

Eine Feldstudie zur Häufigkeit von natürlichen Nebentätigkeiten bei verschiedenen Automatisierungsstufen

Naujoks, F.¹, Purucker, C.¹ & Neukum, A.¹

Zusammenfassung: Ziel dieser Feldstudie war die Untersuchung der Bereitschaft zur Durchführung fahrfremder Tätigkeiten mit unterschiedlichen Graden der Fahrzeugautomatisierung. N = 32 Fahrer verschiedener Altersgruppen mit und ohne vorherige ACC-Erfahrung absolvierten Testfahrten im Berufsverkehr auf einer Autobahnstrecke und wurden entweder durch ACC, ACC mit Lenkunterstützung (ACC+SA) oder nicht unterstützt (Baseline). Während subjektive und objektive Fahrsicherheit nicht durch den Grad der Automatisierung beeinflusst wurden, führten Probanden, die bereits mit ACC vertraut waren, in assistierten Fahrten häufiger eine im Fahrzeug installierte Smartphoneaufgabe aus als in nicht-assistierten Fahrten. Die Ergebnisse des Feldexperiments validieren Erkenntnisse aus stärker kontrollierten Forschungsumgebungen und erweitern diese auf das teilautomatisierte Fahren.

Schlüsselwörter: Automatisiertes Fahren, Feldstudie, Nebenaufgabe, Interindividuelle Unterschiede.

1 Einleitung

Durch aktuelle Fortschritte in der Fahrzeugautomatisierung verändert sich die Rolle des Fahrers zunehmend von der aktiven Steuerung des Fahrzeugs hin zur Überwachung des Verhaltens des Assistenzsystems und der Verkehrsumgebung [1]. Eine wachsende Zahl von Studien legt nahe, dass die Automatisierung der Fahraufgabe gleichzeitig mit einer Tendenz zur verstärkten Bearbeitung von fahrfremden Tätigkeiten während der Fahrt einhergeht [2]. Insbesondere beim teilautomatisierten Fahren könnte eine verstärkte Tendenz zur Bearbeitung von fahrfremden Tätigkeiten eine Einschränkung der Fähigkeit zur Überwachung der Verkehrssituation und folglich der Übernahmebereitschaft mit sich bringen [3]. Gründe für die Ausführung von fahrfremden Tätigkeiten können einerseits in der jeweiligen Tätigkeit begründet sein (z.B. Ausführung notwendiger Tätigkeiten), andererseits stellt die Minderung von Monotonie gerade im Kontext des automatisierten Fahrens eine mögliche Motivation zur Ausführung fahrfremder Tätigkeiten dar.

¹ Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) GmbH

Ziel der vorliegenden Studie war die Replikation der Ergebnisse bisheriger Studien im Rahmen eines Feldversuchs im Alltagsverkehr und deren Erweiterung auf die Automationsstufe des teilautomatisierten Fahrens (d.h. Automatisierung der Längs- und Querführung mit Notwendigkeit der permanenten Überwachung). Die vorliegende Studie erweitert die bestehende Literatur in mehreren Punkten:

- Die Mehrzahl der bisherigen Studien wurde in streng kontrollierten Forschungsumgebungen wie Fahrsimulatoren und Teststrecken durchgeführt, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den alltäglichen Verkehr einschränkt [4-6].
- Bisher wurden vorwiegend niedrige Automatisierungsgrade (d.h. Automatisierung der Längsführung durch ACC) oder hochautomatisiertes Fahren (d.h. Automatisierung der Längs- und Querführung ohne Notwendigkeit der permanenten Überwachung durch den Fahrer) untersucht [2].
- Die Abhängigkeit der Ergebnisse vom situationsspezifischen Kontext (z.B. Geschwindigkeit, Verkehrszustand) und Fahrermerkmalen (z.B. Alter, Erfahrung im Umgang mit Fahrzeugautomation) wurde bisher vernachlässigt.

