kontralateral zur

Bewegung auf und ist gut messbar bei Wahlreaktionen. In diesem Zusammenhang würde es sich anbieten, eine Wahlreaktion in das bestehende Versuchs-Design zu implementieren. Denkbar wäre eine unilaterale Reizung mit entsprechender Reaktion auf der Seite des Reizes. Dies hätte zum einen den Vorteil, dass das LRP deutlicher ausgeprägt und so auch kleinere Effekte gut zu untersuchen wären. Zum anderen erhöht die Implementierung einer Wahlreaktion die ökologische Validität, da in realen Fahrsituationen Reize meist auch nur auf einer Seite auftauchen. Vor allem würde man sich durch eine randomisierte Darbietung rechts oder links mit variablen Exzentrizitäten der realen Situation beim Fahren stärker annähern. Für die Durchführung dieser Aufgabe wäre es allerdings notwendig sicherzustellen, dass die Versuchspersonen Reize im rechten und linken Gesichtsfeld gleich gut wahrnehmen.

Aus den Ergebnissen der Sehwinkelleffekte ergibt sich eine weitere interessante Fragestellung. Es wurden für Reize im 60-Grad-Sehwinkel schlechtere Leistungen für alle Probanden gefunden. Dies zeigte sich anhand längerer Reaktionszeiten und höherer Fehlerraten. Die Gruppe der Älteren wies im Vergleich zu den Jüngeren noch größere Leistungseinbußen bei mehr peripherer Reizung auf. Mit den hier dargestellten Ergebnissen lässt sich jedoch keine Aussage darüber treffen, ab welchem Grad Sehwinkel die Leistungseinbußen stattfinden und vor allem ab wann die Älteren im Vergleich zu den Jüngeren noch größere Defizite zeigen. Diese Erkenntnisse sind für eine Übertragung auf den Realverkehr und für die Entwicklung von FAS für ältere Kraftfahrer von hoher Bedeutung. Denkbar wäre, das hier verwendete Untersuchungsdesign dahingehend zu erweitern, dass die Lichtreize nicht nur im Sehwinkel von 20 Grad und 60 Grad, sondern auch bei 30, 40 und 50 Grad randomisiert angeboten würden.

Für die Entwicklung von FAS/FIS für ältere Fahrer sind auch Erkenntnisse über die Verarbeitung irrelevanter Reize wichtig. Im vorliegenden Projekt waren alle Reize handlungsrelevant und erforderten eine schnelle Reaktion. In der eingangs zitierten Studie von WESTER et al. (2008) wurde untersucht, inwieweit für die aktuelle Handlung zwar irrelevante, aber potenziell u. U. doch relevante Reize verarbeitet werden. Hier zeigte sich eine Abschwächung der Orientierung auf solche Reize unter Doppel-Aufgabenbedingungen, was sich im EKP als Reduktion der P3a zeigte. Eine solche Ab-

schwächung der Orientierung auf aufgabenirrelevante Reize könnte bei Älteren besonders stark ausgeprägt sein, da sie sogar bei relevanten Reizen in unserer Studie eine P3a-Abschwächung zeigten. Dies würde bedeuten, dass sie nicht aktuell, aber potenziell handlungsrelevante Reize besonders schlecht wahrnehmen, was ein erhebliches Risiko für die Verkehrssicherheit darstellen würde. Denkbar wäre, zusätzlich zu den relevanten peripheren Reizen gelegentliche irrelevante Reize zu präsentieren und deren Verarbeitung mittels EKP zu messen.