2 Methodik

2.1 Stichprobe

$N = 32$ Probanden wurden aus einem Pool von mehr als 150 Kandidaten rekrutiert, die über Zeitungsannoncen kontaktiert wurden. Die Stichprobe bestand aus 8 weiblichen und 24 männlichen Fahrern ($n = 10$ mit vorheriger ACC-Erfahrung, d.h. Nutzung von ACC im eigenen Fahrzeug oder in einem Dienstwagen, der regelmäßig verwendet wird; $n = 22$ ohne vorherige ACC-Erfahrung). Keiner der Fahrer hatte zuvor in experimentellen Studien mit ähnlichen Forschungsfragen teilgenommen. Zum Zeitpunkt der Studie lag das mittlere Alter der Fahrer bei 47.19 Jahren ($SD = 16.08$, $MIN = 20$, $MAX = 70$).

2.2 Studiendesign

Die Teilnehmer absolvierten Fahrten im Berufsverkehr auf einer Autobahnstrecke mit verschiedenen Stufen der Fahrzeugautomatisierung, entweder mit Automatisierung der Längsführung (Adaptive Cruise Control, ACC; Automatisierungsgrad: *Assistiert* [7]), der Längs- und Querführung (Adaptive Cruise Control mit Lenkunterstützung², ACC+SA; Automatisierungsgrad: *Teilautomatisiert* [7]) oder ohne jegliche Unterstützung (Baseline, BL). Die Versuchsbedingungen wurden von allen Probanden absolviert (*within-subject design*). Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten war die Reihenfolge der Fahrten zwischen den Probanden vollständig ausbalanciert. Alter (> 50 Jahre vs. < 50 Jahre) und ACC-Erfahrung stellten weitere, quasi-experimentelle Faktoren der Untersuchung dar. Tabelle 1 fasst das Studiendesign zusammen.

² Lenkunterstützung wird im Folgenden mit „SA“ (steering assist) abgekürzt.

Tabelle 1: Experimentelle Faktoren.

Faktor	Faktorstufen
Automatisierungsgrad	Baseline (BL) vs. ACC vs. ACC+SA
Alter	> 50 Jahre vs. < 50 Jahre
ACC-Erfahrung	Mit vs. ohne vorherige ACC-Erfahrung

2.3 Studiensetting

Im Mittelpunkt der Studie stand die Untersuchung des Fahr- und Bedienverhaltens in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen und mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden. Alle Testfahrten wurden während der Hauptverkehrszeit am Morgen oder am Abend durchgeführt. Der Studienfokus wurde aus mehreren Gründen auf dichten Verkehr gelegt: Einerseits erfordert das Fahren mit ACC die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer. Andernfalls hätten sich die Fahrten aus Sicht der Fahrer nicht vom Fahren mit einem herkömmlichen Tempomaten unterschieden. Zweitens wurde angestrebt, den Einfluss der Verkehrsdichte möglichst zu kontrollieren, da diese die fahrerseitige Bereitschaft zu fahrfremden Tätigkeiten möglicherweise unabhängig von der Geschwindigkeit beeinflusst hätte. Deshalb wurden alle Versuchsfahrten im Berufsverkehr (d.h. bei hoher Verkehrsdichte) auf einem festen Straßenabschnitt der Autobahnen A8 und A81 in der Metropolregion Stuttgart durchgeführt. Die Strecke bestand aus einer dreispurigen Autobahn, größtenteils ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Letztlich stellt Fahrzeugautomatisierung bei dichtem Verkehr auf Autobahnen, sog. Stauassistent, ein mögliches Einführungsszenario für hochautomatisierte Fahrfunktionen dar und ist deswegen von besonderem Forschungsinteresse.

2.4 Nebenaufgabe

Es ist anzunehmen, dass die Bereitschaft zur Durchführung von fahrfremden Tätigkeiten von der Art der jeweiligen Aufgabe abhängt, insbesondere von der Notwendigkeit, den Blick für längere Zeit von der Straße abzuwenden [8]. In dieser Studie wurde deshalb eine relativ simple, visuell-manuelle Aufgabe verwendet, die vom Fahrer jederzeit unterbrechbar war und in einem selbstgewählten Tempo bearbeitet werden konnte.



Abbildung 1: Verwendete Nebenaufgabe.

Die Aufgabe bestand aus einer Smartphoneanwendung, die am Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften eigens für den Einsatz in experimentellen Studien konzipiert wurde. Die Aufgabe wurde ursprünglich für eine Studie zur Untersuchung der Auswirkungen der Ablenkung durch Smartphoneaktivitäten entwickelt, welche im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt wurde [9]. Mit dem Einsatz der Nebenaufgabe in dieser Studie wurde insbesondere das Ziel verfolgt, die Interaktion mit einer natürlichen Nebenaufgabe untersuchen zu können, die in ähnlicher Form auch tatsächlich beim Fahren ausgeführt werden könnte. Die Aufgabe bestand aus dem Abrufen von wetterbezogenen Informationen innerhalb eines hierarchischen 1x4x4x4-Menüs (siehe Abbildung 1). Innerhalb jeder Aufgabe sollten die Teilnehmer entweder (1) die minimale Temperatur, (2) die maximale Temperatur, (3) die Niederschlagswahrscheinlichkeit oder (4) die Windgeschwindigkeit zu verschiedenen Tageszeiten („Morgens“, „Mittags“, „Abends“ oder „Nachts“) an unterschiedlichen Tagen („Heute“, „Morgen“, „in zwei Tagen“ oder „in drei Tagen“) abrufen. Das Smartphone wurde in einer Halterung am oberen Teil des zentralen Infotainmentdisplays angebracht und musste zur Bedienung nicht in die Hand genommen werden, um die Verwendung entsprechend der StVO zu ermöglichen [10].

In einer vorherigen Studie zur Ablenkungswirkung dieser Aufgabe [9] stellte sich heraus, dass die Blickabwendungszeit während der Bearbeitung dieser Aufgabe innerhalb des akzeptablen Toleranzbereichs gemäß der NHTSA-Richtlinien für die Bedienung elektronischer Geräte im Fahrzeug liegt [8]. Um einen verantwortungsvollen Umgang mit der Menüaufgabe während der Fahrt zu gewährleisten, wurden die Fahrer ausdrücklich angewiesen, diese nur dann zu bedienen, wenn die Situation dies zulässt. Sie wurden zusätzlich darauf hingewiesen, dass die Bearbeitung der Aufgabe komplett in ihrer Entscheidung liegt, und sie in keiner Weise gezwungen sind, die Aufgabe während der Fahrt durchzuführen. Jeder Proband führte vor Fahrtantritt 40 Aufgaben im stehenden Fahrzeug aus, um Übungseffekte zu minimieren.

2.5 Abhängige Variablen

Während der Fahrt wurde neben verschiedenen Parametern der Fahrdynamik und des subjektiven Erlebens die Häufigkeit von Interaktionen mit der Smartphoneaufgabe erhoben (siehe Tabelle 2):

- Zur Evaluation der Qualität der lateralen und longitudinalen Fahrzeugkontrolle wurden die Geschwindigkeit des Fahrzeugs sowie Längs- und Querbewegungen aufgezeichnet.
- Die Aufmerksamkeitsverteilung der Fahrer zwischen der fahrfremden Tätigkeit und der primären Fahraufgabe wurde über die Häufigkeit der Interaktionen mit der Smartphoneaufgabe evaluiert.
- Neben diesen objektiven Parametern wurden ebenfalls subjektive Probandenurteile zur wahrgenommenen Anstrengung durch die sog. SEA-Skala [11] und zur wahrgenommenen Fahrsicherheit nach jeder Fahrt erhoben.

Tabelle 2: Abhängige Variablen.