Abschließend soll kurz auf Ansatzmöglichkeiten zur Aufklärung der schlechteren Leistungen Älterer bei der Spurhalte-Aufgabe eingegangen werden. Da das Spurhalten ein kontinuierlicher Prozess ist, können EKP im klassischen Sinn nicht extrahiert werden, da ein äußerer Trigger-Reiz (wie bei den peripheren Lichtreizen) fehlt. Es wäre aber denkbar, extreme Abweichungen im Tracking-Signal zu detektieren und hierauf das EEG zu triggern, um dann im EKP mögliche Korrelate der Detektion von Abweichungen und ihrer Korrektur zu untersuchen. Dies würde neue Möglichkeiten zum Studium der schlechteren motorischen Leistung Älterer im Fahrkontext eröffnen.

Insgesamt lassen sich aus der aktuellen Untersuchung – wie oben beschrieben – wichtige Ansatzpunkte für die Entwicklung von FAS ableiten, die letztlich nicht nur bei älteren Kraftfahrern zum Erhalt ihrer Mobilität und allgemein zur Verkehrssicherheit beitragen, sondern auch eine hilfreiche Unterstützung aller Kraftfahrer darstellen können. Letztlich wurde durch das Experiment auch gezeigt, dass es der jüngeren Versuchspersonengruppe nur durch zusätzliche frontale Kontrolle (s. Ergebnisse zur N2) gelungen ist, die Doppel Aufgabe besser als die älteren Probanden, aber dennoch nicht unbeeinträchtigt, durchzuführen.

9 Literatur

ABENDROTH, B. & BRUDER, R. (2009): Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: WINNER, H., HAKULI, St., WOLF, G. (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme – Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort; Vieweg und Teubner, Continental, 4-14

- ARENDE, L. E. (1973): Spatial, differential and integral operations in human vision: Implications of stabilized retinal images. *Psychological Review*, 80, 374
- BACKS, R. W. (1997): Psychophysiological aspects of selective and divided attention during continuous manual tracking. *Acta Psychologica*, 96, S. 167-191
- Begutachtungs-Leitlinien zur Kraftfahrereignung (2009): Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M 115. Wirtschaftsverlag NW. ISBN 978-3-86918-094-6
- BLONDEL, A. and REY, J. (1911): Sur la perception des lumières brèves à la limite de leur portée, *Journal de Physique*, Vol. 1, p. 530
- BOUGLER, B., CODY, D., GEYER, J., HORNE, J. H., MISENER, J. A., NOWAKOWSKI, C., RODIER, C. J., DAGLAND, D., SHAHEEN, S. A., CAGUIMBA, J., DANIELS, B. & HAMEL, K. (2005): Investigation of elderly driver safety and comfort: In-vehicle Intersection „Gap Acceptance Advisor and Identifying Older Driver Needs“. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2005-36. University of California, Berkeley: Institute of Transportation Studies
- BUCHSTALLER, R. (2007): Entwicklung einer altersfairen Strategie zur Überprüfung der psychischen Leistungsfähigkeit älterer Kraftfahrer an Begutachtungsstellen für Fahrereignung. Fortschritt-Berichte VDI; VDI-Verlag, Mensch – Maschine – Systeme, Reihe 22, Nr. 27
- BURGARD, E. (2005): Fahrkompetenz im Alter. Die Aussagekraft diagnostischer Instrumente bei Senioren und neurologischen Patienten. Dissertation an der medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. Verfügbar unter: www.edoc.ub.uni-muenchen.de/4478/ (18.12.2007)
- BUKASA, B. & PIRINGER, A. (2001): Validierungsstudien zur Überprüfung der Aussagekraft von Leistungstests für die Fahrereignungsbegutachtung. *Psychologie in Österreich*, 3, 187-194
- COHEN, A. (2007): Wahrnehmung als Grundlage der Verkehrsorientierung bei nachlassender Sensorik während der Alterung. In: SCHLAG, B. (Hrsg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter, Eine Schriftenreihe der Eugen-Otto-Butz-Stiftung; Band 03*; 65-84
- COHEN, A. (1987): Blickverhalten des Fahrzeuglenkers als Komponente des Verkehrssicherheitsverhaltens. In: HÄCKER H., *Fortschritte der Verkehrspsychologie; Band 2*, Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH
- DAHMEN-ZIMMER, K., GRÜNDL, M., KOSTKA, M., SCHNEIDER, C. & ZIMMER, A. (2007): Bewertung des Sicherheitsbeitrags von Fahrerassistenz-/Fahrerinformationssystemen für ältere Kraftfahrer. Schlussbericht zu Projekt FE 82.156/1999, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- DAVIDSE, R. (2006): Older Drivers and ADAS – Which Systems Improve Road Safety? *IATSS Research*, 30, 6-20
- DAVIDSE, R. J., HAGENZIEKER, M. P., von WOLFFENLAAR, P. C. & BROUWER, W. H. (2009): Effects of In-Car Support on Mental Workload and Driving Performance of Older Drivers. *Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 51, Nr. 4, 463-476
- DONCHIN, E. & COLES, M. G. H. (1988): Is the P00 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-374
- FALKENSTEIN, M., HOHNSBEIN, J. & HOORMANN, J. (1994): Effects of choice complexity on different subcomponents of late positive complex of event-related potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 92, 148-160
- FALKENSTEIN, M. HOHNSBEIN, J. & HOORMANN, J. (2002): Inhibition-Related ERP Components: Variation with Modality, Age, and Time-on-Task. *Journal of Psychophysiology*, 16 (3), 167-175
- FALKENSTEIN, M., YORDANOVA, J. & KOLEV, V. (2006): Effects of aging on slowing of motor-response generation. *International Journal of Psychophysiology* 59, 22-29
- FALKENSTEIN, M. & SOMMER, S. M. (2008): Altersbegleitende Veränderungen kognitiver und neuronaler Prozesse mit Bedeutung für das Autofahren. In: SCHLAG, B. (Hrsg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter, Eine Schriftenreihe der Eugen-Otto-Butz-Stiftung; Band 03*; 113-141