Parameter	Beschreibung	Einheit
Laterale und longitudinale Fahrzeugführung		
Geschwindigkeit	Mittlere Geschwindigkeit	[km/h]
Maximale Verzögerung	Maximale Längsverzögerung	[m/s ²]
Maximale Querbeschleunigung	Maximale Querbeschleunigung (absolut)	[m/s ²]
Aufmerksamkeitsverteilung		
Involviertheit in fahrfremde Tätigkeit	Interaktion mit Smartphoneaufgabe pro Minute	[Interaktionen/min]
Subjektive Maße		
Beanspruchung	Einschätzung der Beanspruchung durch die Ausführung der fahrfremden Tätigkeit (SEA Skala: 0 = sehr gering, 220 = außergewöhnlich; [11])	[0...220]
Sicherheit	Einschätzung der Fahrsicherheit (0 = gar nicht sicher, 15 = sehr sicher)	[0...15]

2.6 Instruktion

Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass das Ziel der Untersuchung darin bestand, die Bereitschaft zur Ausführung fahrfremder Tätigkeiten zu untersuchen. Die Probanden wurden angewiesen, die Aufgabe eigenverantwortlich nur dann zu bearbeiten, wenn die Verkehrssituation sicher genug ist und sie die Aufgaben selbst im Straßenverkehr durchführen würden. Außerdem wurden die Probanden darauf hingewiesen, dass sie für die sichere Fahrzeugführung zuständig sind, und dass sie dieser zu jeder Zeit eine höhere Priorität geben sollen als der Bearbeitung der Smartphoneaufgabe. Um die Sicherheit der Teilnehmer zusätzlich zu gewährleisten, konnte ein Versuchsleiter, dessen einzige Aufgabe in der Beobachtung der Verkehrssituation lag, die Fahrzeugkontrolle über eine zusätzliche Fahrschulpedalerie übernehmen und – wenn nötig – einen Bremseingriff in kritischen Situationen durchführen.

2.7 Inferenzstatistische Verfahren

Um den Einfluss der experimentellen Faktoren auf die abhängigen Variablen zu beurteilen, wurden zwei statistische Verfahren angewandt:

- Lineare gemischte Modelle (*Linear mixed model*, LMM): Um die Auswirkungen der experimentellen Faktoren auf die objektiven Parameter der Fahrzeugkontrolle und Aufmerksamkeitsallokation zu bewerten, wurden lineare gemischte Modelle verwendet. Im Gegensatz zu Varianzanalysen (*Analysis of Variance*, ANOVA, siehe unten), können LMMs angemessen mit zu erwartenden fehlenden Daten (durch zufällige Schwankungen

der Verkehrsbedingungen, Datenaufzeichnungsfehler, etc.) umgehen. „Automatisierungsgrad“, „Geschwindigkeit“, „ACC-Erfahrung“ und „Alter“ wurden als feste Effekte in die Modelle aufgenommen. Geschwindigkeit wurde auf vier Faktorstufen evaluiert: „stehender Verkehr“: 0-10 km/h; „gestauter Verkehr“: 10-60 km/h; „Übergang zwischen fließendem und gestautem Verkehr“: 60-100 km/h und „fließender Verkehr“: > 100km/h). Zusätzlich zu den Haupteffekten wurden Zweifachinteraktionen zwischen den Faktoren betrachtet. Interaktionseffekte höherer Ordnung wurden nicht erwartet und folglich nicht in die Modelle aufgenommen.

- Varianzanalyse (ANOVA) mit wiederholten Messungen: Um die Auswirkungen der experimentellen Faktoren auf die subjektiven Urteile (wahrgenommene Anstrengung und Sicherheit) zu beurteilen, wurden mehrfaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung angewandt.

3 Ergebnisse

3.1 Geschwindigkeit

Zusammengenommen wurden ca. 45 Stunden Fahrzeit aufgenommen und analysiert (Baseline: 14.93 h, ACC: 15.00 h, ACC+SA: 15.83 h). Ca. 38% der Fahrzeit befanden sich die Probanden entweder im gestauten (10-60 km/h) oder im stehenden Verkehr (0-10 km/h). Der Rest der Fahrzeit (ca. 62%) wurde im Übergang zwischen gestautem und fließendem Verkehr (60-100 km/h) oder im fließenden Verkehr (> 100 km/h) verbracht. Die Häufigkeit der Beobachtungen innerhalb dieser definierten Geschwindigkeitsbereiche unterscheidet sich nicht zwischen den Automatisierungsgraden ($\chi^2 = 0.69$, $df = 6$, $p = .995$).