- FALKENSTEIN, M. & POSCHADEL, S. (2008): Altersgerechtes Autofahren. *Wirtschaftspsychologie*, Heft 3, 62-71
- FASTENMEIER W. & GSTALTER H. (2007): Anforderungsgerechtes Autofahren im Alter. In: SCHLAG, B., *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter*; Band 03; 37-64
- FERNANDES-DUQUE, D. & POSNER, M. I. (2001): Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23, 74-93
- FOLSTEIN, J. R., van PETTEN, C. (2008): Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45 (1), 152-170
- FRÖHLICH, J. (1994): Vorhersage pharmakologischer Leistungsbeeinträchtigungen des Fahrverhaltens im Straßenverkehr aufgrund von Labortests. Dissertation. Institut für Psychologie der RWTH Aachen
- FULLER, R. (2000): The task-capability interface model of driving process. *Recherche transports sécurité*, Elsevier, Vol. 66, 47-57
- GAJEWSKI, P. D., KLEINSORGE, T. & FALKENSTEIN, M. (2010): Electrophysiological correlates of residual switch costs. *Cortex*, 46, 1138-1148
- GAJEWSKI, P. D., STOERIG, P. & FALKENSTEIN, M. (2008): ERP-Correlates of response selection in a response conflict paradigm. *Brainresearch*, 1189: 127-134
- GAJEWSKI, P. D., WILD-WALL, N., HOFFMANN, S. & FALKENSTEIN, M. (2009): Ereigniskorrelierte Potenziale: Ansatz, Parametrisierung und Analyseverfahren. *Neuroforum Perspektiven der Hirnforschung*, 15, 124-129
- GASSER, T. M. (2012): Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft F 83, Fahrzeugtechnik
- GELAU, C., SIREK, J. & DAHMEN-ZIMMER, K. (2009): Zeitdruck vs. Selbstselektion als Einflussgrößen auf die Ergebnisse von Simulatorexperimenten mit älteren Versuchspersonen. Abschlussbericht zu Projekt „Einflussgrößen auf die Ergebnisse der Evaluation von Fahrerassistenzsystemen im Fahrsimulator“, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- GELAU, C. (2009): Elderly Drivers' Needs for Support at Intersections. In: GREENLEE, M. W. (Ed.), *New Issues in Experimental and Applied Psychology. A Festschrift for Alf ZIMMER*; Pabst Science Publishers, Lengerich, 108-126
- GELAU, C., METKER, T. & TRÄNKLE, U. (1994): Untersuchungen zu Leistungsfähigkeit und Verkehrsverhalten älterer Autofahrer. In: U. TRÄNKLE (Hrsg.), *Autofahren im Alter*, 139-159. Köln: Verlag TÜV Rheinland
- GRADY, C. L. (2000): Functional brain imaging and age-related changes in cognition. *Biological Psychology*, 54 (1-3), 259-281
- GRALLA, V. (2007): Peripheres Sehen im Sport – Möglichkeiten und Grenzen dargestellt am Beispiel der synchroptischen Wahrnehmung. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaften
- HAHN, M., FALKENSTEIN, M. & WILD-WALL, N. (2010): Age-related performance differences in compensatory tracking under a Dual task condition. *Occupational Ergonomics* 9, 75-86
- HAKAMIES-BLOMQUIST, L. (2003): Ageing Europe: The Challenges and Opportunities for Transport Safety. ETSC, Bruxelles
- HERWIG, B. (1928): Psychotechnische Methoden im Verkehrswesen. In: ABDERHALDEN, E. (Hrsg.), *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*; Abt. VI: Methoden der experimentellen Psychologie, Teil C/I, Urban & Schwarzenberg, Wien
- JAHN, G., OEHME, A., KREMS, J. F. & GELAU, Chr. (2005): Peripheral detection as a workload measure in driving. *Transportation Research, Part F.*, 255-275
- JANSEN, E., HOLTE, H., JUNG, C., KAHMANN, V., MORITZ, K., RIETZ, C., RUDINGER, G., WEIDEMANN, C. (2001): Ältere Menschen im künftigen Sicherheitssystem Straße/Fahrzeug/