3.2 Verzögerung / Beschleunigung

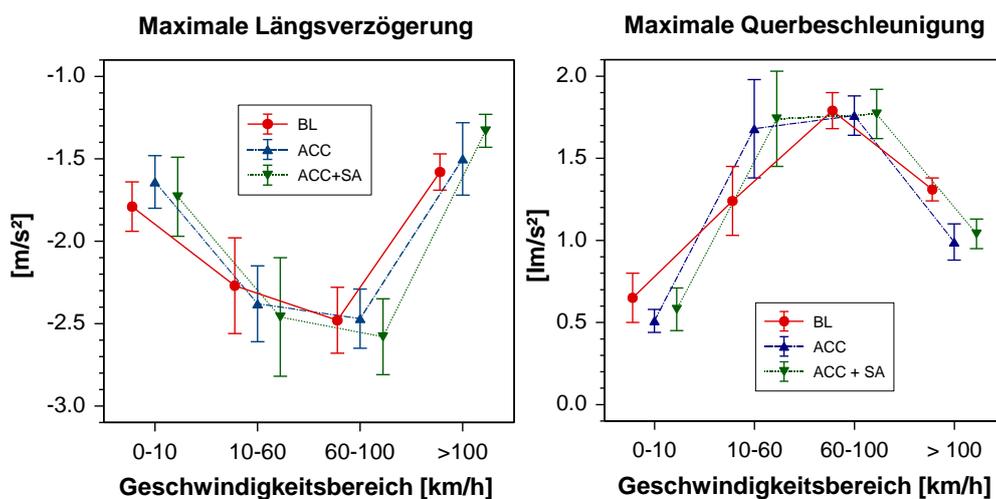


Abbildung 2: Maximale Längsverzögerung (links) und Querbeschleunigung (rechts); Mittelwert und Standardfehler.

Ein Brems- oder Gaspedaleingriff durch den Versuchsleiter war in keiner der durchgeführten Fahrten notwendig. Abbildung 2 stellt die mittlere maximale Längsverzögerung (links) und die mittlere maximale Querschleunigung (rechts) dar. Wie aus der Abbildung hervorgeht, hängen diese hauptsächlich von der Geschwindigkeit ab. Ein LMM bestätigt, dass sowohl maximale Längsverzögerung als auch maximale Querschleunigung stark von der Geschwindigkeit beeinflusst werden (Haupteffekt „Geschwindigkeit“, jeweils $p < .001$), während der Grad der Automatisierung keinen signifikanten Einfluss auf diese Variablen hat (jeweils $p > .05$). Somit wird weder ein negativer noch ein positiver Einfluss von ACC und ACC+SA auf die Qualität der Quer- und Längsführung gefunden. Darüber hinaus wird ebenfalls kein statistisch signifikanter Einfluss des Alters (Haupteffekt „Alter“, jeweils $p > .05$) oder vorheriger Erfahrung mit ACC (Haupteffekt „ACC Erfahrung“, jeweils $p > .05$) deutlich.

3.3 Aufgabenbearbeitung

Die Aufgabenbearbeitung hängt ebenfalls stark von der Geschwindigkeit ab (Haupteffekt „Geschwindigkeit“, $p < .001$, siehe Abbildung 3). In niedrigen Geschwindigkeitsbereichen werden im Vergleich zum Fahren mit höherer Geschwindigkeit deutlich mehr Interaktionen mit der Smartphoneaufgabe beobachtet (0-10 km/h: $M = 5.19$, $SD = 5.30$; 10-60 km/h: $M = 3.30$, $SD = 4.96$; 60-100 km/h: $M = 3.06$, $SD = 3.42$; > 100 km/h: $M = 1.39$, $SD = 2.46$).