- Mensch. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M 134. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- JASPER, H. H. (1958): The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*, 10, 371-375
- JEDYNAK, A. SKRANDIES, W. (1998): Functional perimetry combined with topographical VEP analysis. *International Journal of Neuroscience*, 93 (1-2), 117-132
- KERKHOFF, G. (1988): Visuelle Raumwahrnehmung und Raumoperationen. In: CRAMON, D. Y. von & ZIHL, J. (Hrsg.), *Neuropsychologische Rehabilitation*. Berlin: Springer-Verlag, 197-214
- KETCHAM, C. J. & STELMACH, G. E. (2004): Movement control in the older adult. In: R. W. PEW & S. B. v. HEMEL (Eds.), *Technology for Adaptive Aging* (pp. 64-92). Washington DC: National Academies Press
- KOLEV, V., FALKENSTEIN, M., YORDANOVA, J. (2006): Motor-response generation as a source of aging-related behavioural slowing in choice-reaction tasks. *Neurobiology of Aging*, 27 (11):1719-30
- KUTAS, M., IRAQUI, V., HILLYARD, S. A. (1994): Effects of aging on event-related brain potentials (ERPs) in a visual detection task. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*; 92 (2):126-39
- LACHENMAYR, B. (2006): Gesichtsfeld und Verkehr. Wie funktioniert das periphere Sehen? *Ophthalmologie*, 103, 373-381
- LEWRENZ, H. & WINKLER, W. (1962): Die amtlich anerkannten Medizinisch-Psychologischen Untersuchungsstellen bei den Technischen Überwachungs-Vereinen: Werdegang und Arbeitsweise. Technischer Überwachungs-Verein
- LOWITZSCH, K. (1993): Visuell evozierte Potenziale (VEP). In : LOWITZSCH, K., MAURER, K., HOPF, H. C. et al. (Hrsg.), *Evozierte Potenziale bei Erwachsenen und Kindern*. 2. Auflage. Thieme, Stuttgart
- MACKWORTH, N. H. (1976): Stimulus density limits the useful field of view. In: MONTY, R. A. & Senders, J. W. (eds.), *Eye movements and psychological processes*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 307-321
- MOEDE, W. (1926): Kraftfahrzeug-Eignungs-Prüfungen beim Deutschen Heer 1915-1918. *Industrielle Psychotechnik*, 3, S. 23-26
- MURCH, G. M., WOODWORTH, G. L. (1978): *Wahrnehmung*. Kohlhammer Standards Psychologie
- OOSTENVELD & PRAAMSTRA (2001): The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clinical Neurophysiology* 112, 713-719
- OWSLEY, C., BALL, K., SLOANE, M. E., ROENKER, D. L. & BRUNI, J. R. (1991): Visual/Cognitive Correlates of Vehicle Accidents in Older Drivers. *Psychology and Aging* 6 (3); 403-415
- POHLMANN, S. & TRÄNKLE, U. (1994): Orientation in road traffic: Age-related differences using an in-vehicle navigation system and a conventional map. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 689-702
- POLICH, J. (1997): EEG and ERP assessment of normal aging. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 104, 244-256
- POSCHADEL, S. & FALKENSTEIN, M. (2009): Testverfahren zur psychometrischen Leistungsprüfung der Fahreignung. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M 203
- POSCHADEL, S., BOENKE, D., BLÖBAUM, A. & RABCZINSKI, S. (in Vorbereitung): Trainierbarkeit der Fahrkompetenz älterer Kraftfahrer im Realverkehr: Eine kontrollgruppebasierte Evaluationsstudie im Realverkehr. TÜV Media, Köln
- 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. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

- (Hrsg.), Reihe Mensch und Sicherheit. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- POSNER, M. I. & PETERSEN, S. E. (1990): The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42
- Presseseminar in Leipzig (2004): Vortragsveranstaltung „Senioren im Straßenverkehr“, Deutscher Verkehrssicherheitsrat, Bonn
- PRITCHARD, W. S. (1981): Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89 (3), 506-540
- RASMUSSEN, J. (1982): Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4, 311-333
- RENNER, G. (1995): Fahrzeugführung unter kognitiver Belastung – Eine Simulationsstudie. Dissertation. Institut für Psychologie der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
- ROSENBLOOM, S. (2001): Sustainability and mobility among the elderly: An international assessment. *Transportation*, 28, 375-408
- RÜSSELER, J. & MÜNTE, Th. F. (2005): Kognitive Potenziale (ereigniskorrelierte Potenziale, EKP). In: BUCHNER, H. D. & NOTH, J. (Hrsg.), *Evozierte Potenziale, Neurovegetative Diagnostik, Okulographie. Methodik und klinische Anwendung. Referenzreihe Neurologie*, 80-94. Stuttgart: Thieme-Verlag
- SANDERS, A. F. (1986): Drugs Driving and the measurement of human performance. In: O'HANLON, J. F. & de GIER, J. J. (Ed.), *Drugs and Driving*. London: Taylor and Francis
- SCHLAG, B. (2008): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter, Band 03: Eine Schriftenreihe der Eugen-Otto-Butz-Stiftung
- SCHMENK, B. A. (2003): Räumliche Aufmerksamkeitsausrichtung und Alertness: Interaktion zweier Aufmerksamkeitsnetzwerke? Philosophische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Dissertation online verfügbar auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek
- Schweizer Optikerverband: Sehtest 1 (Visustest), Teil 8/8. www.sov.ch.
- SEIDLER, R. D. & STELMACH, G. E. (1996): Motor control. *Encyclopedia of Gerontology*, 2, 177-185
- SHINAR, D. & SCHIEBER, F. (1991): Visual requirements for safety and mobility of older drivers. *Human Factors* 33:507-519
- SOLBAKK, A. K., FUHRMANN, A. G., FURST, A. J., HALE, L. A., OGA, T. & CHETTY, S. (2008): Altered prefrontal function with aging: insights into age-associated performance decline. *Brain Research*, 1232, 30-47
- STAPLIN, L., HARKEY, D., LOCOCO, K. & TARAWNEH, M. (1997): Intersection geometric and operational guidelines for older drivers and pedestrians. Volume I, Final report. FHWA-RD-96-132. Federal Highway Administration, Washington, D. C.
- TOWNSEND, J., ADAMO, M. & HAIST, F. (2006): Changing channels: an fMRI study of aging and cross-modal attention shifts. *Neuroimage*, 31, 1682-1692
- Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e. V. (Hrsg.), Essen (1962): „Die amtlich anerkannten Medizinisch-Psychologischen Untersuchungsstellen bei den Technischen Überwachungs-Vereinen. Werdegang und Arbeitsweise“, S. 9
- VERHAEGEN, P., STEITZ, D. W., SLIWINSKI, M. J. & CERELLA, J. (2003): Aging and Dual-Task Performance: A Meta-Analysis. *Psychology and Aging*, Vol. 18, 3, 443-460
- Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung): Amtsblatt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Verkehrsblatt – Dokument Nr. B 3208. Stand: Juli 2008
- VOLLRATH, M., BRIEST, S. & SCHIESSL, C. (2006): Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik*, Heft F 60
- WALKER, J., SEDNEY, C. A. & MAST, T. M. (1992): Older drivers and useful field of view in a part-task simulator (Preprint). *Transportation Research Board*, 71st Annual Meeting: Washington, D. C.