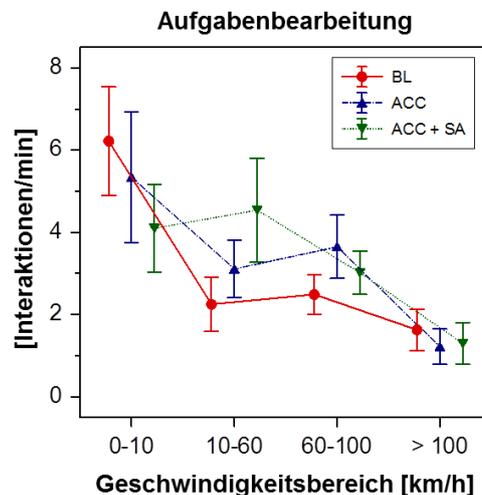


Abbildung 3: Aufgabenbearbeitung; Mittelwert und Standardfehler.

Wie aus Abbildung 4 (links) ersichtlich, ist die vermehrte Aufgabenbearbeitung bei geringer im Vergleich zu höherer Geschwindigkeit vor allem auf die Probanden mit ACC-Erfahrung zurückzuführen (Interaktionseffekt „Geschwindigkeit*ACC-Erfahrung“, $p = .001$). Neben der Geschwindigkeit hängt die Aufgabenbearbeitung weiterhin vom Alter und der ACC-Erfahrung ab. Jüngere Probanden (< 50 Jahre: $M = 3.72$, $SD = 4.85$) führen mehr Interaktionen pro Minute aus als ältere Probanden (> 50 Jahre: $M = 2.41$, $SD = 3.69$), unabhängig vom Automatisierungsgrad (Haupteffekt „Alter“, $p = .001$). Bei Teilnehmern

mit ACC-Erfahrung werden ebenfalls mehr Interaktionen mit der Aufgabe beobachtet ($M = 4.63$, $SD = 5.65$) als bei Probanden ohne vorherige ACC-Erfahrung ($M = 2.15$, $SD = 3.01$, $p < .001$). Nur Teilnehmer mit vorheriger ACC-Erfahrung zeigen ein erhöhtes Maß an Aufgabenbearbeitung in assistierten gegenüber nicht-assistierten Fahrten (Baseline: $M = 3.52$, $SD = 4.52$; ACC: $M = 4.78$, $SD = 5.77$; ACC+SA: $M = 5.48$, $SD = 6.35$, $p = .009$; siehe Abbildung 4, rechts). Die zusätzliche Lenkunterstützung (ACC+SA) führt hierbei jedoch nicht zu einer weiteren Zunahme der Aufgabenbearbeitung im Vergleich zum Fahren mit ACC.

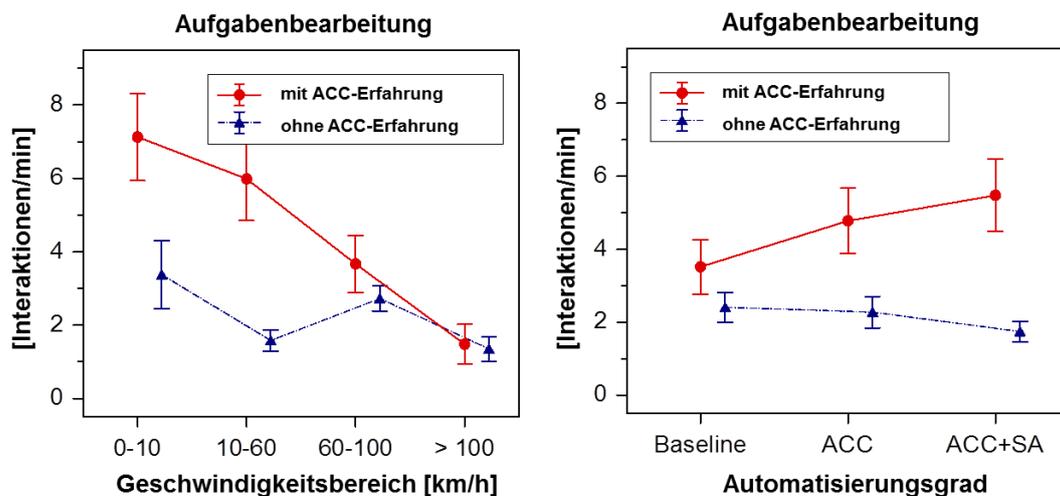


Abbildung 4: Aufgabenbearbeitung nach Geschwindigkeit und ACC-Erfahrung (links), sowie nach ACC-Erfahrung und Automatisierungsgrad (rechts); Mittelwert und Standardfehler.