- WESTER, A. E., BÖCKER, K. B. E., VOLKERTS, E. R., VERSTER, J. C. & KENEMANS, J. L., (2008): Event-related potentials and secondary task performance during simulated driving. *Accident Analysis and Prevention* 40, 1-7
- WICKENS, C. D. (1984a): *Engineering psychology and human performance*. Columbus, Toronto: Charles E. Merrill Publishing Company
- WICKENS, C. D. (1984b): Processing resources in attention. In: PARASURAMAN, R. & DAVIES, D. R. (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). New York: Academic Press
- WICKENS, C. D. & HOLLAND, J. G. (2000): *Engineering psychology and human performance*. New Jersey: Prentice Hall
- WILD-WALL, N., HAHN, M. & FALKENSTEIN, M. (2009): Alterskorrelierte Unterschiede in einer Doppel-Aufgabe mit fahrähnlichen Elementen. Produktivität im Betrieb. Tagungsband der GfA-Herbstkonferenz Millstadt, 23.-25. September 2009
- WILD-WALL, N., HOHNSBEIN, J. & FALKENSTEIN, M. (2007): Effects of ageing on cognitive task preparation as reflected by event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 118, 558-569
- 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 eventrelated potentials. *Brain* 127 (2); 351-362

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

1997

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase
Berg, Mayer € 19,50

1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

1999

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

2000

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter PKW-Reifen
Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Aubel € 13,00
- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen – Fahrzeugsicherheit '95 – Analyse aus Erhebungen am Unfallort
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00

2001

- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00
- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weillkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00

- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen
Jahn, Oehme, Rösler, Krens € 13,50
- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50
- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rücker, Bürkle, Mattern, Kallieris € 18,00
- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50
- F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00
- F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambos, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00
- F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2005

- F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00

F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00

F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50

F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50

F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorsicherheit

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th/6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrverhalten
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und ITS-Architekturen im Straßenverkehr
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands
Eichinger € 15,00

F 81: Potenzial aktiver Fahrwerke zur Erhöhung der Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 20,00

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe

Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.