3.4 Subjektive Maße

Abbildung 5 (links) zeigt die mittleren Bewertungen der wahrgenommenen Beanspruchung durch das Bearbeiten der Smartphoneaufgabe während der Fahrt. Wie aus der Abbildung ersichtlich, wird die Aufgabenbearbeitung während Fahrten mit ACC und ACC+SA gegenüber Baseline-Fahrten als weniger beanspruchend bewertet (Haupteffekt „Automatisierungsgrad“, $p = .001$). Trotz dieses Unterschieds liegen die Beanspruchungsurteile generell in einem niedrigen Bereich der Ratingskala (Baseline: $M = 65.99$, $SE = 8.10$; ACC: $M = 42.25$, $SE = 5.23$; ACC+SA: $M = 51.71$, $SE = 7.33$). Ein Einfluss der ACC-Erfahrung oder des Alters finden sich nicht (beide $p > .05$).

Wie aus Abbildung 5 (rechts) deutlich wird, berichten die Fahrer unabhängig vom Automatisierungsgrad ein hohes Maß an Fahrsicherheit ($M = 11.83$, $SE = 0.31$). Allerdings unterscheiden sich die Sicherheitsbewertungen zwischen den Altersgruppen, wenn der Automatisierungsgrad berücksichtigt wird (Interaktion „Automatisierungsgrad*Alter“, $p = .023$): Jüngere Fahrer berichten tendenziell von einer niedrigeren Fahrsicherheit mit ACC+SA als ältere Fahrer ($t = -1.71$, $df = 30$, $p = .097$). Während Fahrten ohne Assistenz ($t = -1.52$, $df = 30$, $p = .139$) und Fahrten mit ACC ($t = 0.35$, $df = 30$, $p = .729$)

unterscheiden sich die Urteile zwischen den Altersgruppen nicht. ACC-Erfahrung hat keinerlei Einfluss auf die Sicherheitsurteile ($p > .05$).

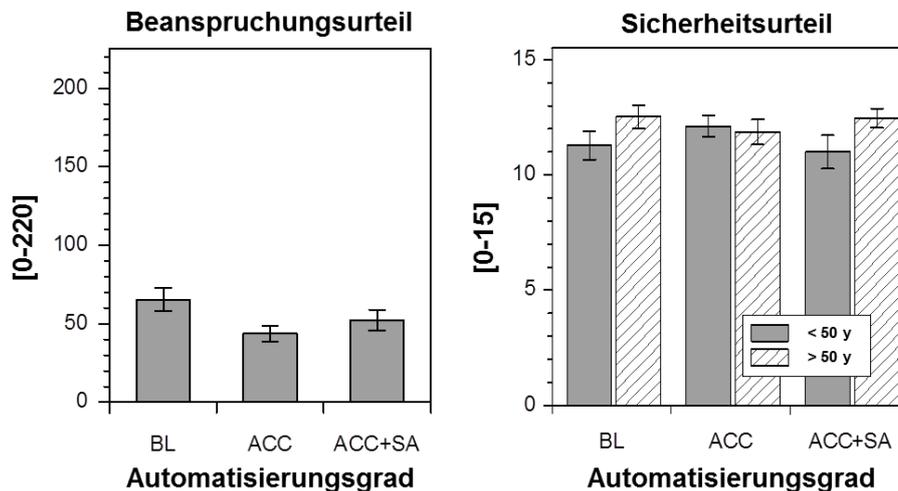


Abbildung 5: Einschätzung der Beanspruchung (links) und Fahrsicherheit (rechts); Mittelwert und Standardfehler.

4 Zusammenfassung

Die Studienergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Probanden berichteten von einer hohen Fahrsicherheit und die Versuchsleiter mussten zu keiner Zeit kontrollierend in die Fahrzeugführung eingreifen. Subjektive und objektive Fahrsicherheit wurden durch den Grad der Fahrzeugautomatisierung weder positiv noch negativ beeinflusst. Probanden, die bereits mit ACC vertraut waren, erhöhten die Häufigkeit der Interaktionen mit der Smartphoneaufgabe in beiden assistierten Bedingungen (ACC und ACC+SA). Eine stärkere Aufgabenbearbeitung durch die zusätzliche Übernahme der Querführung (ACC+SA) gegenüber der reinen Längsunterstützung (ACC) fand sich allerdings nicht. Unabhängig von der ACC-Erfahrung wurde die Durchführung der Nebenaufgabe in assistierten Fahrten als weniger beanspruchend beurteilt. In allen Bedingungen der Fahrzeugautomatisierung hing die Häufigkeit der Interaktionen mit der Nebenaufgabe vorwiegend vom Verkehrszustand ab: Während bei niedriger Geschwindigkeit oder Stillstand des Fahrzeugs häufige Interaktionen mit der Smartphoneaufgabe stattfanden, nahm deren Häufigkeit mit zunehmender Fahrtgeschwindigkeit ab.

Die Ergebnisse des Feldexperiments bestätigen und erweitern vorliegende Befunde zum Zusammenhang von Fahrzeugautomatisierung und fahrfremden Tätigkeiten, die bisher in stark kontrollierten Versuchsumgebungen (Fahrsimulatoren, Teststrecken) entstanden sind. Zwar zeigte sich eine vermehrte Zuwendung zu fahrfremden Tätigkeiten durch Fahrzeugautomatisierung (bei ACC und ACC+SA), trotzdem passten die Fahrer ihre Entscheidungen, wann sie die Nebenaufgabe bearbeiten, wie auch beim manuellen Fahren

an den Verkehrszustand an. Dieses situationsadaptive Verhalten kann erklären, warum keine Minderung von objektiver oder subjektiver Sicherheit aufgrund der verstärkten Aufgabenbearbeitung gefunden wurde.

Literatur

- [1] Naujoks, F., Mai, C. & Neukum, A. (2014). The effect of urgency of take-over requests during highly automated driving under distraction conditions. In T. Ahram, W. Karowski & T. Marek (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014* (pp. 2099-2106). Krakau: AHFE Conference.
- [2] de Winter, J., Happee, R., Martens, M.H. & Stanton, N.A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27B, 196-217.
- [3] Jamson, A.H., Merat, N., Carsten, O.M. & Lai, F.C. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, 116-125.
- [4] Rudin-Brown, C.M. & Noy, I. (2002). Investigation of behavioral adaptation to lane departure warnings. *Transportation Research Record*, 1803(1), 30-37.
- [5] Rudin-Brown, C.M. & Parker, H.A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(2), 59-76
- [6] Naujoks, F. & Totzke, I. (2014). Behavioral adaptation caused by predictive warning systems—The case of congestion tail warnings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 49-61.
- [7] Gasser, T., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Buerkle, L., Eier, J. et al. (2012). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe F84)*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- [8] NHTSA. (2012). Visual-manual NHTSA driver distraction guidelines for in-vehicle electronic devices. *Notice in the Federal Register*, 77.
- [9] Schömig, N., Schoch, S., Neukum, N., Schumacher, M. & Wandtner, B. (2015). *Simulatorstudien zur Ablenkungswirkung fahrfremder Tätigkeiten* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M253). Bremen: Carl Schünemann Verlag.
- [10] Straßenverkehrs-Ordnung der Bundesrepublik Deutschland vom 30. Oktober 2014, § 23 1a (2014).
- [11] Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 4, 214-224.